

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



“CÁLCULO DEL BANCO DE RESISTENCIAS DEL MOTOR DE ROTOR BOBINADO DE 200 HP – 2300 VOLTIOS DEL WINCHE DE IZAJE DE SOCIEDAD MINERA CORONA S.A.”.

INFORME DE INGENIERIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

SANTOS JORGE VILLANUEVA ROJAS

PROMOCIÓN 1987 - I

LIMA – PERÚ

2 001

DEDICADO A MI HERMANO BENJAMÍN, POR SU ESFUERZO DESPLEGADO DURANTE MIS ESTUDIOS, A MI MADRE, PADRE, ESPOSA E HIJOS ALBERT Y JULIAN POR EL APOYO CONSTANTE PARA LA CULMINACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO.

TABLA DE CONTENIDO

PROLOGO

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

1.1.1 Antecedentes

1.1.2 Ubicación

1.2 Geología y minado del lugar

1.3 Descripción del proceso de extracción de mineral en mina Manuelita

1.4 Alcances de la producción y costos de explotación

1.5 Objetivo del trabajo

CAPITULO II

CONCEPTOS Y TIPOS DE WINCHES DE IZAJE

2.1 Definición de winche de izaje

2.2 Definición de pique

2.3 Definición de jaula-skip

2.4 Tipos de winches de izaje

2.4.1 Winches de tambor

2.4.2 Winches de fricción

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DEL WINCHE DE IZAJE EXISTENTE

3.1 Características técnicas

3.1.1 Dimensiones del pique

3.1.2 Equipos mecánicos

3.1.3 Equipos eléctricos

3.2 Descripción del funcionamiento

CAPITULO IV

SELECCIÓN DEL TIPO DE MOTOR DE ACCIONAMIENTO PARA UNA PROFUNDIDAD DE 315 METROS

4.1 Generalidades de los motores eléctricos

4.2 Tipos de motores

4.2.1 Motores de corriente continua

4.2.2 Motores de corriente alterna

4.2.2.1 Motores Síncronos

4.2.2.2 Motores asíncronos trifásicos ó de inducción

4.2.3 Sistema Ward – Leonard

4.3 Selección del tipo de motor eléctrico

4.3.1 Comparación del motor de rotor bobinado y el sistema Ward - Leonard

CAPITULO V

CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR DE ROTOR BOBINADO

5.1 Método de cálculo

5.2 Comprobación del cálculo de la potencia del motor eléctrico para la profundización de 240 metros

5.2.1 Símbolos y definiciones

5.2.2 Determinación del tiempo y de la velocidad del izaje de un ciclo de mineral

5.2.3 Aceleración

5.2.4 Desaceleración

5.2.5 Distancia recorrida por el skip durante la aceleración

5.2.6 Distancia recorrida por el skip durante la desaceleración

5.2.7 Distancia recorrida a velocidad constante

5.2.8 Tiempo de desplazamiento a velocidad constante

5.2.9 Velocidad constante

5.2.10 Cálculo de los momentos existentes en las tamboras

5.3 Cálculo de la potencia del motor eléctrico para la altura de izaje de 315 metros

5.3.1 Consideraciones para la nueva altura de izaje

5.3.2 Cálculo de la velocidad angular de la tambora

5.3.3 Cálculo de la velocidad lineal constante del cable de izaje

5.3.4 Tiempo muerto en carga y descarga del skip

5.3.5 Estimación del tiempo de aceleración y desaceleración

5.3.6 Forma aproximada de la curva de velocidad en un ciclo de trabajo

5.3.7 Cálculo del tiempo a velocidad constante

5.3.8 Cálculo del tiempo total del ciclo de izaje

5.3.9 Cálculo de la aceleración y desaceleración

5.3.10 Distancia de recorrido por el skip durante la aceleración y desaceleración

5.3.11 Distancia recorrida a velocidad constante

5.3.12 Datos de pesos

5.3.13 Cálculos de los momentos existentes en las tamboras

CAPITULO VI

CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE EL MOTOR DE ROTOR BOBINADO

6.1 Motor de rotor bobinado

6.2 Características constructivas

6.2.1 Estator

6.2.2 Rotor

6.3 Creación del torque inducido en el motor

6.4 Deslizamiento del rotor

6.5 Frecuencia eléctrica del rotor

6.6 Análisis de los motores de rotor bobinado

6.7 Circuito equivalente

6.7.1 Deducción del circuito equivalente

6.8 Diagrama del flujo de energía

6.9 Circuito equivalente con la rama magnetizante unido a los terminales de alimentación

6.10 Torque electromagnético

6.11 Arranque de los motores de rotor bobinado

6.11.1 Efecto del cambio de la resistencia del rotor en el torque

6.12 Curvas del torque para diferentes valores de resistencias rotóricas

6.13 Determinación de los parámetros del circuito equivalente

CAPITULO VII

CALCULO Y SELECCIÓN DEL BANCO DE RESISTENCIAS

7.1 Pruebas realizadas al motor eléctrico para determinar el circuito equivalente

7.2 Determinación de los parámetros del circuito equivalente "T"

7.3 Banco de resistencias actual del motor de 125 HP

7.4 Cálculo del banco de resistencias para el motor de 200 HP

7.5 Valores de resistencias que deberán instalarse en paralelo con las existentes

7.6 Selección comercial del banco de resistencias

7.6.1 Tipos de bancos de resistencias

7.6.2 Tipo de resistencia seleccionado

CAPITULO VIII

COMPARATIVO ECONOMICO DEL BANCO DE RESISTENCIA NUEVO Y REPOTENCIADO

8.1 Costo de adquisición de un banco nuevo

8.2 Costo de adquisición de los bancos faltantes para repotenciar el banco actual

8.3 Comparativo económico

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

Planos

PRÓLOGO

Desde el año 1992 que nos hicimos cargo de la jefatura de taller eléctrico en Sociedad Minera Corona S.A., hemos estado en constante relación con los winches de izaje, primero porque este, es el equipo principal de extracción de la mina y segundo porque nuestra tendencia a los cálculos de motores eléctricos, aún mejor en este tipo de motor de rotor bobinado, nos hizo ver con más detalle su funcionamiento y la necesidad de poder percibir y calcular los torques que en él actúan.

Hasta 1996, se tenía un solo winche de izaje perteneciente al pique principal de mina Manuelita, posteriormente se instalaron en otras zonas como en el pique Codiciada, pique don Pedro y pique Brillante. A pesar que su instalación mecánica, civil, y eléctrica necesitaba de la participación de empresas contratistas nacionales e inclusive extranjeras, nos propusimos conjuntamente con la jefatura de mantenimiento general, tener la responsabilidad de la puesta en servicio de este winche de izaje.

Con la profundización del pique principal del nivel 240 hacia el nivel 315, fue necesario recopilar más información sobre el cálculo de la potencia del motor eléctrico y de su banco de resistencias, esto con la finalidad de que en la puesta en servicio se garantice el torque suficiente del motor para vencer la carga de la jaula - skip para la nueva profundidad de 315 metros.

La información y los cálculos están resumidos en el presente trabajo, que esperamos sea de aporte para los profesionales relacionados con winches de izaje en minas convencionales

El objetivo principal es presentar el cálculo de la potencia del motor eléctrico y del banco de resistencia del motor para la profundidad de 315 metros de tal forma que el motor pueda vencer la carga desde este nivel en el arranque, posteriormente el calculo podrá ser empleado en futuras profundizaciones.

El trabajo esta dividido en 8 capítulos, el primero esta dedicado a dar a conocer la ubicación del estudio, los antecedentes que conllevaron a su realización y la situación actual de la mina describiendo su proceso de extracción y los alcances de su producción. En el segundo capítulo se dan los conceptos básicos referidos al winche de izaje, sus tipos existentes y los elementos que son pocos conocidos en estos equipos es decir la jaula - skip que es el elemento que lleva la carga y del pique el cual es el trayecto por donde se trasladará la jaula - skip

En vista que el estudio se refiere al winche actual existente en mina Manuelita, en el tercer capítulo describimos sus características técnicas tanto mecánicas como eléctricas. El cuarto capítulo nos ayuda a definir el tipo de motor eléctrico que se usará para la nueva profundidad de 315 metros, para este objetivo se realizó una descripción de los motores más utilizados en los winches de izaje, describiéndose el sistema WARD-LEONARD. que como se sabe es utilizado en equipos más grandes, por ser costoso. Finalmente se definió un motor de rotor bobinado.

La pregunta fundamental para iniciar el equipamiento de un winche de izaje es determinar la potencia eléctrica que deberá tener el motor, por lo tanto en el capítulo quinto, se da la metodología para el cálculo de esta potencia, empezando por el cálculo de torques o momentos desde la tambora, para luego pasar a calcular el torque que actuará en el eje del motor. El motor eléctrico deberá tener, el torque suficiente para vencer la carga, esto se conseguirá insertando resistencias en el rotor, por tal motivo en el capítulo sexto, se dan los conceptos básicos del motor de rotor bobinado incidiendo básicamente en el cálculo del torque electromagnético del motor y plantear su formulación. En el capítulo séptimo se calcula el banco de resistencia, para el motor de 200 HP adecuándose los valores de resistencia a los que existen en el mercado.

En el capítulo octavo, se hace un comparativo del costo del banco repotenciado, con el costo de un banco de resistencia nuevo.

Para materializar este trabajo y sobre todo para comprobar que el cálculo de resistencia era posible, se hizo el mismo trabajo en otros winches de izaje que ya tenían sus bancos de resistencias, pero era necesario tener las pruebas de vacío y corto circuito, los cuales se realizaron en la firma ABB, estos fueron posibles gracias al apoyo y gestión del Ingeniero Julio Díaz Aquino, jefe de nuestro Departamento General, a quién doy mis más sinceros agradecimientos por el apoyo prestado, también a la compañía Sociedad Minera Corona S.A. por la oportunidad dada para realizar el presente trabajo.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 ANTECEDENTES

SOCIEDAD MINERA CORONA S.A., que hasta hace tres años se llamó Compañía Minera Yauli S.A., es una empresa minera convencional, dedicada a la explotación de minerales polimetálicos, con mayor presencia de plomo, plata, cobre y zinc.

Sus operaciones principales se desarrollan en la mina Manuelita, ubicado en el distrito minero de Morococha, donde también se encuentran las empresas mineras de : Centromín Perú y Sociedad Minera Austria Duvaz S.A.

La mina , tiene una vida aproximadamente de 70 años y en los actuales momentos es necesario seguir profundizando, con la finalidad de asegurar nuevas reservas.

Hasta el año 1,996, tenía una profundidad de 240 metros (Nivel –240), y utilizaba para el izaje del mineral un equipo de doble tambora, conocido también como winche. Su marca era Ingersoll Rand de 53” x 36”, y su motor eléctrico tenía una potencia de 125 HP

con una tensión de alimentación de 2,300 voltios. Con la finalidad de profundizar al Nivel 315, es decir 75 metros por debajo del Nivel 240, se realizaron los cálculos para determinar la potencia necesaria del motor eléctrico y del banco de resistencia a insertarse en el rotor.

1.1.2 UBICACIÓN

La mina Manuelita, está ubicada aproximadamente a 142 Km , de la carretera central entre Lima y La Oroya, en el distrito de Morococha, Provincia de Yauli, Departamento de Junín. Por su ubicación geográfica se observa una topografía con relieves muy fuertes, y su altura sobre el nivel del mar, está entre: 4500 a 4600 metros.

1.2 GEOLOGÍA Y MINADO DEL LUGAR

El distrito minero de Morococha, es conocido desde la época incaica. Durante la colonia en el año 1760, los españoles explotaron minerales oxidados de plata y sulfuros: como la galena y tetrahedrita. La mineralización de la zona se presenta en estructuras de vetas, mantos y cuerpos de contacto. De acuerdo a la explotación del tipo de estructuras; existen dos métodos de minado:

- Minado Subterráneo o Convencional.
- Minado a Cielo Abierto o Mecanizado.

Describiremos brevemente cada una de ellas:

- **MINADO SUBTERRÁNEO o CONVENCIONAL**

La explotación se realiza dentro de la mina a cierta distancia del ingreso y a niveles por debajo del nivel "0" (este nivel cero es el nivel que coincide con el nivel de superficie), sobre estructura de vetas angostas de hasta 2 metros de ancho de minado. Para extraer el mineral de las zonas inferiores se construyen tolvas de almacenamiento en los niveles, con la finalidad de recolectar el mineral proveniente de los tajos de explotación y galerías de exploraciones, debidamente verificados en calidad y valor económico de mineral. Todas las tolvas son comunicados por una sola chimenea, por donde se traslada el mineral hasta el nivel inferior, allí se encuentra la tolva de carga (pocket). A este punto, llega la jaula-skip del winche de izaje, para realizar el transporte de mineral hasta la tolva de descarga, ubicado en el nivel "0".

El equipo de transporte (jaula-skip), es el que se utiliza para el izaje de mineral y de servicios auxiliares como : personal, herramientas, equipos y explosivos.

A este tipo de minado pertenece la mina Manuelita.

- **MINADO A CIELO ABIERTO o MECANIZADO**

La explotación se realiza a nivel de superficie en grandes cantidades de mineral, sobre estructuras de vetas anchas ó cuerpos con mas de 2 metros de ancho de minado, la profundización se realiza en forma de espiral para el acceso de los vehículos.

La extracción se realiza con equipos mecánicos, tales como : cargadores frontales, volquetes, scoops, etc.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MINERAL EN MINA MANUELITA

El acceso a las labores de mina, se hace por el nivel "0". A 600 metros de la bocamina se encuentra el **PIQUE PRINCIPAL**, el cual es la chimenea que comunica a las labores inferiores por medio de 08 niveles de producción, espaciados irregularmente con un promedio de 60 metros, entre niveles

1. Nivel "0"
2. Nivel -90
3. Nivel -125
4. Nivel -200
5. Nivel -240
6. Nivel -315
7. Nivel -385
8. Nivel -450

En la figura 1.1 se muestra el acceso a la mina y al pique principal, en la figura 1.2 el acceso a la sala de winche.

En todos los niveles hay vetas, los cuales son extraídos por dos formas de explotación

- Corte y Relleno Ascendente 50 %
- Shrinkage (almacenamiento) 50 %

PIQUE PRINCIPAL DE MINA MANUELITA

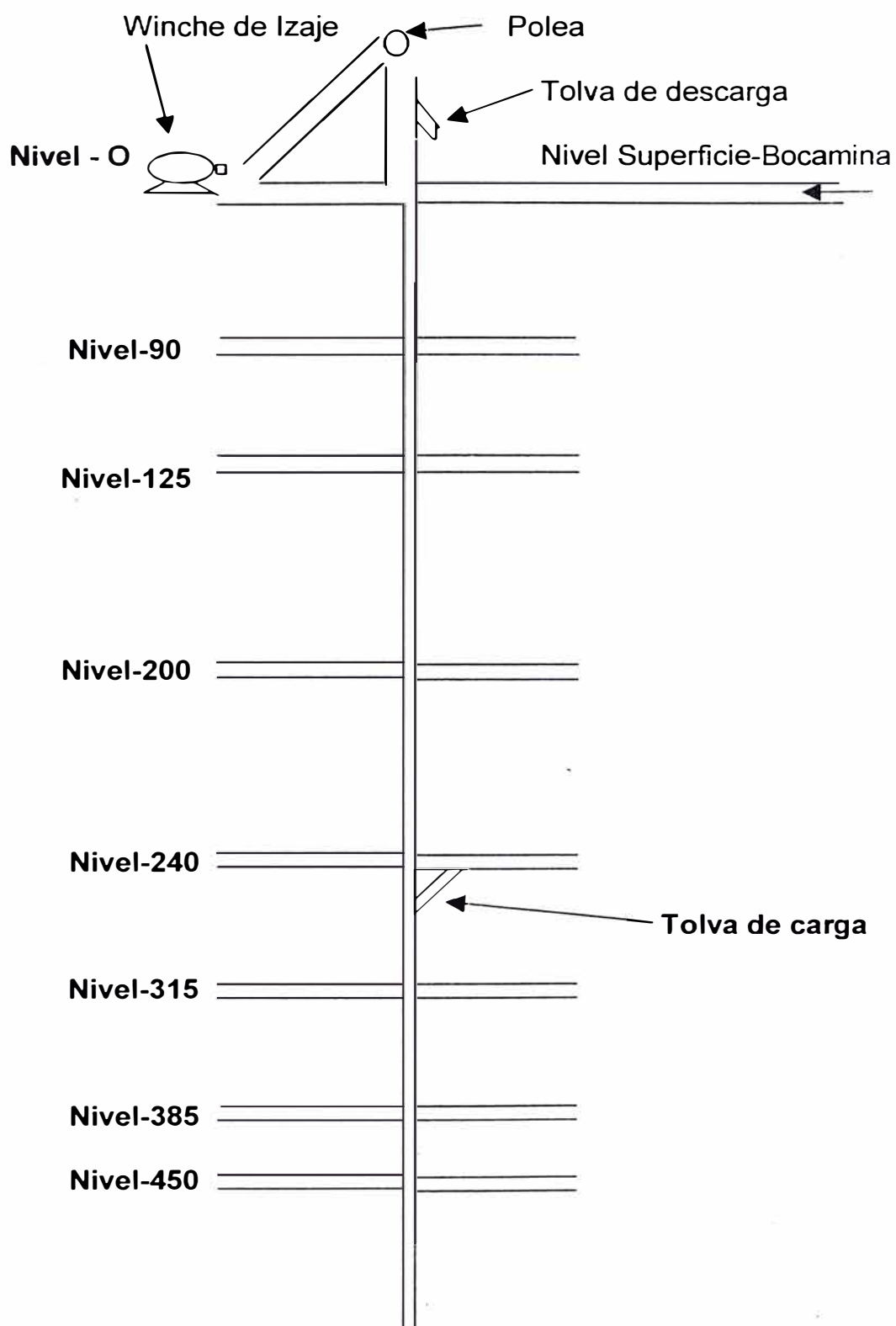


Figura Nro 1.1: Acceso a la mina y al pique principal



Figura Nro 1.2 : Acceso a la sala del winche

La extracción del mineral se inicia después de ubicar la veta de valor económico favorable para la empresa, con el siguiente procedimiento :

- a) La perforación y disparo del mineral se efectúa con equipos neumáticos.
- b) El carguío se realiza con palas neumáticas.
- c) El transporte del mineral en carros mineros, remolcados por una locomotora a tróley (línea de alimentación aérea) ó a batería.
- d) El mineral es descargado en las tolvas de los diferentes niveles de explotación, el cual por su propio peso y control de compuertas, llega al nivel más bajo, para su izaje.
- e) El izaje se realiza por el Pique Principal, mediante la Wincha, el cual levanta la jaula-skip, hasta la tolva de descarga, ubicado en el Nivel "0".
- f) De la Tolva de descarga se traslada el mineral con una Locomotora a Tróley, hacia la bocamina, para luego ser transportado a la Planta Concentradora por medio de volquetes para su procesamiento.

EQUIPOS UTILIZADOS :

- Suministro de aire a los equipos neumáticos :
 - Compresoras Estacionarias:
 - Marca : Atlas Copco
 - Caudal : 1,200 CFM c/u.
 - Presión : 100 PSI.
- Perforación :

- Perforadoras Neumáticas:
 - Marca : Montabert T-28
 - Tipo : Jack-Leg (para perforación lateral)
y Stoper (perforación de techo)
 - Caudal : 156 CFM
 - Presión : 75 PSI mínimo.
- Carguío de Mineral :
 - Palas Neumáticas :
 - Marca : EIMCO 12B y 21B
 - CFM : 210 CFM
 - Presión : 70 PSI mínimo
- Acarreo y Transporte :
 - Carros Mineros de 80 pies³.
 - Locomotoras
 - Marca : Clayton
 - Tipo : Trolley y a Batería
 - Capacidad: 1.5, 3, 4 y 6 Toneladas.
- Izaje de Mineral :
 - Wincha de Izaje: INGERSOLL RAND de 53" x 36".

1.4 ALCANCES DE LA PRODUCCIÓN Y COSTOS DE EXPLOTACIÓN :

La producción diaria por el Pique Principal, es de aproximadamente 938 Toneladas Métricas Secas (TMS), con leyes promedio de :

- 8.95 Oz/TC Plata (Ag)

- 2.19 % Plomo (Pb)
- 0.50 % Cobre (Cu)
- 4.83 % Zinc (Zn)

En el cuadro 1.1 se indica la producción mensual de la mina del año 2000, en el cuadro 1.2 los costos de explotación y en el cuadro 1.3 los costos de energía del mismo año.

MESES	TMS	AG Oz/TC	PB %	CU %	ZN %	US\$ POR TMS (*)	HUME DAD %
Enero	22,916.192	9.36	2.57	0.60	5.36	60.33	5.10
Febrero	23,779.755	10.11	2.31	0.58	5.08	60.90	5.02
Marzo	23,757.988	9.06	2.18	0.48	4.92	56.10	5.23
Abril	23,528.867	9.70	2.30	0.50	4.45	56.78	5.23
Mayo	23,615.044	8.70	2.27	0.46	4.96	55.21	5.22
Junio	23,533.683	8.73	2.02	0.52	4.42	53.07	4.53
Julio	23,787,651	8.58	2.18	0.48	4.84	54.35	4.57
Agosto	23,358.324	8.01	2.02	0.45	4.85	51.97	4.33
Septiembre	23,545.649	8.67	2.26	0.47	5.04	55.45	3.76
Octubre	23,543.449	9.26	2.19	0.49	4.84	56.51	4.19
Noviembre	23,355.615	8.07	1.94	0.49	4.48	50.85	4.27
Diciembre	22,844.841	9.20	2.05	0.52	4.76	55.87	4.49
Promedio						55.62 (1)	

(*) Costo Valor de Mineral

Cuadro Nro 1.1: Producción mensual de mina del año 2000

		DICIEMBRE 2,000	
Producción Mineral (TMS)		31,829.819 (**)	
Mineral Tratado (TMS)		32,801.402(**)	
Tipo De Cambio (Dólar)		3.521	
Explotación – Desarrollo (metros)		954.00	
Preparación (metros)		349.95	
COSTOS DE MINA		Importe S/.	U.S \$ Tm(*)
1.-Remuneración Obreros		5,750	0.05
2.-Leyes Sociales Obreros		1,953	0.02
3.-Remuneración Empleados		172,374	1.54
4.-Leyes Sociales Empleados		5,576	0.23
5.-Compensación Tiempo Servicio		23,924	0.21
6.-Explotación y Desarrollo		871,791	7.78
7.-Preparación y explotación		1'003,134	8.95
8.-Fuerza Eléctrica		186,932	1.67
9.-Servicios Auxiliares de Mina		106,342	0.95
10.-Gastos Manten. Activo fijo		215,340	1.92
11.-Depreciación de Activo Fijo		159,837	1.43
12.-Gastos Generales		158,812	1.12
13.-Transporte de Mineral		84,464	0.75
14.-Regalías		35,210	0.31
Total de Costo De Mina		3'051,439	27.23
COSTOS DE TRATAMIENTO			
1.-Remuneración Obreros		0	0.00
2.-Leyes Sociales Obreros		0	0.00
3.-Remuneración Empleados		53,674	0.46
4.-Leyes Sociales Empleados		7,637	0.07
5.-Compensación Tiempo Servicio		7,514	0.07
6.-Molienda		74,104	0.64
7.-Reactivos, Espesamiento y Filtrado		135,733	1.18
8.-Fuerza Eléctrica		192,116	1.66
9.-Laboratorio		17,138	0.15
10.-Gastos Manten. Activo Fijo		125,159	1.08
11.-Depreciación de Activo Fijo		20,279	0.18
12.-Gastos Generales		80,343	0.70
Total costo de Tratamiento		713,697	6.18
Sub – TOTAL (Mina & Tratamiento)		3'765,136	33.41
COSTOS ADMINISTRATIVOS LIMA			
1.-Remuneración Empleados		287,646	2.57
2.-Leyes, Sociales Empleados		59,668	0.53
3.-Compensación Tiempo Servicio		40,540	0.36
4.-Depreciación Activo Fijo		33,419	0.30
5.-Gastos Manten. Activo Fijo		2,938	0.03
6.-Fletes de Concentrados		117,122	1.05
7.-Gastos Generales Administrat.		151,270	1.35
8.-Cargas Financieras		5,712	0.05
Total Costo de Administ. Lima		698,315	6.23
COSTO TOTAL		4'463,451	39.64
COSTO SIN DEPRECIACIONES NI COMPENSACIÓN T. DE SERV.		4 17,938	37.10 (2)

(*) Costo de Explotación

(**) producción de mineral con zonas aledañas

Cuadro Nro 1.2 : Costos de explotación

De los dos cuadros anteriores calculamos la utilidad neta:

Costo Valor Mineral (1) – Costo de explotación (2)

$$55.62 - 37.10 = 18.52 \$ / tms$$

MESES	COSTO MES EN SOLES	COSTO MES EN DOLARES	TMS	COSTO \$/TON
ENERO	138,103.70	39,458.20	22,916.192	1.722
FEBRERO	125,805.80	37,001.71	23,779.755	1.556
MARZO	150,988.70	43,764.84	23,757.788	1.842
ABRIL	137,710.90	39,345.97	23,528.867	1.672
MAYO	146,348.40	41,813.83	23,615.044	1.771
JUNIO	124,493.20	35,569.49	23,533.683	1.511
JULIO	128,607.80	36,745.09	23,787.651	1.545
AGOSTO	131,357.55	37,530.73	23,358.324	1.607
SETIEMBRE	143,214.17	40,918.33	23,545.650	1.738
OCTUBRE	145,509.48	41,574.14	23,543.450	1.766
NOVIEMBRE	145,012.83	41,432.24	23,355.615	1.774
DICIEMBRE	140,906.09	40,258.88	22,844.840	1.762

Cuadro Nro 1.3 : Costo de energía mina año 2000

1.5 OBJETIVO DEL TRABAJO :

El presente trabajo tiene por objetivo presentar el cálculo del nuevo banco de resistencia, necesario para el motor a instalarse para la profundización de 315 metros y plantear la repotenciación del banco de resistencia actual, es decir adicionar la resistencia faltante y evitar la compra de un banco de resistencia nuevo, esto redundará en un beneficio económico para la Empresa. Adicionalmente la metodología de cálculo podría ser empleada para la aplicación hacia los niveles inferiores.

CAPITULO 2

CONCEPTOS Y TIPOS DE WINCHES DE IZAJE

2.1 DEFINICIÓN DE WINCHE DE IZAJE:

Es un equipo mecánico y eléctrico utilizado para izar cargas desde un parte inferior a otra superior. El recorrido de la carga puede ser vertical ó ligeramente inclinado. Las cargas, ya sea mineral como es el caso de una mina, son izados mediante un SKIP, el cual tiene la forma de un balde, precisamente para poder levantar el mineral del nivel inferior al nivel superior. En la parte superior del SKIP, algunas veces se construye una jaula de dimensiones apropiadas, con la finalidad de transportar personal y dar mayores facilidades al trabajo de operación en mina. En este caso se le llama JAULA – SKIP. Este equipo se traslada a lo largo de una chimenea que comúnmente toma el nombre de PIQUE. Por lo tanto de acuerdo a la construcción del pique, los winches se dividen en:

- Winche de izaje vertical
- Winche de izaje inclinado.

En la figura 2.1 se presenta un esquema muy simple, de un winche de izaje de una tambora, en él se puede

apreciar el motor eléctrico, su respectivo banco de resistencia y el cable de acero que se utiliza para jalar la jaula-skip

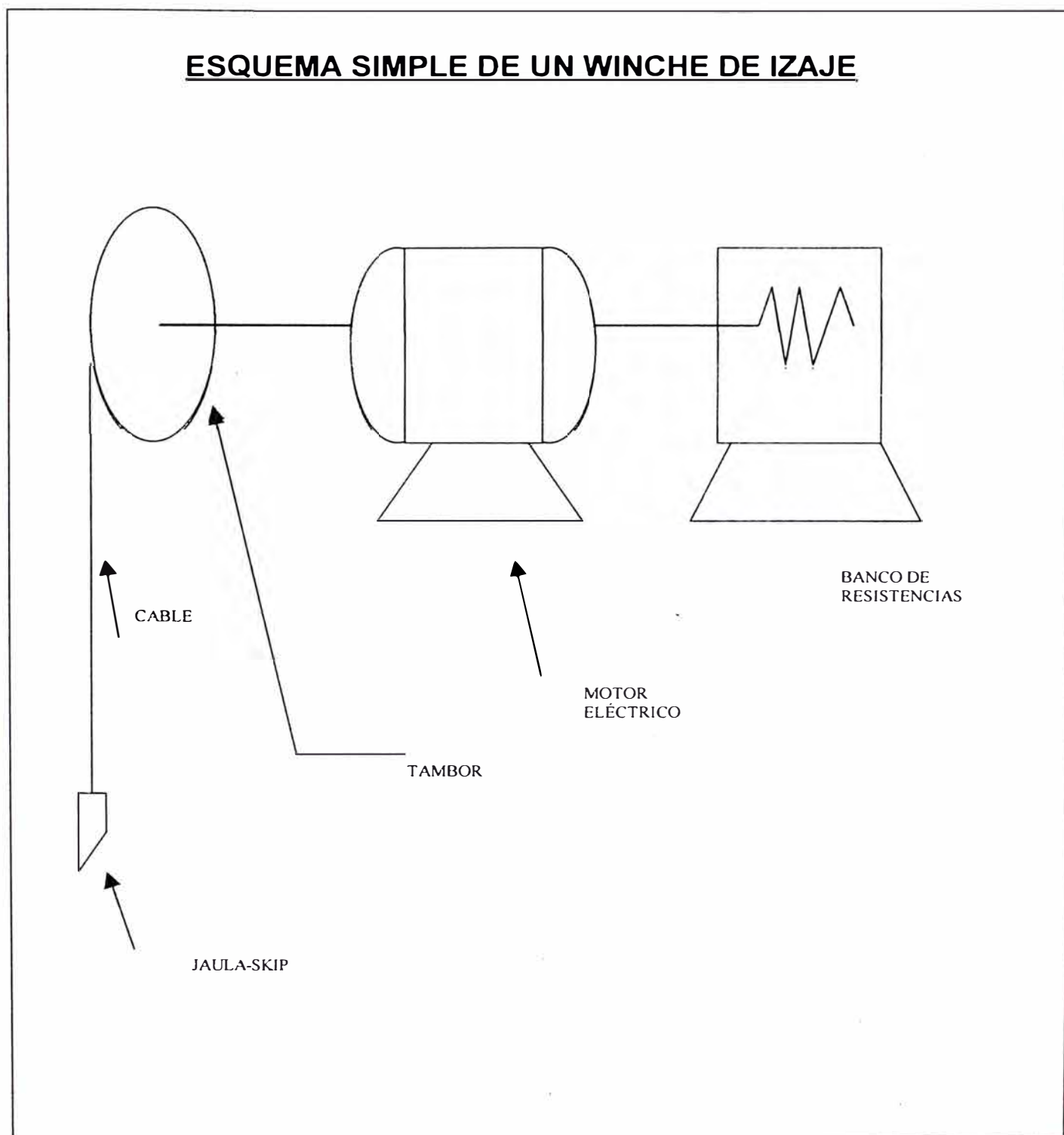


Figura Nro 2.1 : winche de izaje

2.2 DEFINICIÓN DE PIQUE:

El pique es el trayecto por donde se traslada la jaula-skip y es a la vez la “Chimenea” que comunica a todas las tolvas de los diferentes niveles de mina, con la finalidad de captar el mineral por gravedad y extraerlo hacia la superficie.

Su construcción es de alta tecnología con la finalidad de garantizar el traslado de la jaula-skip, sin descarrilamiento ú otros desperfectos. Para cumplir con este objetivo tiene en dos extremos unas guías de madera, éstas están soportadas en unos cuadros que también son de madera las cuales soportan la humedad y agua existente en la mina. En la figura 2.2 se presenta una vista del pique Manuelita y en la figura 2.3 se puede ver la posición de las guías y el enmaderado del pique y en la figura 2.4 se muestra una vista de planta de la chimenea y la ubicación del enmaderado los cuales conforman el **PIQUE**.

2.3 DEFINICIÓN DE JAULA-SKIP:

Es el elemento que sirve para levantar los objetos de la parte inferior a una parte superior o viceversa, como ya se ha mencionado en la parte superior del skip lleva una jaula, que se utiliza para transportar personal u otros equipos que se necesitan en la mina. En el caso de otras minas, muchas veces la jaula va separada del skip. En Las figuras 2.5 y 2.6 se muestra tanto la jaula como el skip del pique principal.



Figura Nro 2.2 : Vista del pique Manuelita

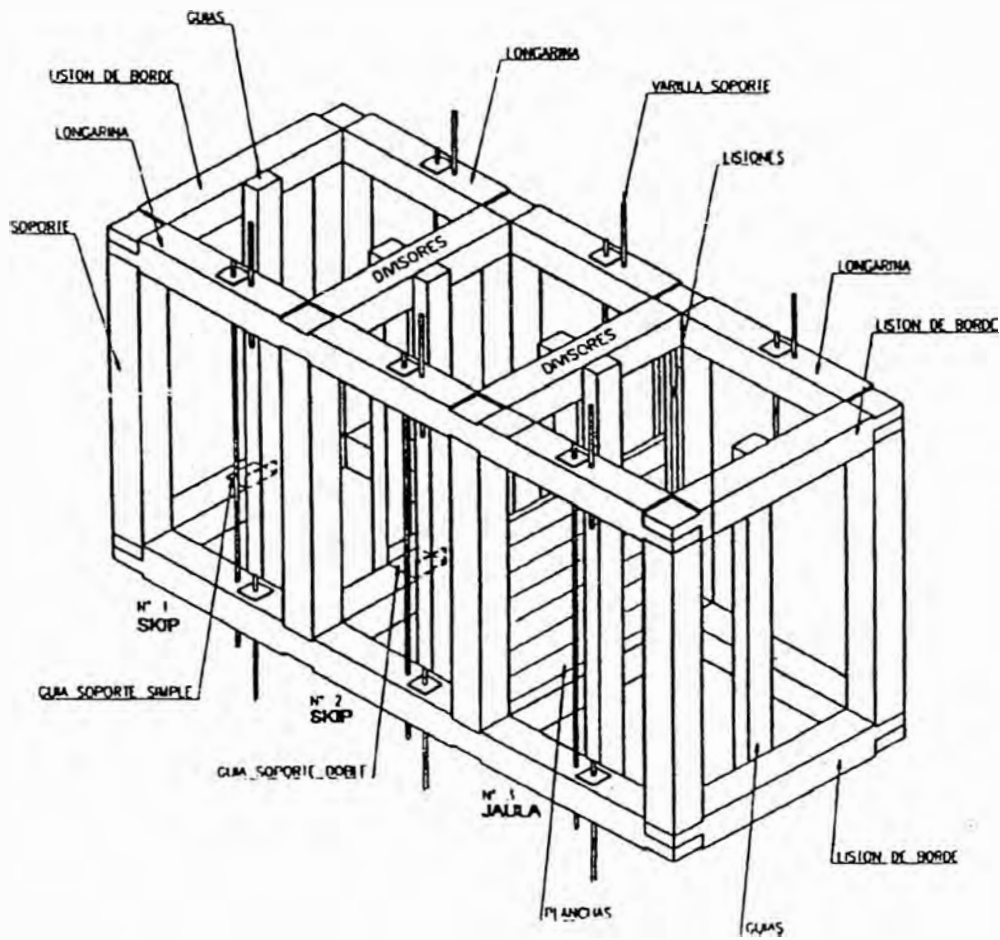


Figura Nro 2.3 : Posición de las guías y enmaderado del pique

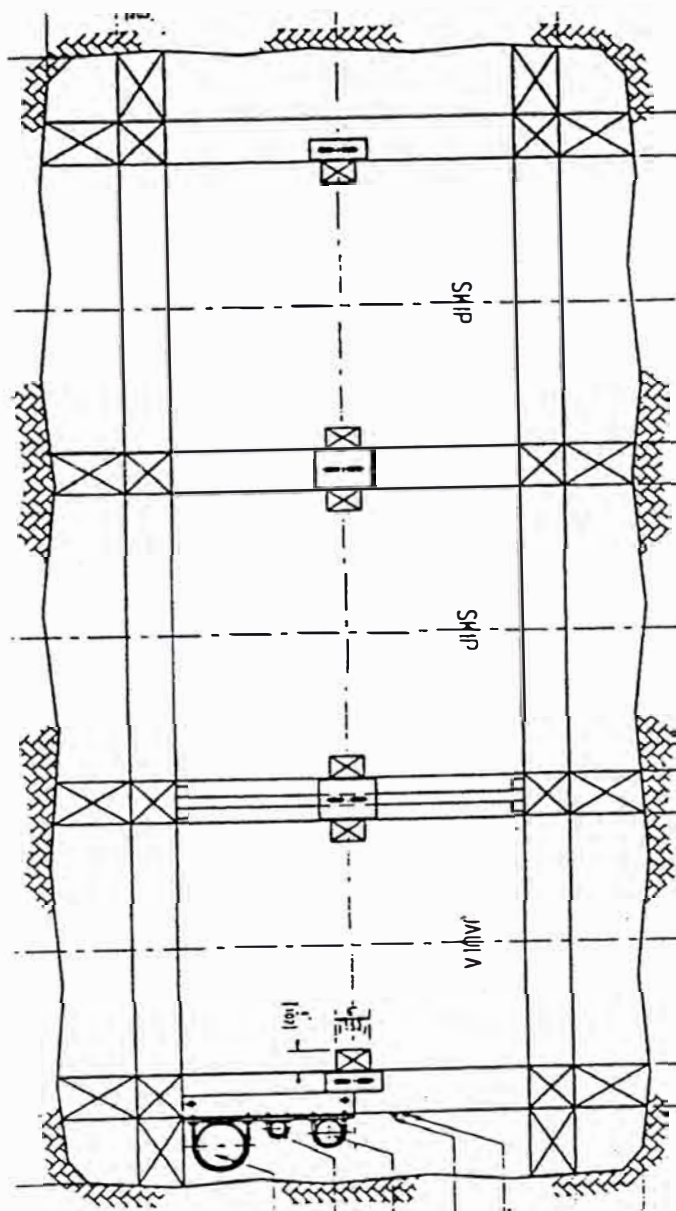


Figura Nro 2.4 : Vista de planta de la chimenea



Figura Nro 2.5 : Vista de la jaula



Figura Nro 2.6 : Vista del skip

2.4 TIPOS DE WINCHES DE IZAJE:

Desde el punto de vista del enrollamiento del cable, existen dos tipos de winches:

- Winches de tambor.
- Winches de fricción.

A continuación describiremos a cada uno de ellos y sus variaciones dentro de cada tipo.

2.4.1 WINCHES DE TAMBOR:

En este tipo de winche, el cable de izaje se enrolla sobre la superficie del tambor, como si fuese un carrete. En el sector minero el tambor es comúnmente llamado "tambora", por tanto este término se utilizará en adelante. Los winches tipo tambor son los más utilizados en la mayoría de minas. De acuerdo a su construcción, existen dos tipos bien definidos, aquellos que tienen una tambora y los que tienen dos tamboras veamos :

- **DESBALANCEADO** : Es el winche que tiene una sola tambora, utilizado en minas de poca producción ó para trabajos en izaje de materiales. Toma el nombre de desbalanceado por que la carga actúa con su momento de fuerza en un solo lado de la tambora. En la figura 2.7 se muestra este tipo.

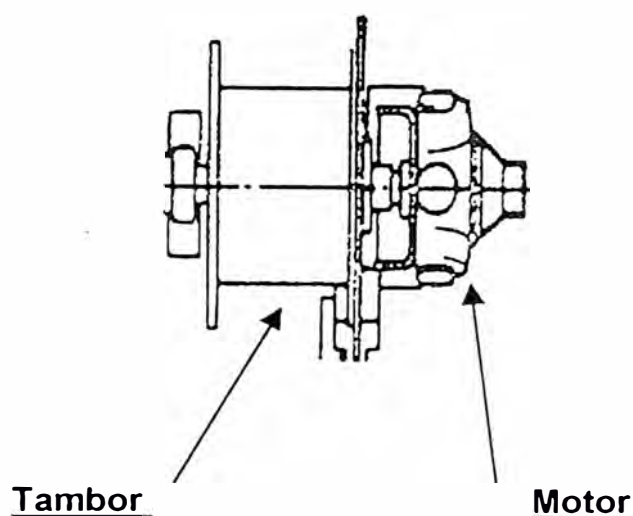


Figura Nro 2.7 : Winche tipo desbalanceado

- **BALANCEADO** : En este caso el winche tiene dos Tambores, movidos por un solo eje, es utilizado en minas de alta producción. Este sistema permite trabajar con dos cargas ó jaulas-skip, en una de las tambores el cable se enrolla en un sentido de rotación y en la otra en el sentido contrario, esto permite que los momentos de fuerza ejercido por las cargas en la tambora se compensen durante el funcionamiento y por lo tanto en el motor eléctrico. En la figura 2.8 se muestra la vista frontal de un winche de dos tambores y la figura 2.9 la vista lateral de este mismo tipo. Los cables se muestran que van hacia arriba, por que se dirigen a una polea

que está en la parte superior. Al pasar por la polea el cable queda en forma vertical suspendiendo la carga.

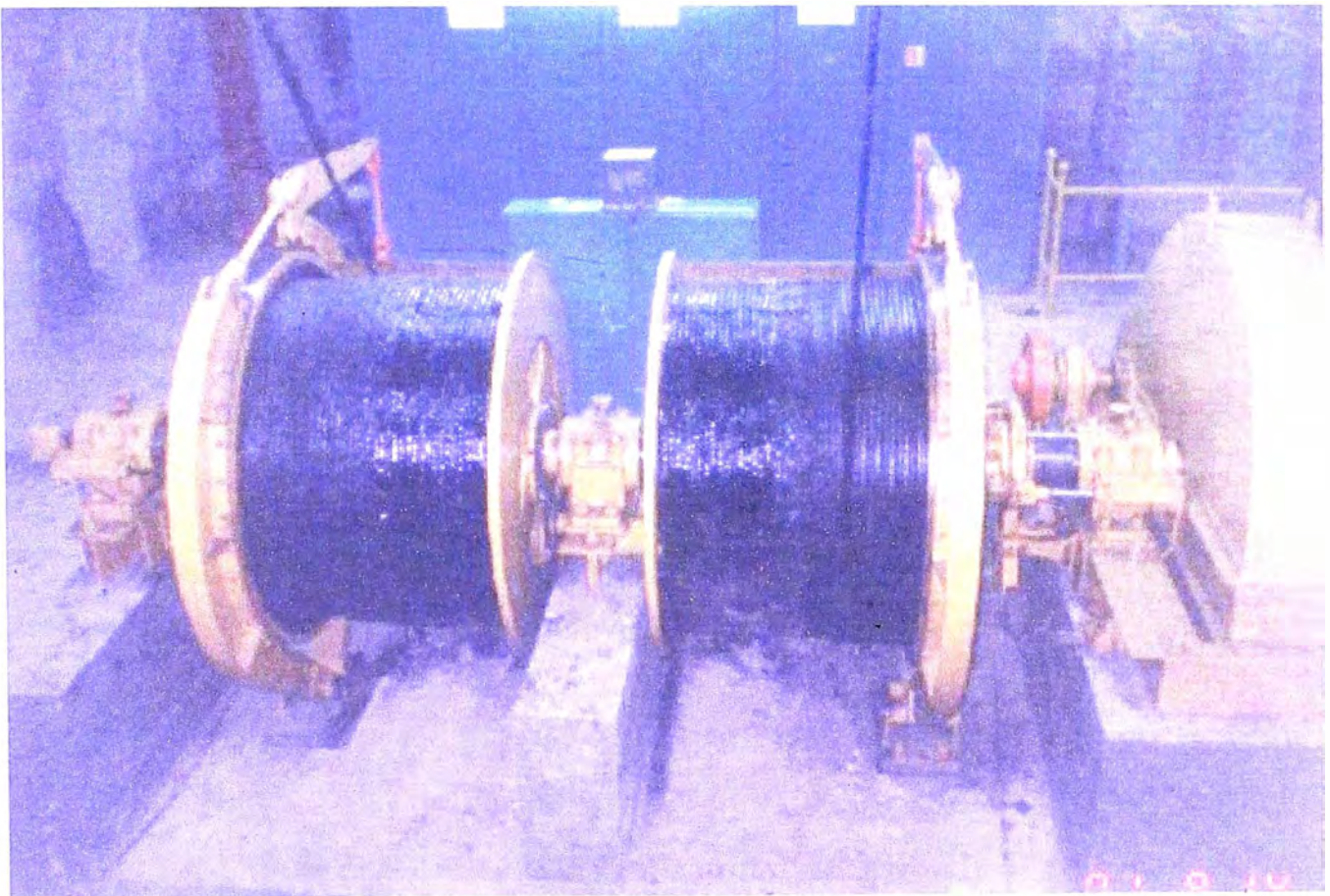


Figura Nro 2.8 : Vista frontal de winche tipo balanceado

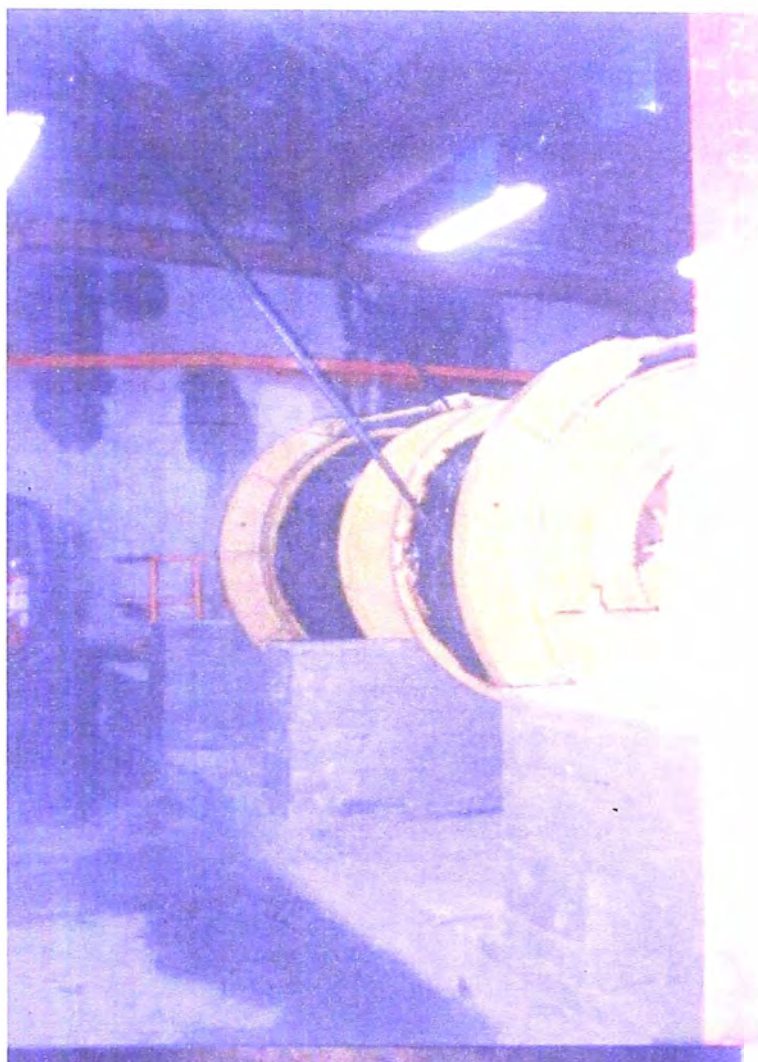


Figura Nro 2.9 : Vista lateral de un winche tipo balanceado

En mina Manuelita se utiliza el winche tipo balanceado. Los winches tipo tambor tienen un embrague el cual es un mecanismo que permite dejar sin movimiento a la tambora, inclusive cuando el motor está en funcionamiento. En el caso del winche de doble tambora este mecanismo sirve nivelar las jaulas-skip ó mover una sola jaula-skip si fuera necesario. Los embragues pueden ser de dos o mas brazos dependiendo de la potencia del winche de izaje. En la figura 2.10 se presenta este tipo de embrague.



Figura Nro 2.10 : Embrague de un winche

2.4.2 WINCHES DE FRICCIÓN:

En estos winches el cable no se enrolla en el tambor, sino que pasa por la ranura, desplazándose por efecto de la tensión diferencial que se produce en el punto de entrada y el de salida al girar el tambor.

Se emplea en piques profundos al no tener limitación de enrollado de cable. En la figura 2.11 se presenta este tipo de winche.

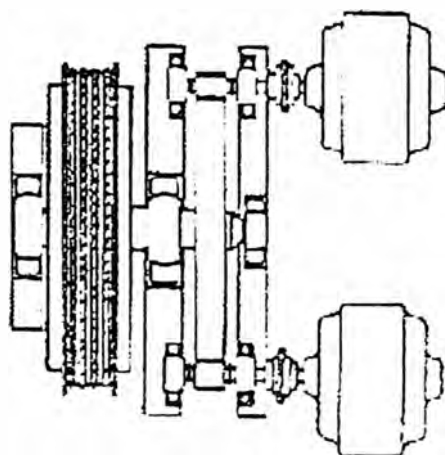


Figura Nro 2.11 : Winche tipo fricción

CAPITULO 3

DESCRIPCIÓN DEL WINCHE DE IZAJE EXISTENTE

3.1 CARACTERISTICAS TÉCNICAS:

3.1.1 DIMENSIONES DEL PIQUE:

- Profundidad : 240 metros
- Abertura : 5.4 m x 2.5 m
- Estructura : 02 divisiones para Skip
Cuadros de Pino Oregón
Sección 10" x 10"
Guías de Pino Oregón de
5" x 8"
- Reforzamiento del: Pernos de Anclaje.
Contorno Pique

3.1.2 EQUIPOS MECÁNICOS :

- Tipo de Winche : Montado en un piso, doble tambora, doble embrague, accionado por un motor de corriente alterna.
Ver figura 3.1

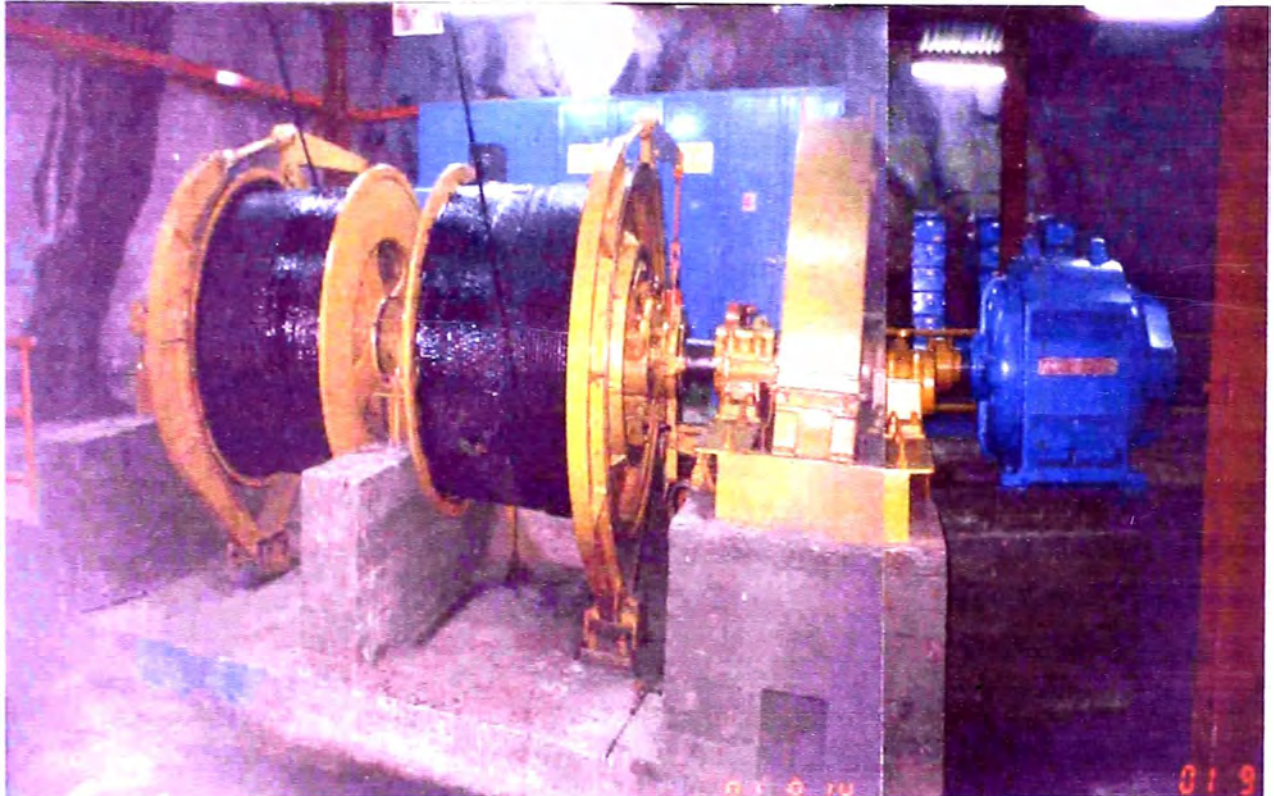


Figura Nro 3.1 : Vista del winche de mina Manuelita

- Carguío : Dos jaulas-skip en balancín de :
2.8 Ton. cada uno.
- Fabricante : Ingersoll Rand.
- Serie : 1848B
- Tipo : 53" x 36"
- Tensado de cable: 29,200 Kilos.
- Velocidad : 139.8 m/min.
- Tamaño de Tambora: 53" de Diámetro
36" de Frente.

En la figura 3.2 se muestra la tambora.



Figura Nro 3.2 : Tambora de winche.

- Bobinado Tamboras: Tambora derecha, bobinado superior.
Tambora Izquierda, bobinado inferior.
Los cables de ambas tamboras se anclan en la Parte Interna.
Ver figura 3.3

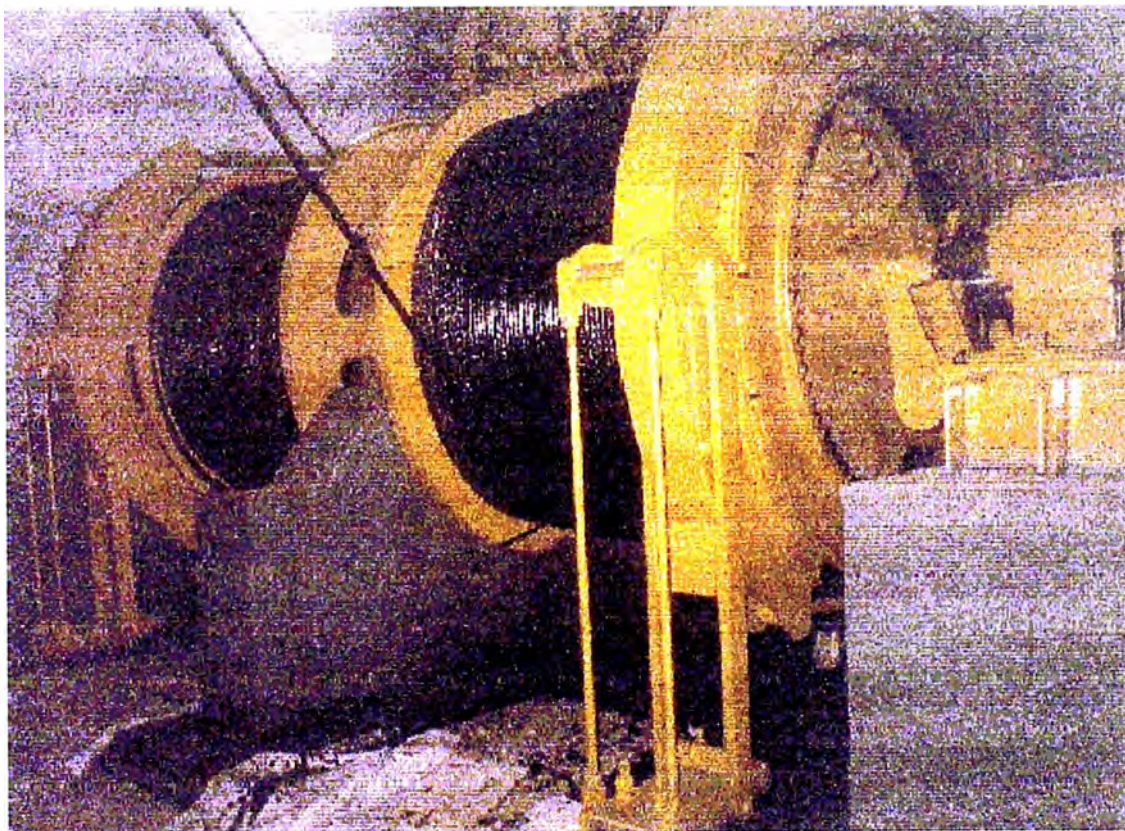


Figura Nro 3.3 : Bobinado de tamboras.

- Construcción de tamboras: Las dos tamboras son idénticas y los labios están contruidos de fierro fundido y empernados a una carcaza tubular de acero, en cada tambora las carcazas LEBUS, son del tipo fijo, para cable de 7/8", con ranuras. A Cada tambora se emperna, unas piezas de 62.1/2" de diámetro y 7.1/4" de cara, esta es la pista de freno.
- Embrague : Es de 2 brazos, el brazo dentado externo engrapa a un anillo dentado en la tambora, su accionamiento es por aire. Ver figura 3.4

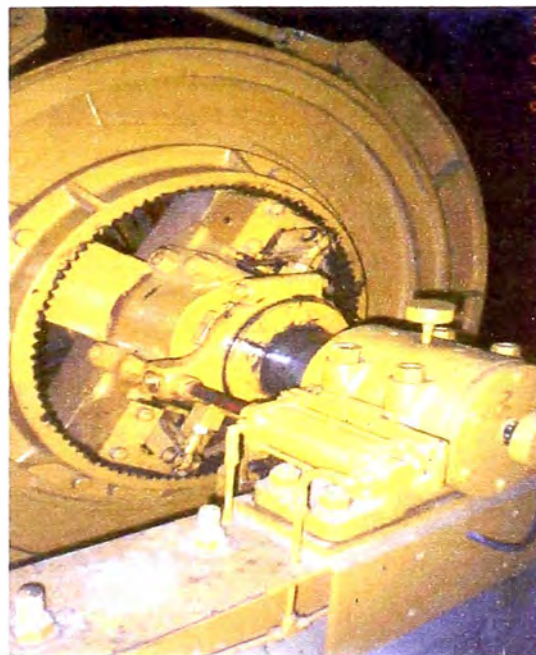


Figura Nro 3.4 : Embragues

- Eje de Tamboras: Forjado en acero de 7" diámetro
Y una longitud de 5 metros.
- Engranajes La catalina es una construcción Herringbone (doble helicoidal) con 210 dientes, que engrana con el contraeje del motor de 14 dientes. Ver figura 3.5.

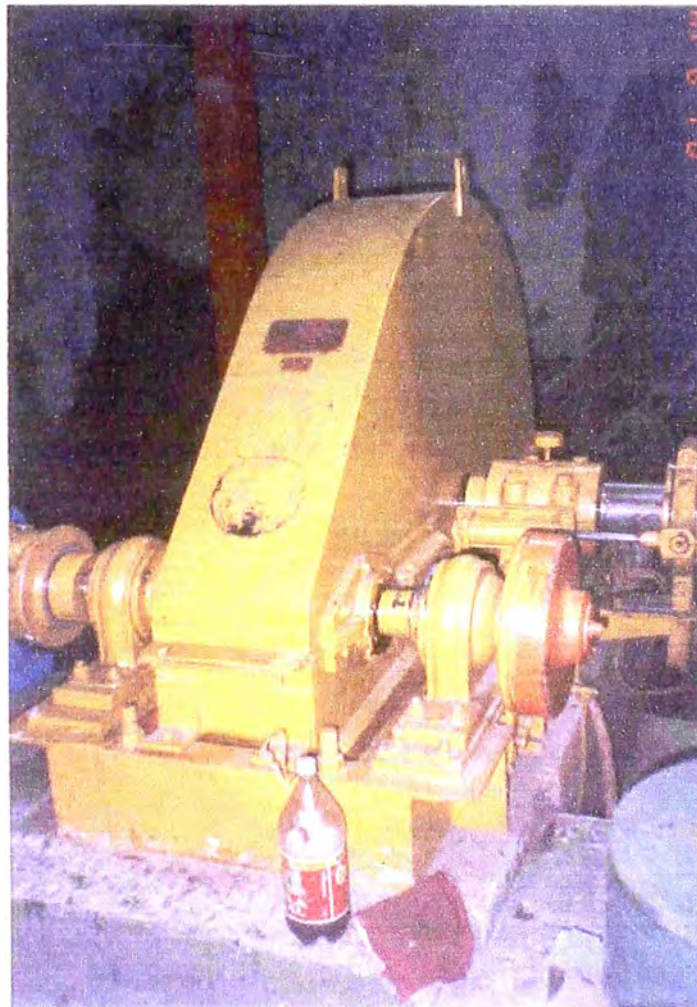


Figura Nro 3.5 : Conjunto de engranajes

- Acoplamiento de motor: Es de Tipo FALK, con una Cubierta de protección. ver figura 3.6.

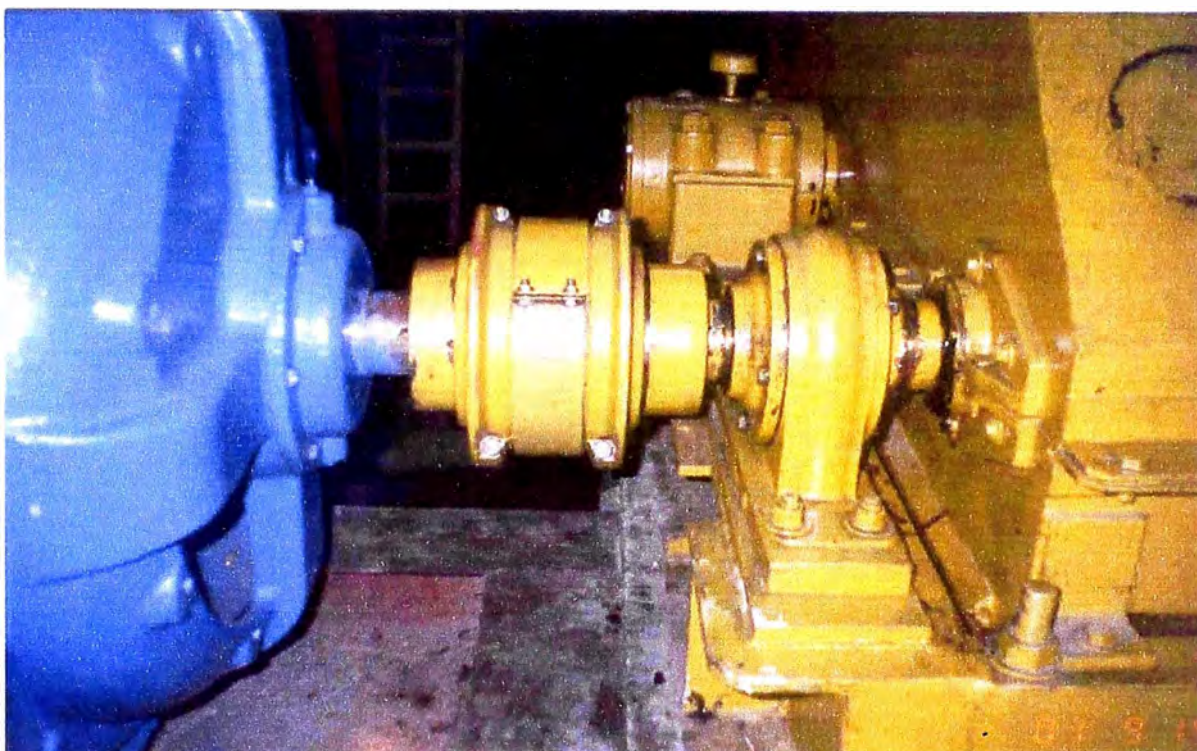


Figura Nro 3.6 : Acoplamiento de motor

- Freno : El winche está equipado con dos frenos de movimiento paralelo, el sistema es tipo neumático, tanto para frenar como para liberar los frenos, y con unas contrapesas para la automatización. Ver figura 3.7



Figura Nro 3.7 : Freno de tambora

- Poleas : Son de fierro fundido, cuya dimensión debe ser igual al diámetro del tambor, con la finalidad de evitar formación de : “Cocadas”, generalmente son ranurados y de un solo canal, cuya abertura deberá tener las tolerancias dependiendo del diámetro del cable, para evitar

desgastes prematuros laterales

y/o circunferenciales. Ver cuadro 3.1

DIÁMETRO DEL CABLE		TOLERANCIA	
Milímetros	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas
6.4 a 8	1/4" a 5/16"	0.4 a 0.8	1/64" a 1/32"
9.5 a 19	3/8" a 3/4"	0.8 a 1.6	1/32" a 1/16"
20 a 29	13/16" a 1.1/8"	1.2 a 2.4	3/64" a 3/32"
30 a 38	1.3/16" a 1.1/2"	1.6 a 3.2	1/16" a 1/8"
40 a 52	1.19/32" a 2"	2.4 a 4.8	3/32" a 3/16"

Figura Nro 3.1 : Cuadro de tolerancia en el diámetro de la ranura con respecto al diámetro del cable, en una polea

- Cable de acero: Se utiliza para el izaje de la Jaula-skip, es un producto fabricado con alambre de acero colocado ordenadamente para desempeñar un trabajo determinado, su construcción del cable depende del arreglo de sus partes como son: alambres, torones y alma. El usado en mina Manuelita es el cable de acero tipo: cobra,

alma de fibra de 7/8" de diámetro

6 torones, construcción 9/9/1,

serial 6 x 19, calidad de acero:

Arado Mejorado torcido regular

Derecho.

Ver figura 3.8 el cable de este tipo.



Figura Nro 3.8 : Cable de acero

- Jaula-skip : Es el elemento de izaje versátil ya que puede convertirse en skip (mineral) y para transporte de personal (jaula), ver figura 3.9

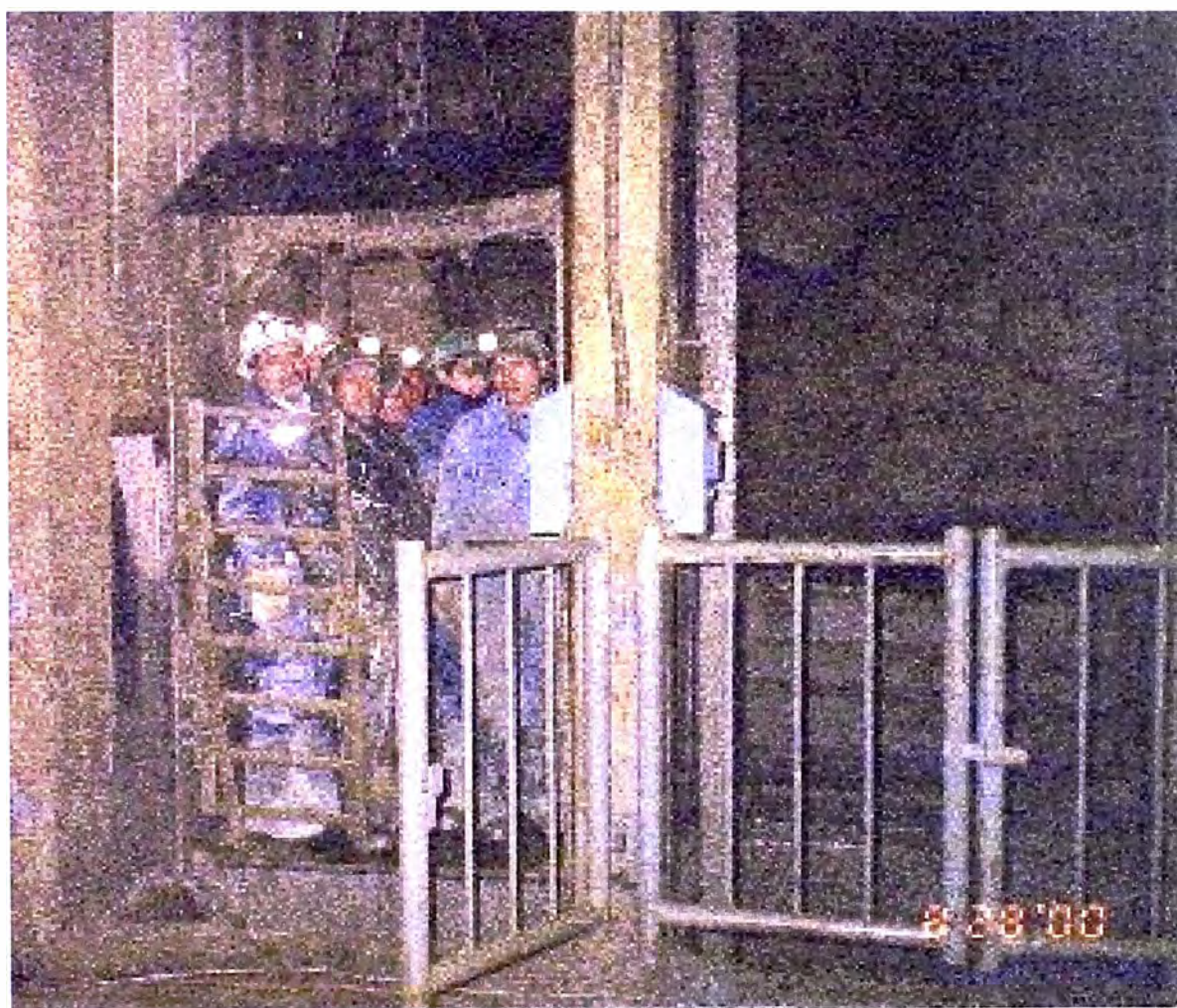


Figura Nro 3.9 : Jaula-skip

3.1.3 EQUIPOS ELÉCTRICOS :

Fabricante : General Eléctric – CANADA.

- Motor de winche : Motor de rotor bobinado tipo: M
Trifásico, 60 Hz., Nro. 848170,
Frame: 78065, Potencia: 125 HP
Tensión Estator: 2300 voltios,
Corriente Estator: 34 amperios
Velocidad : 505 RPM.
Tensión Rotor : 316 voltios.
Corriente Rotor : 185 amperios
Factor Servicio: 1.15
Tiene 2 Rodamientos 6322C3 y
6320-2Z. Ver figura 3.10



Figura Nro 3.10 : Motor de winche

- Distribución de la energía eléctrica : La energía eléctrica que usa el motor eléctrico es de 2,300Voltios, trifásico, 60Hz, viene desde un transformador de 200 KVA, 4160/2300 voltios, el cual es alimentado desde una subestación principal de energía, ver figura 3.11.



Figura Nro 3.11 : Tablero del winche

□ Panel primario – Recepción de Energía :

La energía eléctrica de 2,300 volt., trifásico, 60 Hz., es recepcionado es este tablero por 3 seccionadores simples, Estos seccionadores se aperturan cuando se realiza el mantenimiento general, luego de los seccionadores simples se alimenta a 3 seccionadores fusibles (Cut-outs), con la finalidad de proteger contra un corto circuito, ver figura 3.12.



Figura Nro 3.12 : Panel primario

□ Panel de contactores de alta tensión:

Recibe la energía del panel primario con un disyuntor en reducido volumen de Aceite de las siguientes características:

- Marca : Vannosi
- Tipo : ORPEF
- Nro. : 155331/77
- Tensión Nominal : 17.5 Kv.
- Corriente Nominal : 400 amperios.
- Potencia de Ruptura: 12 Ka. Ver figura 3.13



Figura Nro 3.13 : Disyuntor

En el panel de contactores se realiza la inversión del sentido de giro del motor eléctrico para producir la subida y bajada de la jaula-skip. Ver figura 3.14.

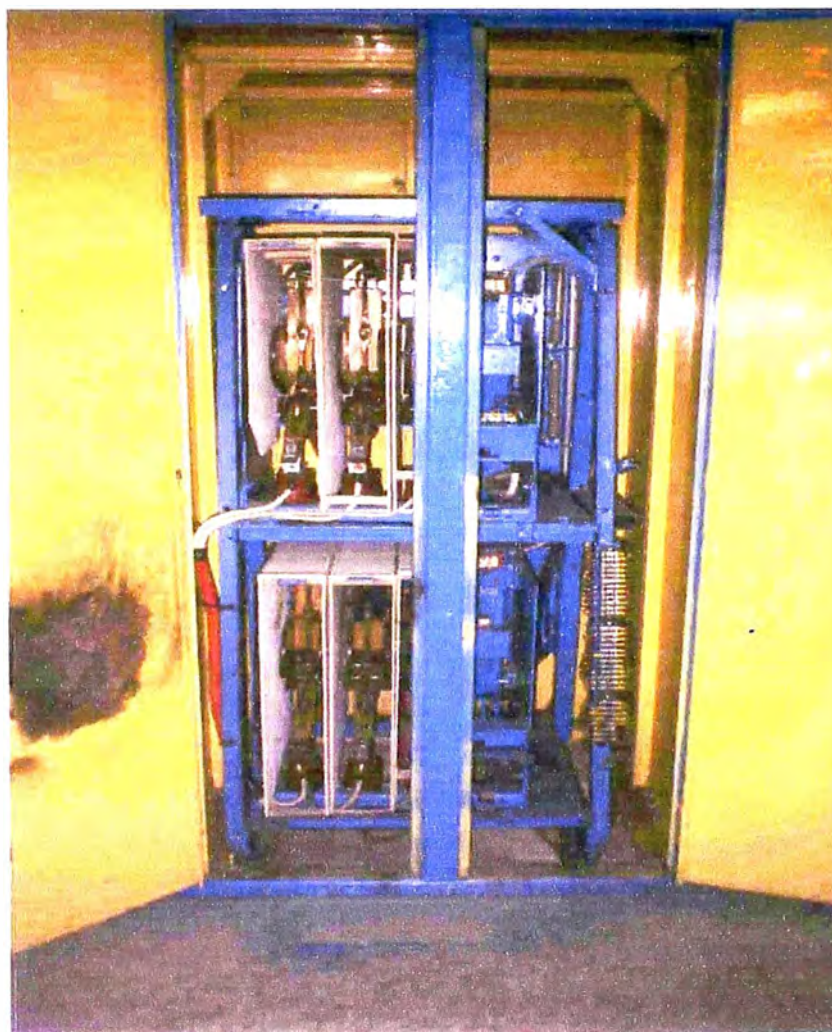


Figura Nro 3.14 : Panel de contactores de alta tensión

Panel de contactores secundarios y temporizadores :

Aquí están ubicados los contactores que realizan la eliminación del banco de resistencia paso por paso

Características:

- Marca : General Eléctric
- Tipo : Nema Line 300, Nema Size 4
- Corriente : 150 amperios
- Catálogo : CR 305 F004

Ver Figura 3.15



Figura Nro 3.15 : Panel de contactores secundarios

□ Banco de resistencias :

Está diseñado para dar altos torques con bajas corrientes, cada fase esta formado por 9 unidades de resistencia de fierro fundido, marca General Eléctric, Tipo: SG Nro. 6, con Nros. 40806 y 40803, la espira de cada tipo y número tiene su valor de resistencia:

Nro. 40806 Tipo SG Nro. 6 : 0.060456Ω por espira.

Nro. 40803 Tipo SG Nro. 6 : 0.032652Ω por espira.

Ver figura 3.16.



Figura Nro 3.16 Banco de resistencia

▫ Sistema de control :

Se utiliza una consola para que el operador pueda controlar el winche de acuerdo al requerimiento y realizar todas las coordinaciones de la máquina, se encuentran los botones de emergencias eléctricas y neumáticas, control de sobrecarrera, indicadores de presión, control de corriente, control de embrague y frenos.

Ver Figura 3.17.



Figura Nro 3.17 : Sistema de control

□ Sistema de medición :

Tiene un medidor digital marca: SATEC, Modelo: PM 170E, sirve para medir los diferentes parámetros del equipo eléctrico, tal como la tensión, corriente, potencia, factor de potencia, etc, para tener un correcto control de la wincha, los datos pueden ser almacenados en una computadora y ser manejado por un SOFTWARE POWER COM PLUS 3.1, para analizar el buen funcionamiento.

Ver en la figura 3.18, la instalación en el tablero.



Figura Nro 3.18 : Sistema de medición

□ Sistema de Protección :

Para este sistema posee un protector llamado "LILLY" (nombre original dado por el fabricante de Canadá) que recibe movimiento proporcional a las tamboras y evita que la jaula exceda los límites de altura y profundidad y una posible sobrevelocidad, para tal efecto posee 3 contactos normalmente cerrados que se aberturan cuando ocurre una falla, son dos protectores Lilly, uno para cada tambora ó jaula-skip. Ver figura 3.19.

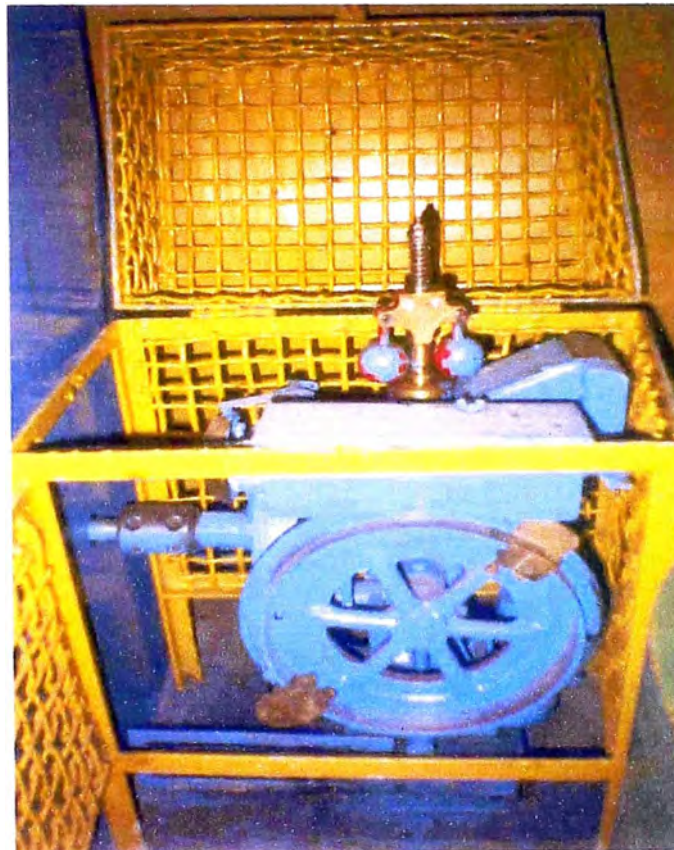


Figura Nro 3.19 : Sistema de protección

3.2 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO :

La tensión de 2,300 voltios, trifásico, 60 Hz, es aplicado al estator del motor, mediante uno de los contactores de inversión de acuerdo a la necesidad de subida ó bajada de la jaula-skip. Inicialmente el banco de resistencia esta totalmente insertado en el rotor para producir un alto torque de arranque y lograr vencer la inercia de la carga con una velocidad pequeña y baja corriente. Para ir incrementando la velocidad se va eliminando punto por punto el banco de resistencia, hasta cortocircuitarlo y el motor consiga su máxima potencia y velocidad. La eliminación de la resistencia punto por punto se consigue con 07 contactores que están temporizados en forma automática. Para el caso de la parada ó desaceleración se realiza el proceso contrario, insertando resistencia del séptimo al primer punto, hasta producir la parada total.

CAPITULO 4

SELECCIÓN DEL TIPO DE MOTOR DE ACCIONAMIENTO PARA UNA PROFUNDIDAD DE 315 METROS

La energía eléctrica es la más empleada en el accionamiento de sistemas de elevación o winches de izaje. Por tal motivo los motores eléctricos son los más apropiados gracias a su adaptabilidad, confiabilidad y economía. La aplicación con éxito de los motores depende de la selección de un tipo de motor que satisfaga las necesidades eléctricas de arranque, funcionamiento y detención de la máquina accionada.

En este capítulo se presenta, inicialmente una descripción de los diferentes tipos de motores eléctricos que existen en la actualidad, Incluyendo el sistema WARD-LEONARD (motor sincrónico – generador de corriente continua – motor de corriente continua) y finalmente se hace la selección del motor eléctrico de acuerdo a los requerimientos para izaje de una profundidad de 315 metros.

4.1 GENERALIDADES DE MOTORES ELÉCTRICOS :

Los motores eléctricos realizan la conversión de energía eléctrica en energía mecánica de rotación, para ser utilizado en la mayoría de equipos mecánicos. Existen diferentes tipos de motores eléctricos los cuales son descritos a continuación

4.2 TIPOS DE MOTORES :

Existen varias formas para clasificar a los motores eléctricos. En primer lugar con respecto a la alimentación de energía eléctrica, los motores se clasifican en corriente directa ó continua "DC" y corriente alterna "AC", adicionalmente de acuerdo a la construcción del rotor y estator, los motores se clasifican de acuerdo al presentado en el cuadro 4.1.

A continuación hacemos una descripción de los tipos de motores eléctricos.

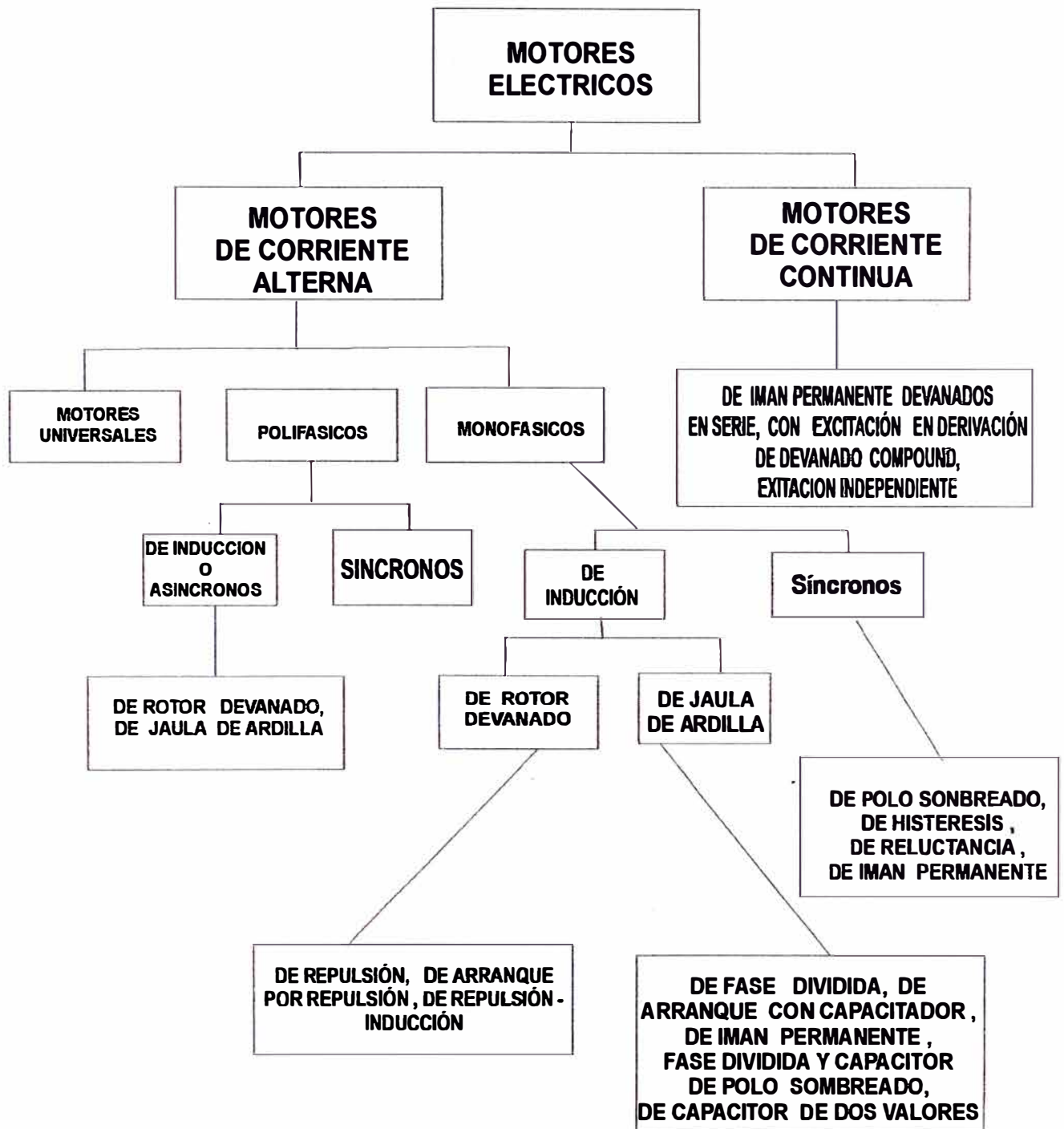
4.2.1 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA (DC) :

Estos motores utilizan corriente continua y sus fuentes de energía, pueden ser baterías, generadores de DC ó rectificadores. Cuando la potencia de los motores es pequeña, los motores funcionan con baterías ó rectificadores. Sin embargo cuando

los motores son grandes, como los motores de grúas, laminadores, winches de izaje, se emplean generadores de corriente continua. De acuerdo a como se conecten el bobinado de campo y la armadura dan lugar a los tipos existentes de motores. En la figura 4.1 se muestra la vista exterior de un motor DC.



Figura Nro 4.1 : Vista exterior de un motor de corriente continua



Cuadro Nro 4.1: Clasificación de motores eléctricos

Los motores de corriente continua, se clasifican en cinco tipos principales

- Motor de excitación independiente.
- Motor en derivación.
- Motor en serie.
- Motor de excitación compuesta.

□ **MOTOR DE EXCITACIÓN INDEPENDIENTE:**

Un motor de excitación independiente es aquel cuyo circuito de campo es alimentado con una tensión separada de la tensión de la armadura, su circuito equivalente se presenta en la figura 4.2:

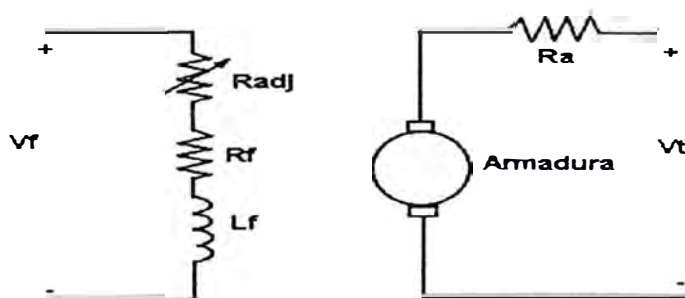


Figura Nro 4.2 Circuito equivalente del motor de excitación independiente.

- V_f : Tensión del circuito de campo.
 V_t : Tensión del circuito de armadura.
 R_f : Resistencia de campo.
 R_a : Resistencia de armadura
 L_f : Bobina de campo.
 R_{adj} : Resistencia variable.

Cuando la tensión de suministro a un motor de excitación independiente es constante y $V_f = V_t$, no hay diferencia práctica con el motor de DC en derivación.

□ MOTOR EN DERIVACIÓN :

Es aquel motor cuyo circuito de campo obtiene su potencia directamente a través de los terminales de la armadura del motor. El devanado de campo y la armadura están en paralelo. Son adecuados para aplicaciones donde se necesita velocidad constante como en los accionamientos para los generadores de DC en los grupos motogeneradores. Ver diagrama en la figura 4.3.

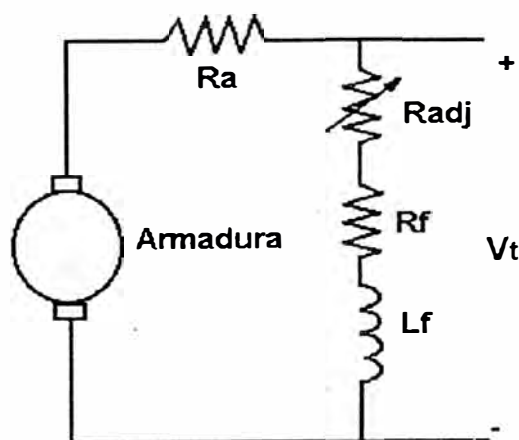


Figura Nro 4.3 : Circuito equivalente de un motor en derivación

□ **MOTOR EN SERIE :**

El devanado de campo está en serie con la armadura, la ventaja principal es que genera alto par de arranque y es utilizado en maquinarias, tales como grúas, tracción eléctrica, locomotoras, etc.

La desventaja de los motores en serie, es que si la carga en el eje se reduce, la velocidad aumenta rápidamente y si no hubiera carga, puede marchar velozmente que llegaría a dañarse seriamente, por tal motivo nunca debe conectarse a una carga mediante una faja u otro mecanismo que pudiera romperse. Si eso pasara los resultados serían graves. Ver diagrama de conexión interna en la figura 4.4.

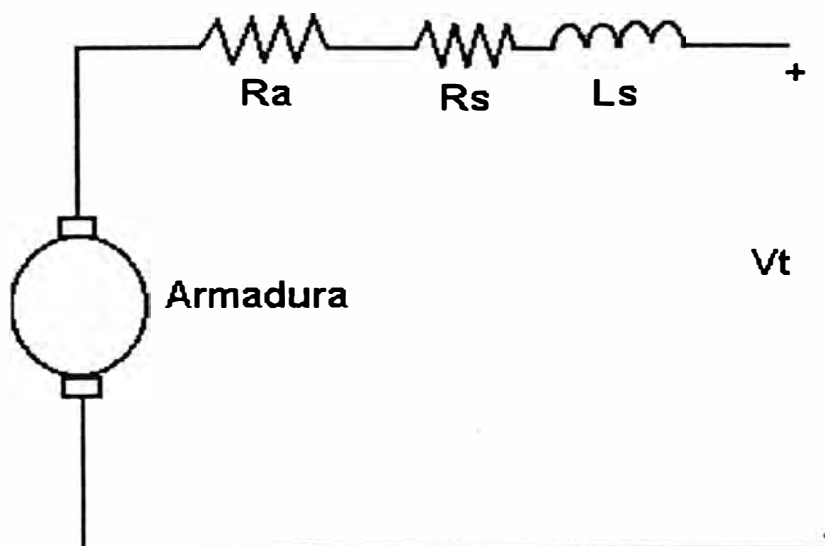
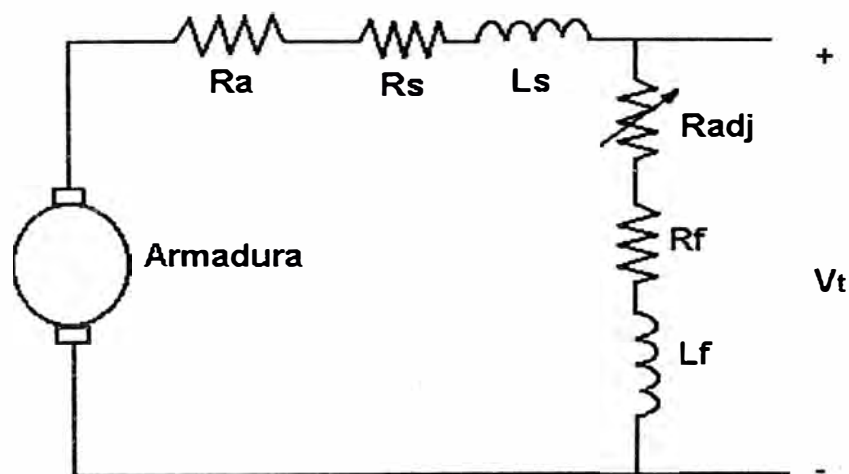


Figura Nro 4.4 : Circuito equivalente de un motor en serie

□ **MOTOR DE EXCITACIÓN COMPUESTA :**

Es aquel motor que tiene un campo en paralelo con la armadura y otro en serie. Producen un aumento más rápido en el torque con carga que los motores de derivación, por otra parte tiene una regulación de velocidad muy poco eficiente. Por ello se utilizan cuando se necesita un torque de arranque mayor que la desarrollada por el motor en derivación, por ejemplo en algunos impulsores Industriales, son de particular utilidad cuando ocurren aumentos grandes é intermitentes en el torque, como en la impulsión de cizallas, laminadoras, etc. de acuerdo a la conexión de los bobinados de campo y armadura pueden conectarse en derivación larga o corta. En la figura 4.5 y 4.6 se presentan estos casos.



**Figura Nro 4.5 : Circuito equivalente de un motor de excitación
compuesta con derivación larga**

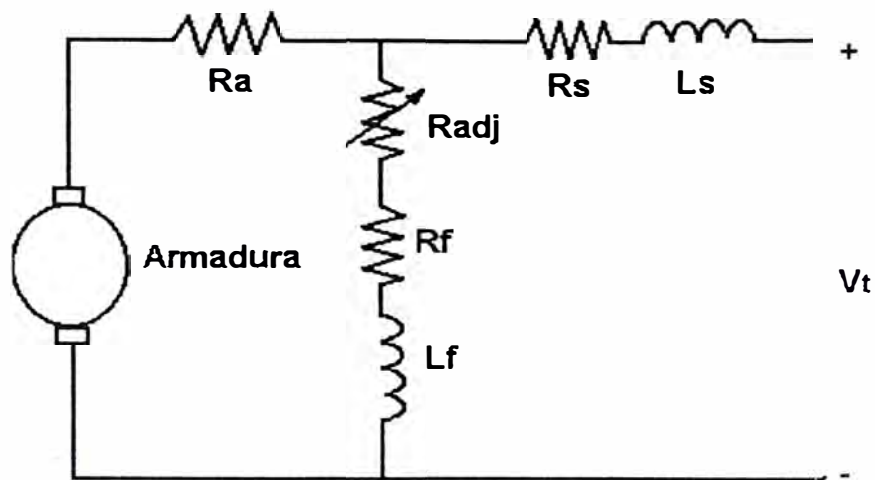


Figura Nro 4.6 : Circuito equivalente de un motor de excitación compuesta con derivación corta

□ CONSTRUCCIÓN DE LAS MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA :

La estructura física de la máquina esta formado por 02 partes:

- El estator ó parte estacionaria.
- El rotor ó parte giratoria.

ESTATOR : Viene a ser el campo, está formado de la **carcaza** que provee el soporte físico y las **piezas polares** que suministran un trayecto para el flujo magnético de la máquina. Los extremos de las piezas polares que están cerca del rotor se extienden sobre la superficie de éste, para distribuir igualmente el flujo sobre la superficie. Estos extremos se denominan **zapatitas de polo**. La superficie expuesta de la zapata del polo se llama **cara de polo** y la

distancia entre la cara del polo y el rotor se llama **entrehierro** ó intervalo de aire. En la figura 4.7 se presenta un estator.



Figura Nro 4.7 : Estator de motor de corriente continua

ROTOR : También llamado **armadura**, está formado por un eje maquinado de una barra de acero, con un núcleo construido sobre él. El **núcleo** se compone de varias laminas troqueladas en una plancha de acero, con ranuras a lo largo de la superficie exterior, para alojar los bobinados de la armadura. Adicionalmente tiene un

colector construido sobre el eje, en un extremo del núcleo. El extremo de los bobinados se conectan al colector por medio de los segmentos colectores, sobre el colector se conecta el portaescobillas. En la figura 4.8 se presenta un rotor típico y en la figura 4.9 su portaescobillas.

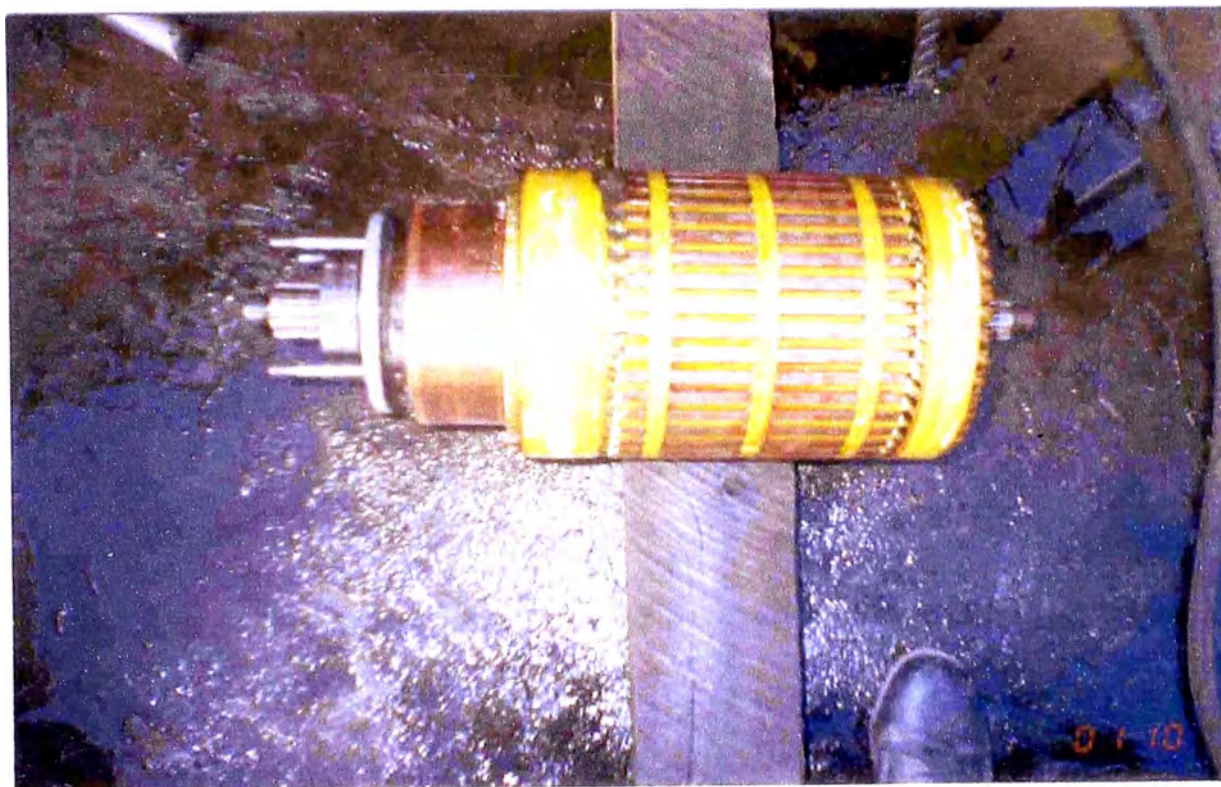


Figura Nro 4.8 : Rotor de motor de corriente continua

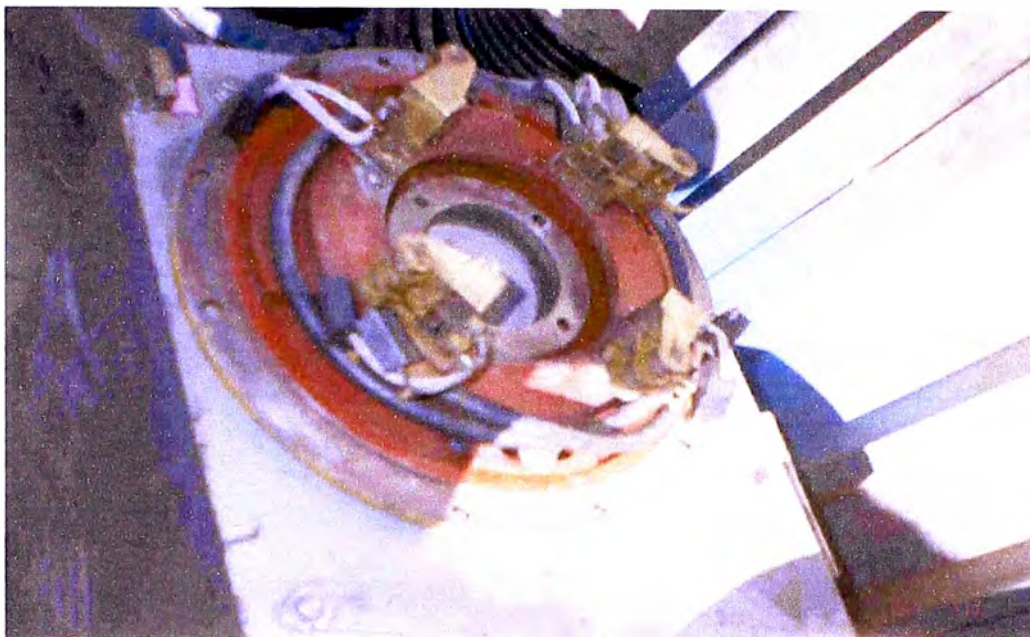


Figura Nro 4.9 : Portaescobillas

□ **PÉRDIDAS EN LOS MOTORES DC:**

No toda la potencia eléctrica que entra al motor se traduce como potencia útil en el eje, siempre hay algunas pérdidas asociados con el proceso. La diferencia entre la potencia de entrada y la de salida del motor son las pérdidas que se producen en su interior. La eficiencia de un motor eléctrico, esta definido como :

$$N = \frac{\text{Potencia en el eje}}{\text{Potencia entrada}} \times 100 \%$$

N = Eficiencia en %

Las pérdidas que ocurren en los motores DC, pueden dividirse en:

- Pérdidas eléctricas en el cobre
- Pérdidas en las escobillas
- Pérdidas mecánicas
- Pérdidas diversas.

□ **PÉRDIDAS ELÉCTRICAS EN EL COBRE :**

Son las pérdidas que ocurren en el inducido (rotor) y los bobinados del campo, incluido los interpolos.

□ **PÉRDIDAS EN LAS ESCOBILLAS :**

Son las que se forman a través del contacto potencial en las escobillas del motor. La caída de voltaje a través de un juego de escobillas es aproximadamente constante en un amplio rango de corriente de la armadura y es mas ó menos : 2 voltios.

$$\text{Pérdidas en las escobillas} = I_a V_{bo}$$

$$I_a = \text{Corriente de armadura}$$

$$V_{bo} = \text{Caída de voltaje en las escobillas} = 2 \text{ Voltios}$$

□ PÉRDIDAS MECÁNICAS

Están asociados a los efectos mecánicos, son las pérdidas causadas por la fricción de los rodamientos de la máquina y también por la fricción entre las partes móviles de la máquina y el aire dentro de la carcasa del motor. Estas pérdidas son proporcionadas al cubo de la velocidad de rotación de la máquina.

□ PÉRDIDAS DIVERSAS

Son las pérdidas que no pueden clasificarse en ninguna de las categorías anteriores, convencionalmente se toman como el 1 % de la potencia absorbida.

DIAGRAMA FLUJO DE POTENCIA

Una de las técnicas más convenientes para explicar las pérdidas de potencia en una máquina es el **DIAGRAMA DE FLUJO DE POTENCIA**. En la figura 4.10 se presenta este diagrama, se puede apreciar que la potencia eléctrica entra a la máquina y luego de restar las pérdidas en el cobre, idealmente, la potencia eléctrica se convierte en potencia mecánica en el punto **potencia convertida**, entonces después de restar las pérdidas en el núcleo, pérdidas mecánicas y las pérdidas diversas, finalmente queda como resultado la potencia de salida ó potencia en el eje.

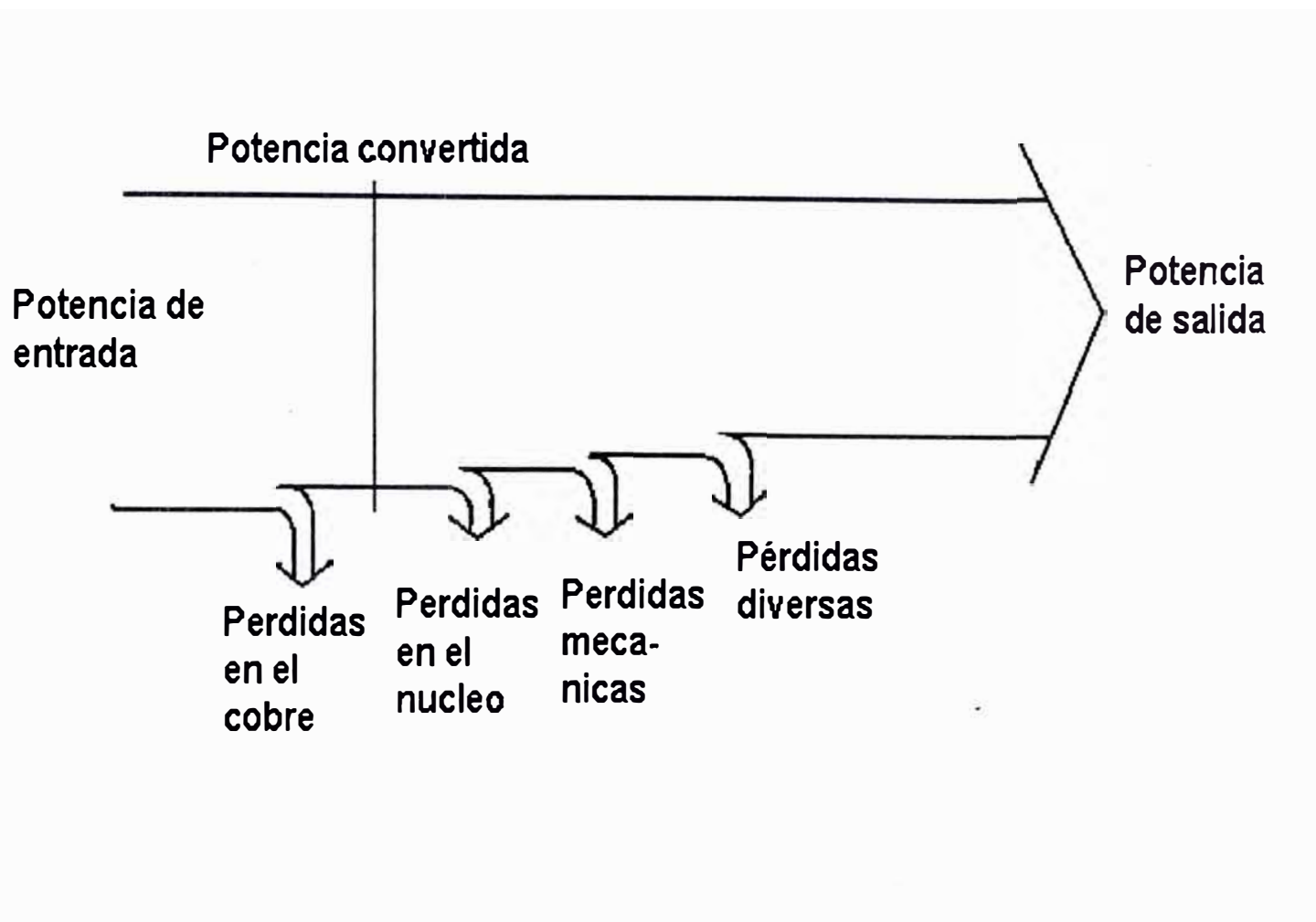


Figura Nro 4.10 : Diagrama de flujo de potencia

RESUMEN :

- Los motores de corriente continua se emplean cuando es necesario un margen amplio de regulación de velocidad.
- En la mayoría de Instalaciones funcionan con valores de velocidad de 1 a 2 veces la nominal, en muy pocas aplicaciones llega a 3 veces la nominal.
- De los tipos mencionados de motores de corriente continua, el que se adapta a los sistemas de elevación (Winches de Izaje), son los motores de excitación independiente. Estos motores pueden ser regulados para todo tipo de carga, con un margen de velocidad de cero al 100 %, de velocidad máxima.
- Para variar la velocidad del motor de excitación independiente, se varía la tensión de campo con un generador de corriente continua movido por un motor primo, el cual es un motor **sincrónico**, a este sistema se le llama **WARD LEONARD**, que será descrito más adelante, luego de comprender los motores sincrónicos.

4.2.2. MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA :

Con la finalidad de dar un alcance del posible uso de estos motores en la wincha de izaje, describiremos a continuación los tipos más usados y de potencias más grandes, como son:

- Motores síncronos trifásicos.
- Motores de inducción trifásicos.

4.2.2.1 MOTORES SÍNCRONOS :

Un motor síncrono es una máquina de corriente alterna que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, tiene en el rotor un bobinado que se excita con corriente continua y en el estator un bobinado polifásico el cual es alimentado con corriente alterna, la velocidad promedio de operación normal es exactamente proporcional a la frecuencia del sistema al cual está conectado, la velocidad del motor es constante e igual a:

$$N = \frac{120f}{P}$$

Donde :

N = Velocidad en RPM (revoluciones por minuto)

F = Frecuencia del Sistema en Hz (hertz)

P = Número de polos del motor.

Por ejemplo: si un motor es de 2 polos y trabaja a una frecuencia de 60 Hz, la velocidad será :

$$N = \frac{120 \times 60}{2} = 3,600 \text{ RPM.}$$

En la figura 4.11, se presenta un motor síncrono de baja velocidad:



Figura Nro 4.11: Vista exterior de un motor síncrono

Las aplicaciones más comunes, son el accionamiento de grupos generadores, compresoras de amoniaco en instalaciones de refrigeración, molinos de caucho, y compresoras de aire, donde la velocidad debe ser constante. Los anillos en el rotor sirven para inyectar la corriente de excitación y mantener el motor con su velocidad sincrónica. En la figura 4.12 se presenta los anillos para la excitación del rotor.

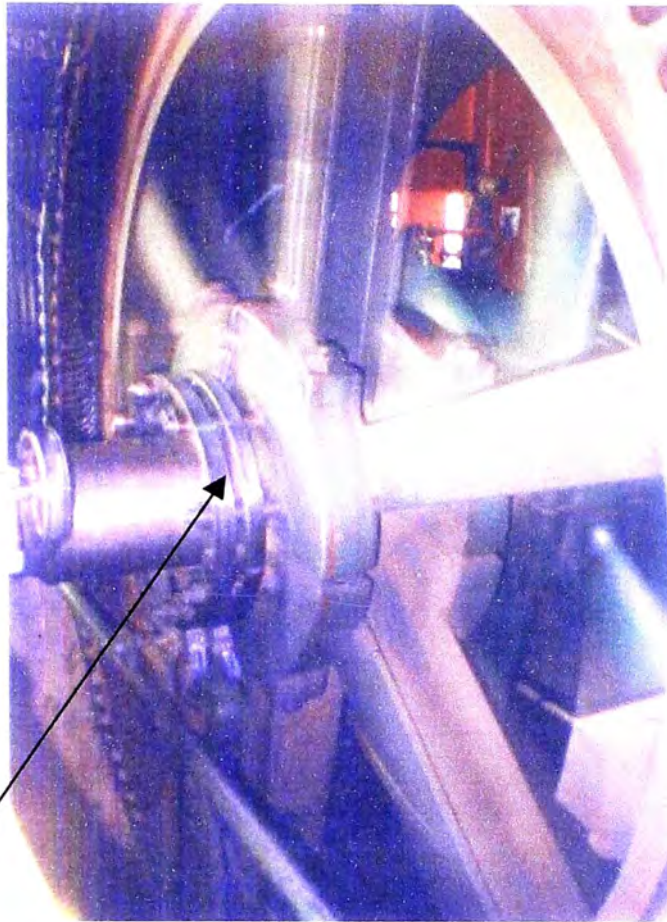


Figura Nro 4.12 : Anillos de un motor síncrono

TIPOS DE MOTORES SÍNCRONOS

El motor síncrono consta del estator, donde se encuentra el devanado polifásico de corriente alterna y que se consigna al sistema de alimentación y el rotor que de acuerdo a su construcción determina el tipo de motor síncrono.

Podemos clasificarlo en:

- Motor de polos salientes
- Motor de polos redondos o cilíndricos

□ **MOTOR DE POLOS SALIENTES :**

Son motores de baja velocidad, el diámetro de su rotor normalmente es alta comparado con la longitud del rotor. Su potencia se construye por encima de 200 HP llegando hasta 100.000 HP. En la figura 4.13 se muestra este tipo de rotor.

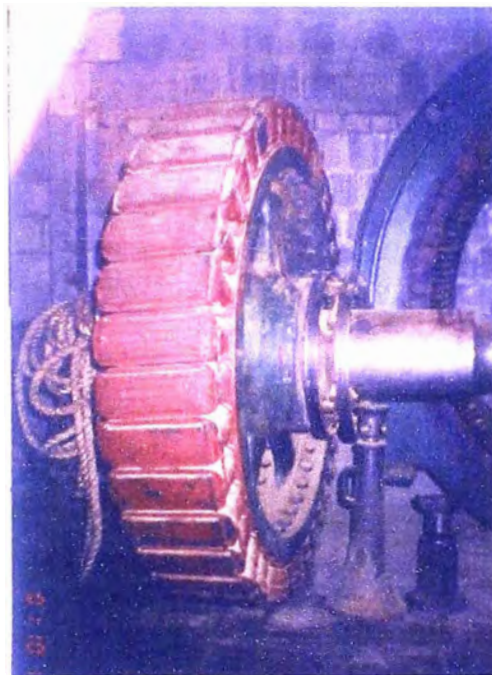


Figura Nro 4.13 : Rotor de polos salientes

□ **MOTOR DE POLOS REDONDOS O CILINDRICOS:**

Estos motores son normalmente de alta velocidad, a diferencia del motor de polos salientes su diámetro del rotor es menor relación a su longitud, se construyen para centrales tipo diesel. En la figura 4.14 se muestra este tipo de rotor.

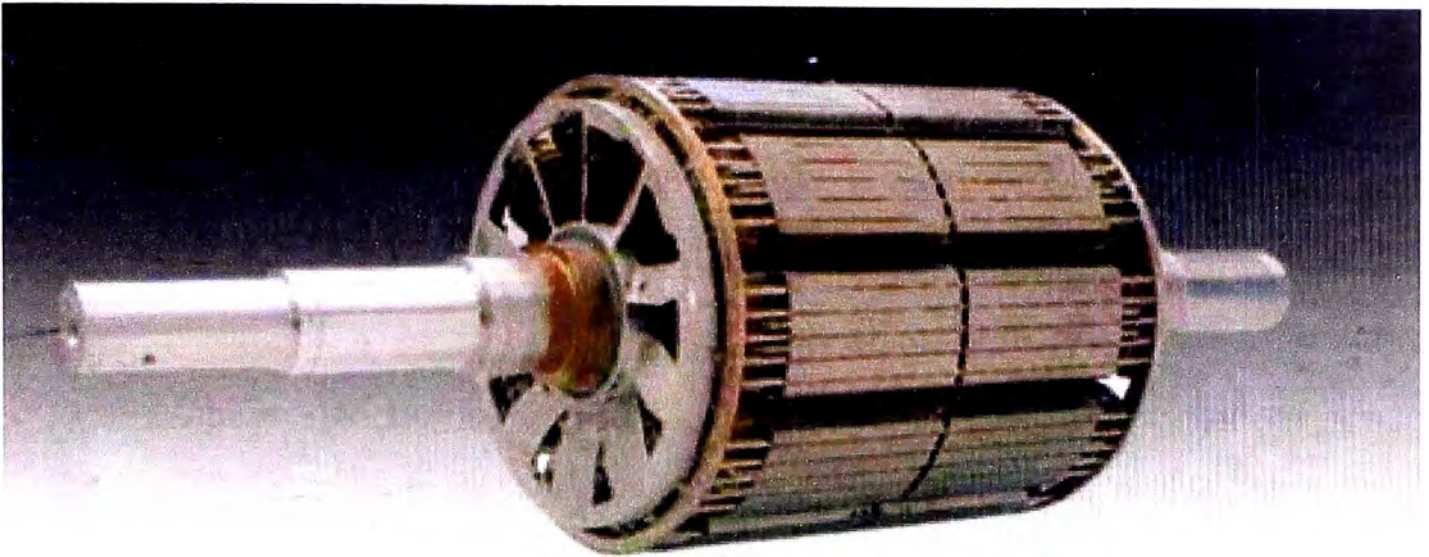


Figura Nro 4.14 : Rotor de polos redondos o cilíndricos

□ **MOTOR SINCRONO COMO CORRECTOR DE FACTOR DE POTENCIA:**

El motor sincrónico tiene las características deseables de que su factor de potencia puede variarse en un amplio rango de valores, gracias a esta particularidad con frecuencia se hace funcionar con carga ligera, sólo para mejorar el factor de potencia ó para controlar la tensión en alguna parte del sistema en instalaciones eléctricas, en este caso el motor se llama **Condensador Sincrónico**.

RESUMEN :

- Los motores síncronos están limitados a usos muy especiales, con grandes potencias y regulación electrónica compleja. Se construye por encima de 200 HP, llegando hasta 100,000 HP.
- Sus aplicaciones comunes son el accionamiento de grupos generador-motor, gracias a la velocidad constante que posee.

- Se usa como **MOTOR PRIMO** en los equipos WARD-LEONARD, (este equipo se describirá más adelante), conjuntamente con un generador y motor de corriente continua, con la finalidad de regular la velocidad del motor de corriente continua.
- Algunos motores sincrónicos se venden específicamente para la corrección del factor de potencia, al cual no se pueden colocar ninguna carga en el eje, a estos motores sincrónicos se les llama **CONDENSADORES SINCRONICOS**.

4.2.2.2 MOTORES ASINCRONOS TRIFASICOS ó DE INDUCCION :

Estos motores eléctricos son los más empleados en las máquinas de elevación o winches de izaje. Para estos equipos en su mayoría son trifásicos de anillos rozantes, su velocidad puede ser regulada por medio de resistencias adicionales insertadas en el rotor. El margen de velocidad obtenido es inferior al conseguido con motores de corriente continua, pero son más compactos, baratos y fiables. El par máximo es de 2.5 a 3 veces el par nominal. En la figura 4.15 se presenta una vista de este motor.

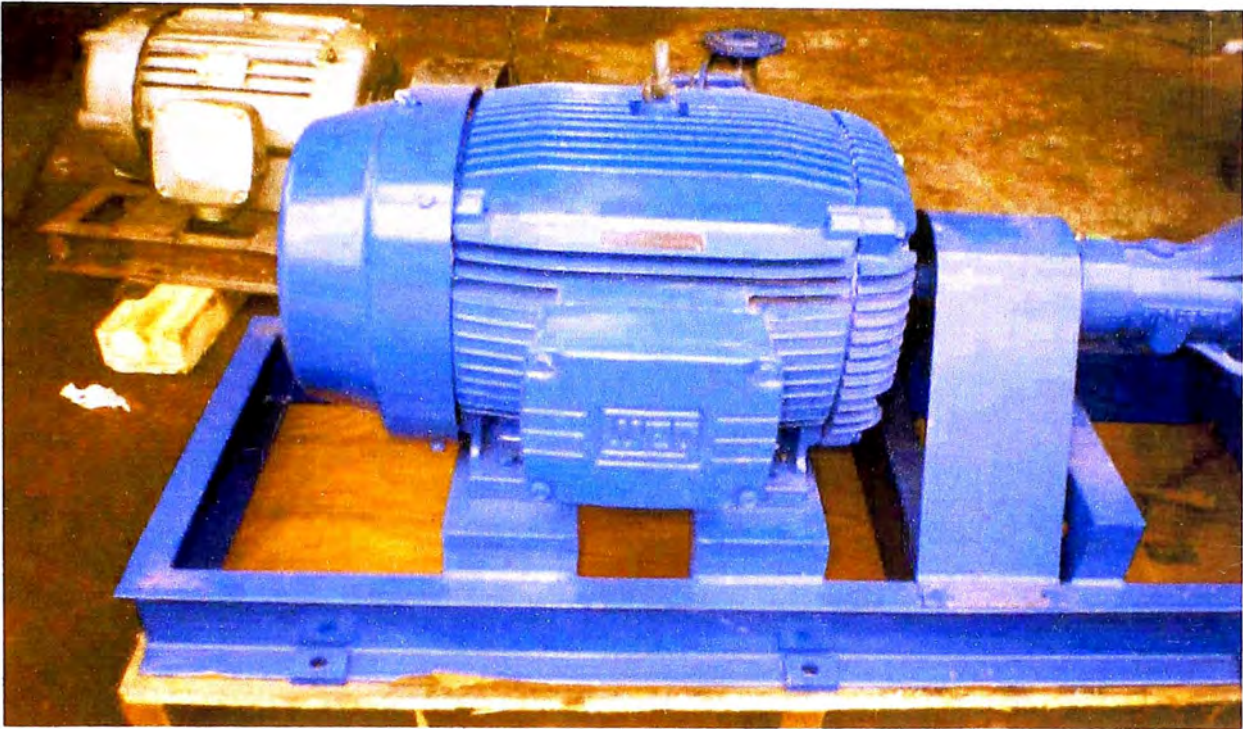


Figura Nro 4.15 : Motor de inducción

Se les denomina motores de inducción porque en el bobinado del rotor o jaula de ardilla se inducen tensiones que producen tanto la corriente como el campo magnético necesario para producir el torque eléctrico del motor. La característica que distingue a un motor de inducción con un motor sincrónico es que no necesita corriente de excitación.

TIPOS DE MOTORES DE INDUCCIÓN :

El motor de inducción tiene físicamente el mismo estator que una máquina síncrona, pero con diferente construcción de rotor.

En la figura 4.16 se muestra un estator.



Figura Nro 4.16 : vista de un estator

De acuerdo al tipo de rotor se clasifican en

- Motor de rotor jaula de ardilla.
 - Motor de rotor bobinado o anillos rozantes.
-
- **MOTOR DE ROTOR JAULA DE ARDILLA :**

Este motor tiene un rotor que consiste en una serie de barras conductoras, colocado en ranuras talladas en la cara del rotor y

con sus extremos puestos en corto circuito, por medio de anillos. Este diseño hace referencia a una jaula de ardilla, porque los conductores y los anillos si se examinan de por sí, pareciera una jaula donde juegan las ardillas. Por ser tipo jaula de ardilla tiene su resistencia constante en el rotor. En la figura 4.17 se ve este tipo de rotor.



Figura Nro 4.17 : Rotor tipo jaula de ardillas

□ **MOTOR DE ROTOR BOBINADO :**

Este motor, tiene un rotor que consiste en un bobinado aislado, similar al del estator, que se conecta mayormente en estrella (Y), y sus otros terminales van conectados a tres Anillos de cobre, normalmente llamados, **anillos rozantes**. Por medio de estos se puede insertar al rotor, resistencias externas variables, con la finalidad de obtener una velocidad regulada en el arranque, altos

pares de arranque y aceleración, con consumos de corriente relativamente bajos. En el diagrama 4.18 se muestra un rotor de tipo bobinado.

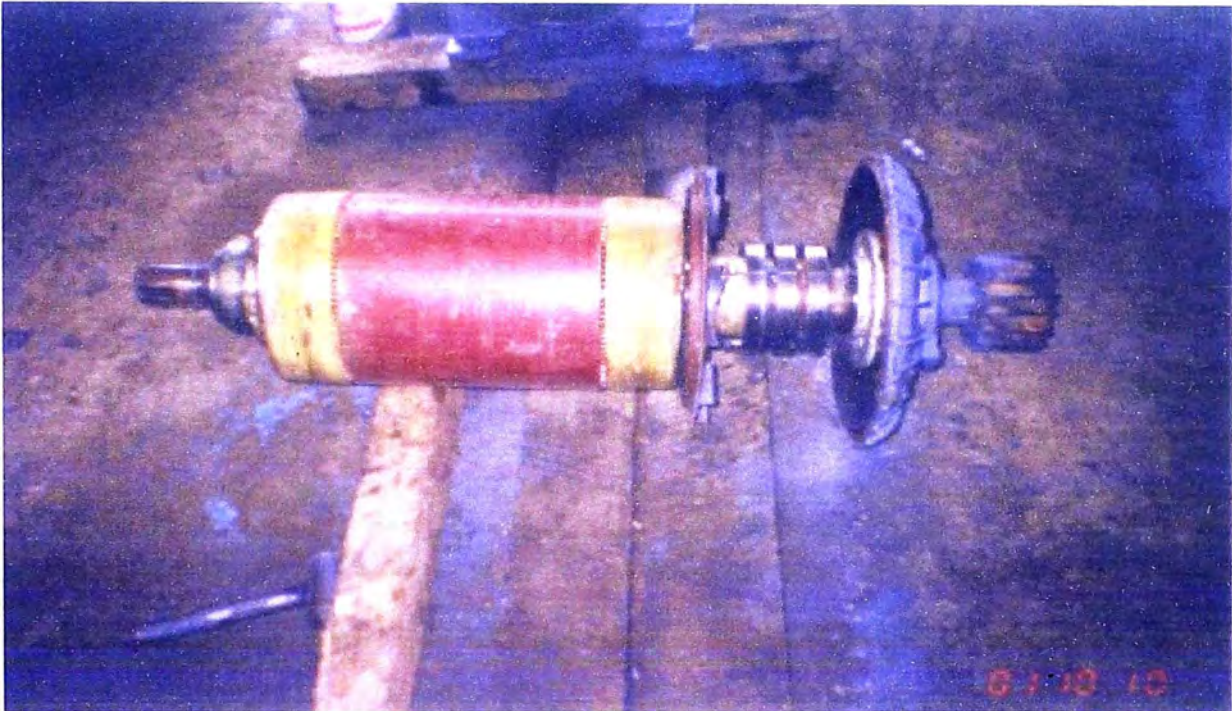


Figura Nro 4.18 : Rotor tipo bobinado

Los motores de rotor bobinado se arrancan con una resistencia externa relativamente alta y esta resistencia se pone en cortocircuito, paso a paso conforme el motor aumenta su velocidad. De acuerdo a los rasgos especiales que tiene este motor, es posible aprovechar y modificar su característica de funcionamiento PAR-VELOCIDAD.

RESUMEN :

- El margen de velocidad obtenido es inferior al conseguido por los motores de corriente continua, pero son más compactos, baratos y fiables.

- Gracias a la posibilidad de insertar resistencias externas en el rotor, se puede conseguir altos torques en el arranque, con bajas corrientes.

- La característica anterior hace que el motor de rotor bobinado sea el adecuado para sistemas de elevación o winches de izaje.

- De acuerdo a los requerimientos de torque de arranque, los valores de resistencias externas, pueden ser calculados a partir del circuito equivalente del motor de Inducción.

4.2.2 SISTEMA WARD – LEONARD :

Este sistema, es sumamente versátil, posee un motor de corriente alterna que sirve como motor primario que mueve a un generador de corriente continua, el cual a su vez se usa para suministrar un voltaje a un motor de corriente continua. En la figura 4.19 se presenta el sistema Ward-Leonard.

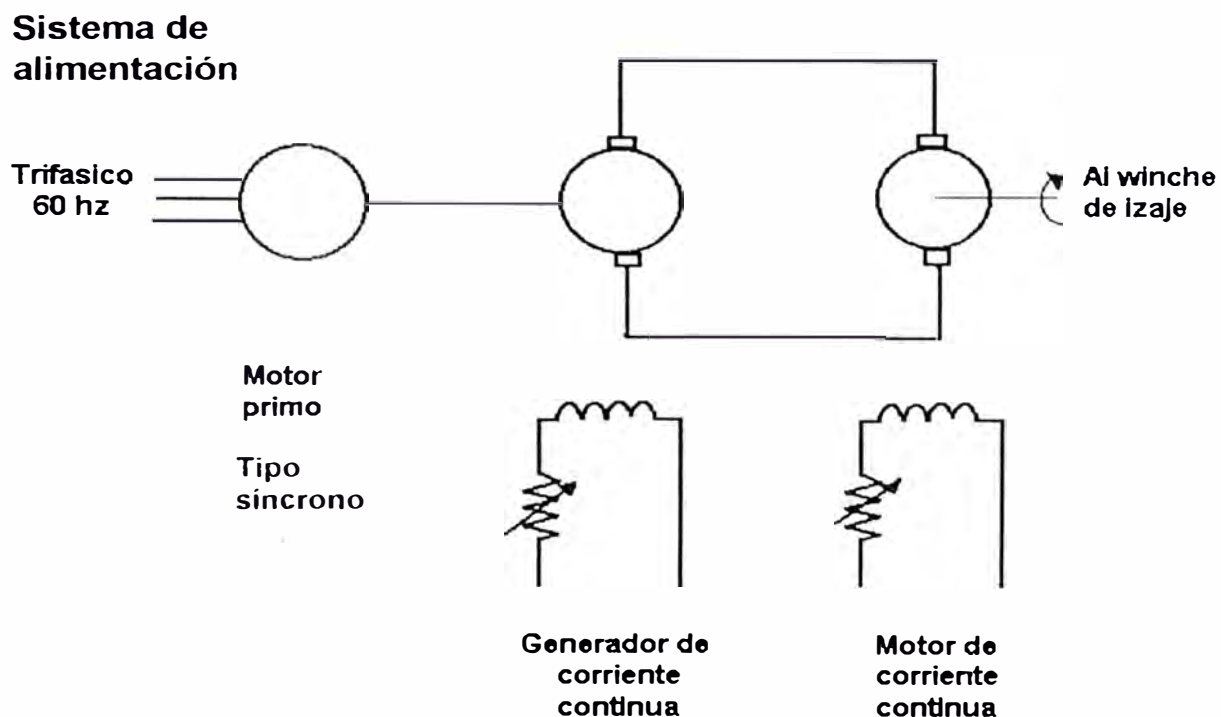


Figura Nro 4.19 : Sistema Ward-Leonard

En este sistema el motor de corriente continua es el encargado de mover la carga del sistema de elevación, el voltaje en el inducido del motor puede controlarse variando la corriente de campo del generador de corriente continua. Este voltaje en el inducido permite que la velocidad del motor varíe de manera homogénea entre un valor pequeño y la velocidad nominal. La velocidad del motor puede ajustarse por encima de la velocidad nominal reduciendo la corriente de campo del motor. Con este procedimiento tan flexible, es posible el control total de la velocidad del motor sin afectar el torque máximo del motor.

Inclusive, si se invierte la corriente de campo del generador, entonces la polaridad del voltaje inducido del generador también se invertirá, esto hará que se invierta la dirección de rotación del motor. Por lo tanto con el sistema WARD-LEONARD, es posible obtener un rango muy amplio de variación de velocidad en cualquier sentido de rotación.

RESUMEN :

- El sistema Ward – Leonard, está diseñado para grandes potencias, encima de los 1,000 HP.
- La ventaja es que puede variar la velocidad de un valor muy pequeño a un valor mayor en forma suave.
- Una de las desventajas es que se tiene que adquirir tres máquinas completas de potencia básicamente iguales, lo cual es demasiado costoso.
- Otra desventaja es que tres máquinas serán mucho menos eficientes que una sola.

4.3 SELECCIÓN DE TIPO DE MOTOR ELÉCTRICO :

Los requisitos fundamentales que deberá cumplir el motor eléctrico, para nuestro caso son los siguientes:

- Deberá tener alto torque y una corriente baja en el arranque.
- Deberá tener control de torque durante la aceleración ó desaceleración.
- Se requiere variar la velocidad en un rango de cero hasta su velocidad nominal.
- La tensión disponible es corriente alterna trifásica de 440 voltios, 2,300 ó 4,160 voltios, con frecuencia 60 Hz.
- Deberá soportar 25 arranques por hora como mínimo y 10,000 arranques por mes.
- Deberá ser de alta eficiencia y bajo costo a fin de redundar en beneficios económicos para la empresa.

De acuerdo a los requisitos anteriores se llegó a la conclusión de tener dos alternativas:

- Motor de rotor bobinado.
- Sistema WARD-LEONARD.

4.3.1. COMPARACION DEL MOTOR DE ROTOR BOBINADO Y EL SISTEMA WARD – LEONARD

- Los motores de rotor bobinado se diseñan en forma eficiente hasta 1,000 HP. Por encima de esta potencia sería preferible utilizar Ward-Leonard. En nuestro caso la potencia NO sobrepasará los 1,000 HP.
- El motor del rotor bobinado es más económico comparado con el sistema Ward-Leonard, que está compuesto por tres máquinas rotativas.
- Su instalación y sistemas de seguridad del motor de rotor bobinado, es menos complicado que el sistema Ward-Leonard, el cual necesita de corriente continua para su sistema de excitación.
- El arranque del motor de rotor bobinado es relativamente fácil, por tener par de arranque, comparado con el sistema Ward-Leonard, el cual necesita operaciones especiales para su arranque, en vista que el motor sincrónico no tiene par de arranque.

Por los motivos mencionados y considerando la recomendación de la tabla selección de motores eléctricos de la ENERGY EFFICIENT ELECTRIC MOTORS de NEW YORK, MARCES DEKKER, año: 1992, presentado en el anexo 1, se procedió a seleccionar el tipo de accionamiento de **MOTOR DE ROTOR BOBINADO**.

CAPITULO 5

CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR DE ROTOR BOBINADO

5.1 MÉTODO DE CÁLCULO

Para el cálculo de la potencia del motor eléctrico se empleó la metodología indicada por la bibliografía **MINE PLANT DESIGN** (Diseño de minas) de: **W . W . STALEY**.

Con la finalidad de comprobar el método se procedió a aplicarlo a las condiciones actuales de trabajo (nivel 240), el cual debe dar como resultado, la potencia del motor eléctrico de 125 HP a 4,500 metros sobre el nivel del mar.

En la figura 5.1 se presenta el diagrama de izaje para las condiciones actuales y futuras de trabajo.

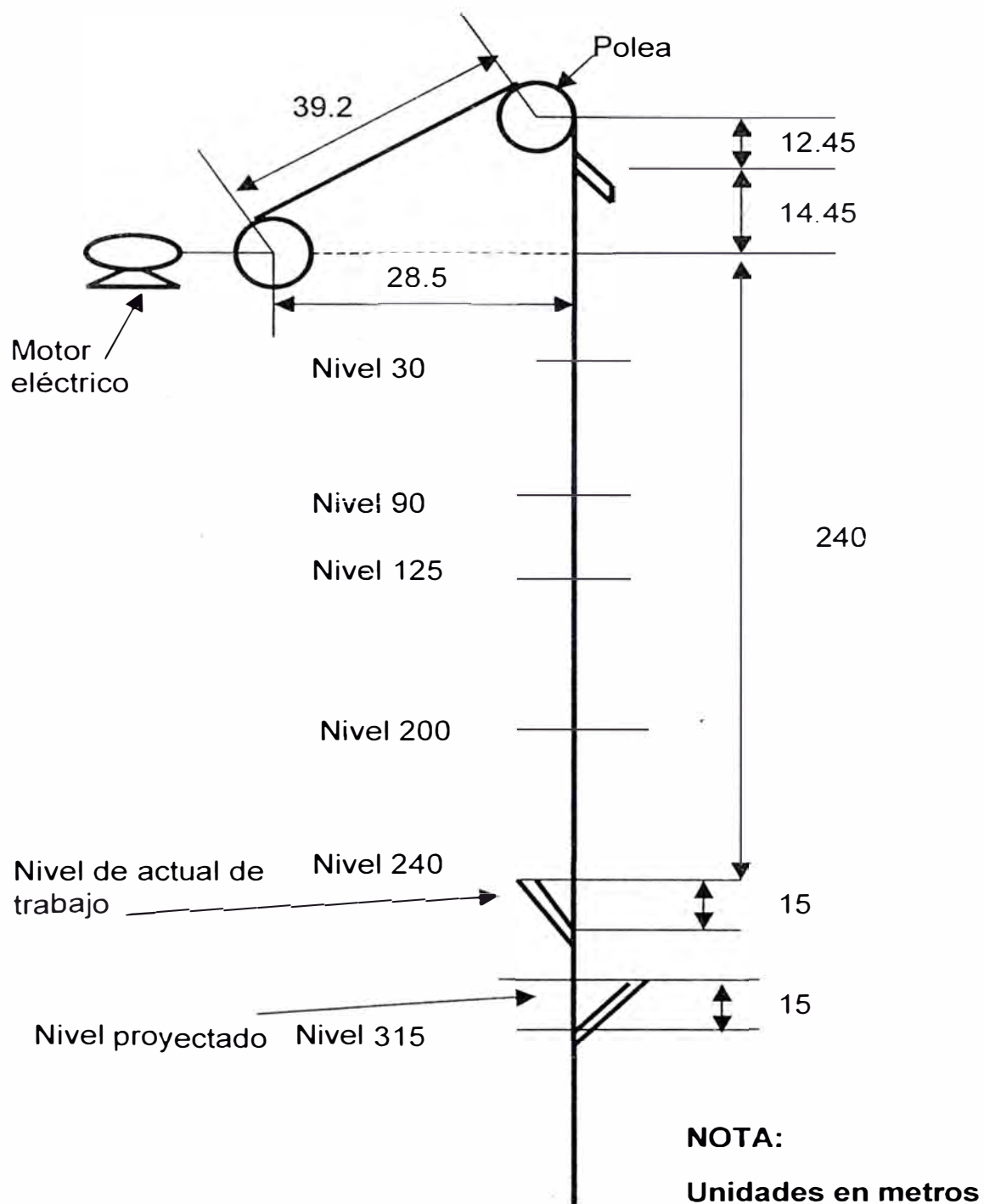


Figura Nro 5.1: Diagrama de izaje

5.2 COMPROBACIÓN DEL CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO PARA LA PROFUNDIZACIÓN DE 240 METROS.

5.2.1 SÍMBOLOS Y DEFINICIONES :

En este capítulo se emplean los símbolos y definiciones presentados en el cuadro 5.1

SÍMBOLOS	DEFINICIÓN	UNIDAD
Datos de longitud		
T	Tiempo desplazamiento del Skip cargado	s
T _a	Tiempo de Aceleración	s
T _d	Tiempo de Desaceleración	s
T _m	Tiempo Muerto en Carga y Descarga	s
T _t	Tiempo de Un Ciclo de Izaje	s
T _k	Tiempo a Velocidad Constante	s
Datos de Longitud		
E	Distancia Desplazamiento del Skip Cargado	m
E _a	Distancia de Recorrido durante la Aceleración	m
E _d	Distancia Recorrido durante la Desaceleración.	m
E _k	Distancia Recorrido a Velocidad Constante	m
R	Radio de la Tambora	m
Datos de Pesos		
P _{js}	Peso de Jaula – Skip	Kg
P _m	Peso de Mineral	Kg
P _u	Peso Unitario del Cable	Kg
P _c	Peso Total del Cable	Kg
P _t	Peso de Una Tambora	Kg
P _e	Peso de Engranajes y Chumaceras	Kg
P _p	Peso de Una Polea	Kg
Datos Velocidad		
V _p	Velocidad Promedio	m/s
W _m	Velocidad Angular del Motor	RPM.
W _t	Velocidad Angular de la Tambora	RPM.
V _k	Velocidad Lineal Constante	m/s
Datos Aceleración		
g	Aceleración de la Gravedad	m/s ²
a	Aceleración del Equipo	m/s ²
d	Desaceleración del Equipo	m/s ²

Cuadro Nro. 5.1 : Símbolos y definiciones

5.2.2 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO Y DE LA VELOCIDAD DEL IZAJE EN UN CICLO DE MINERAL:

Se determinó el tiempo y la velocidad de un ciclo de trabajo, haciendo mediciones en el interior de mina, encontrándose los siguientes resultados.

- Tiempos de desplazamiento del skip cargado (T) = 123.84 s
- Distancias del desplazamiento (e) = 269.45 m
- Velocidad promedio de izaje (V_p) = e/T = 2.176 m/s
- Tiempo de aceleración (T_a) = 13.3 s
- Tiempo de desaceleración (T_d) = 6.6 s

5.2.3 ACELERACIÓN (a)

Durante el arranque se producirá una aceleración dado por:

$$a = \frac{V_p}{T_a} = \frac{2.176 \text{ m/s}}{13.3 \text{ s}}$$

$$a = 0.164 \text{ m/s}^2$$

5.2.4 DESACELERACIÓN (d)

Durante la parada se producirá una desaceleración dado por :

$$d = \frac{V_p}{T_d} = \frac{2.176}{6.6} \frac{m/s}{s}$$

$$d = 0.33 \text{ m/s}^2$$

5.2.5. DISTANCIA RECORRIDA POR EL SKIP DURANTE LA ACELERACIÓN (E_a)

Estará dado por la siguiente Fórmula :

$$E_a = \frac{1}{2} a (T_a)^2$$

$$E_a = \frac{1}{2} (0.164) (13.3)^2$$

$$E_a = 14.5 \text{ m}$$

5.2.6. DISTANCIA RECORRIDA POR EL SKIP DURANTE LA DESACELERACIÓN (E_d)

Estará dado por la siguiente formula :

$$E_d = \frac{1}{2} d (T_d)^2$$

$$E_d = \frac{1}{2} (0.33) (6.6)^2$$

$$E_d = 7.18 \text{ m}$$

5.2.7. DISTANCIA RECORRIDA A VELOCIDAD CONSTANTE (E_k)

Es la distancia de desplazamiento total menos la distancia de aceleración y desaceleración, esta dado por:

$$E_k = E - E_a - E_d$$

$$E_k = 269.45 - 14.5 - 7.18$$

$$E_k = 247.77 \text{ m}$$

5.2.8. TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO A VELOCIDAD CONSTANTE

(T_k)

Es el tiempo total de desplazamiento menos el tiempo de aceleración y desaceleración, esta dado por:

$$T_k = T - T_a - T_d$$

$$T_k = 123.84 - 13.3 - 6.6$$

$$T_k = 103.94 \text{ s}$$

5.2.9. VELOCIDAD CONSTANTE (V_k)

Esta dado por:

$$V_k = \frac{E_k}{T_k}$$

$$V_k = \frac{247.77}{103.94}$$

$$V_k = 2.38 \text{ m/s} \quad \text{ó} \quad V_k = 143 \text{ m/min}$$

En la figura 5.2 se muestra el grafico velocidad vs tiempo.

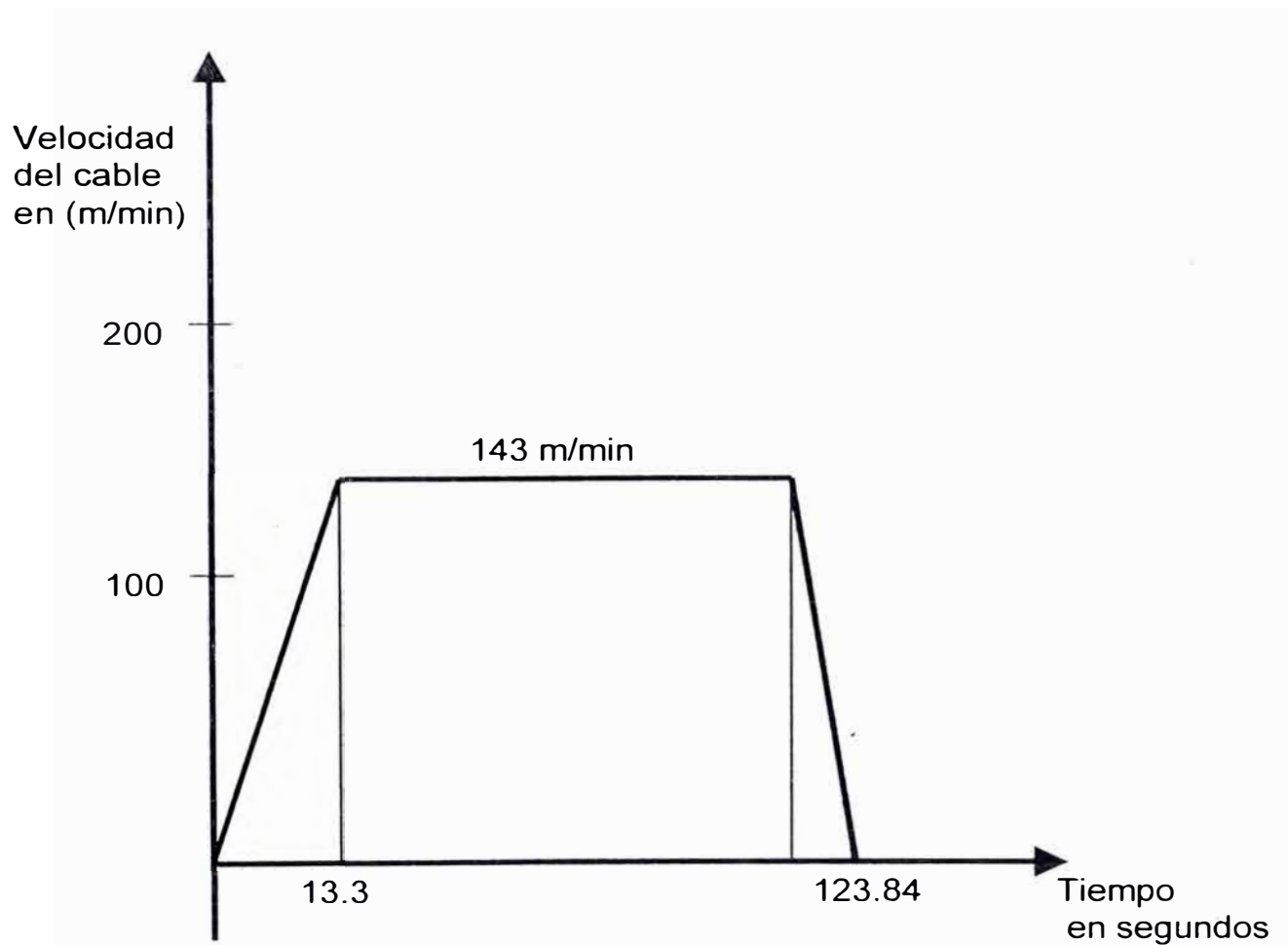


Figura Nro 5.2: Gráfico velocidad vs tiempo

5.2.10. CÁLCULO DE LOS MOMENTOS EXISTENTES EN LAS TAMBORAS

Como se ha explicado anteriormente la wincha de izaje existente es de tipo balanceado, posee 02 tamboras, las cuales en un sentido de rotación, una de ellas enrolla el cable, haciendo subir la Jaula-Skip, mientras que por otro lado, la otra desenrolla el cable haciendo bajar a la otra Jaula-Skip. El mismo procedimiento se produce en el sentido inverso. Ver figura: 5.3

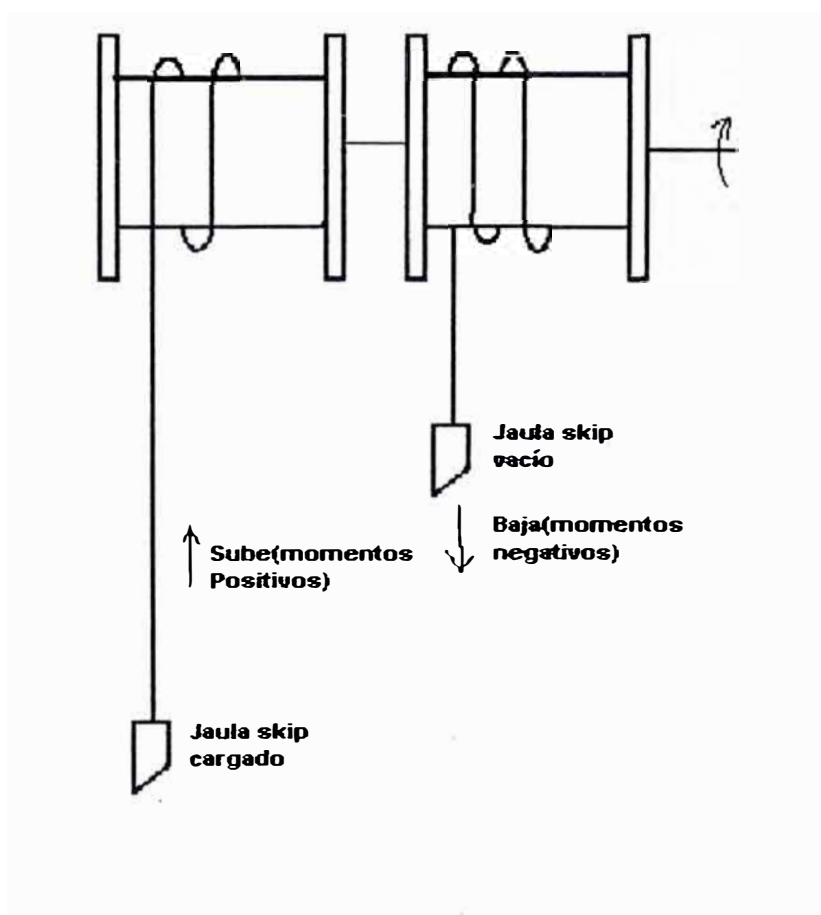


Figura Nro 5.3: Momento existentes en la tambora

1. DIMENSIONES DE LA TAMBORA :

Los 02 tamboras son de las mismas dimensiones y tiene las siguientes medidas:

$$\text{Diámetro} : 53'' = 1.3462 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} : 36'' = 0.9144 \text{ m}$$

$$\text{Longitud de una vuelta en la tambora} : \pi (\text{diámetro})$$

$$= (\pi) (1.3462)$$

$$= 4.229 \text{ m}$$

2. DATOS DE PESOS :

De acuerdo a datos del fabricante los pesos son los siguientes:

- Peso de jaula-skip : 2,011 kg = 19,707.8 N
- Peso de mineral : 2,800 kg = 27,440.0 N
- Peso de un metro de cable de acero : 1.92 Kg = 18.816 N
- Peso de cable instalado : Es el peso de 400 m. de cable instalado.
: 768 Kg. = 7,526.4 N
- Peso de la tambora : 3,784.5 Kg. = 37,088.1 N
- Peso de una polea : 890.0 Kg. = 8,722.0 N

3. CÁLCULO DE LOS MOMENTOS APLICADOS A LOS TAMBORAS

se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Una jaula–skip, estará en la parte inferior es decir en el carguío de mineral.
- La otra Jaula-Skip, estará en la parte superior, en el descargue.

De acuerdo a la metodología, se calcularán los momentos en 04 posiciones de la jaula - skip.

- 1ra. Posición : 0 vueltas
- 2da. Posición : al término de la aceleración, después de recorrer 14.50 m. : 3.42 vueltas.
- 3ra. Posición : al término de la de la velocidad constante, después de recorrer 262.27 m : 62.01 vueltas.
- 4ta. Posición : al término del recorrido total, después de recorrer 269.45m : 63.71 vueltas.

4. MOMENTOS POSITIVOS

a.- ascenso de la carga : Se considera el peso de la jaula-skip más el peso del mineral: $19,707.8 + 27,440.0 = 47,147.8$ n, este peso está en la subida y en todo el trayecto será constante.

VUELTAS	CARGA (n)	RADIO (m)	MOMENTO (n.m)
0	47,147.8	0.6731	31,735.18
3.42	47,147.8	0.6731	31,735.18
3.42	47,147.8	0.6731	31,735.18
62.01	47,147.8	0.6731	31,735.18
62.01	47,147.8	0.6731	31,735.18
63.71	47,147.8	0.6731	31,735.18

b. ascenso del cable. Se considera que la jaula-skip está en el fondo y por lo tanto actúa todo el peso del cable, a medida que sube la Jaula-skip, va disminuyendo el peso del cable hasta ser cero.

VUELTAS	LONGITUD CABLE (m)	PESO UNIT DE CABLE (Kg/m)	PESO UNIT DE CABLE (N/m)	PESO DE CABLE (N)	RADIO (m)	MOMENTO (N-m)
0	169.45	1.92	18.816	5,070.0	0.6731	3,412.62
3.42	254.95	1.92	18.816	4,797.7	0.6731	3,229.33
3.42	254.95	1.92	18.816	4,797.7	0.6731	3,229.33
62.01	7.18	1.92	18.816	135.1	0.6731	90.94
62.01	7.18	1.92	18.816	135.1	0.6731	90.94
63.71	0	1.92	18.816	0	0.6731	0

5. MOMENTOS NEGATIVOS

Se considera que la jaula-skip, está en bajada, y puesto que está vacío su peso será : 19,707.8 N

a. descenso de la carga (jaula – skip vacío)

VUELTAS	CARGA (N)	RADIO (m)	MOMENTO (N-m)
0	19,707.8	0.6731	13,265.3
3.42	19,707.8	0.6731	13,265.3
3.42	19,707.8	0.6731	13,265.3
62.01	19,707.8	0.6731	13,265.3
62.01	19,707.8	0.6731	13,265.3
63.71	19,707.8	0.6731	13,265.3

b. descenso del cable .- se considera que la jaula – skip, está en bajada y por lo tanto el peso inicia de 0 é irá aumentando, hasta el fondo.

VUELTAS	LONGITUD CABLE (m)	PESO UNIT DE CABLE (Kg/m)	PESO UNIT DE CABLE (N/m)	PESO DE CABLE (N)	RADIO (m)	MOMENTO (N-m)
0	0	1.92	18.816	0	0.6731	0
3.42	14.5	1.92	18.816	272.2	0.6731	183.22
3.42	14.5	1.92	18.816	272.2	0.6731	183.22
62.01	262.27	1.92	18.816	4,934.9	0.6731	3,321.68
62.01	262.27	1.92	18.816	4,934.9	0.6731	3,321.68
63.71	269.45	1.92	18.816	5,070.01	0.6731	3,412.62

6. RESUMEN DE MOMENTOS POSITIVOS PARCIALES

Es la suma de los momentos de ascenso:

VUELTAS	ASCENSO CARGA (N-m)	ASCENSO CABLE (N-m)	TOTAL PARCIAL (N-m)
0	31,735.10	3,412.62	35,147.72
3.42	31,735.10	3,229.33	34,964.43
3.42	31,735.10	3,229.33	34,964.43
62.01	31,735.10	90.94	31,826.04
62.01	31,735.10	90.94	31,826.04
63.71	31,735.10	0	31,735.10

7. RESUMEN DE MOMENTOS NEGATIVOS PARCIALES

Es la suma de los momentos de descenso:

VUELTAS	DESCENSO DE CARGA (N-m)	DESCENSO DE CABLE (N-m)	TOTAL PARCIAL (N-m)
0	13,265.3	0	13,265.3
3.42	13,265.3	483.22	13,448.52
3.42	13,265.3	483.22	13,448.52
62.01	13,265.3	3,321.68	16,586.98
62.01	13,265.3	3,321.68	16,586.98
63.71	13,265.3	3,412.62	16,677.92

8. CÁLCULO DE LOS MOMENTOS RESULTANTES

Los momentos resultantes se obtienen de la diferencia de los momentos positivos y negativos :

VUELTAS	MOMENTOS POSITIVOS (N-m)	MOMENTOS NEGATIVOS (N-m)	MOMENTOS RESULTANTES (N-m)
0	35,147.72	- 13,265.3	21,882.48
3.42	34,964.43	- 13,448.52	21,515.98
3.42	34,964.43	- 13,448.52	21,515.98
62.01	31,826.04	- 16,586.98	15,239.12
62.01	31,826.04	- 16,586.98	15,239.12
63.71	31,735.10	- 16,677.92	15,057.25

9. CÁLCULO DEL MOMENTO DE FRICCIÓN (M_f)

El momento de fricción es la fricción que existe entre las zapatas de la jaula – skip y las guías, flexión del cable y la fricción del aire en el pique. Se calcula de la siguiente forma :

$$M_f = M_1 - M_2$$

Donde:

M_f : momento de fricción

M₁: Momento de fricción máximo

M₂: momento de fricción mínimo

□ **MOMENTO DE FRICCIÓN MÁXIMO (M₁)**

Se calcula por :

$$M_1 = \frac{M_{\max} + M_{\min}}{2 (0.8)}$$

De la tabla de momento resultantes se obtiene :

$$M_{\max} = 21,882.48$$

$$M_{\min} = 15,057.25$$

Por lo tanto :

$$M_1 = \frac{21,882.42 + 15,057.25}{2 (0.8)}$$

$$M_1 = 23,087.33$$

□ **MOMENTO DE FRICCIÓN MÍNIMO (M₂)**

Se calcula por el promedio de los momentos intermedios

$$M_2 = \frac{21,882.42 + 15,057.25}{2}$$

$$M_2 = 18,377.55$$

□ **MOMENTO DE FRICCIÓN (M_f)**

Nos da como resultado:

$$M_f = M_1 - M_2$$

$$M_f = 23,087.33 - 18,377.55$$

$$M_f = 4,709.78 \text{ N-m}$$

10. CÁLCULO DE LOS MOMENTOS DE ACELERACIÓN (M_a) Y

DESACELERACIÓN (M_d) :

En estos momentos, se refieren a que todos los elementos del sistema van a ser acelerados y desacelerados, durante un ciclo de trabajo. Se calcula de la siguiente forma:

- Para cargas en movimiento, el radio de giro es igual al radio de la tambora del winche:

$$\text{Tenemos : } M_a = F_a \cdot r \text{ y}$$

$$M_d = - M_a$$

Donde: F_a = fuerza de aceleración ó también llamado fuerza reducida por aceleración N.

$$r = \text{Radio de la tambora} = 0.6731 \text{ m}$$

- La fuerza de Aceleración (F_a), es calculado de la siguiente Forma:

$$F_a = \frac{W_t \cdot a}{g}$$

Donde :

$$a = \text{Aceleración} = 0.164 \text{ m/s}^2$$

$$W_t = \text{Peso total de los elementos del sistema (N)}$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad} = 9.8 \text{ m/s}^2$$

CÁLCULO DEL PESO (W_T)

Se considera todos los pesos que van a ser acelerados y desacelerados:

- Dos pesos skip jaula : $2 \times 19,707.8 \text{ N} = 39,415.6 \text{ N}$
- Un peso de mineral : $1 \times 27,440.0 \text{ N} = 27,440.0 \text{ N}$
- Dos peso total de casa : $2 \times 400 \times 18.816 = 15,052.8 \text{ N}$
- Dos peso de tambora : $2 \times 37,088.1 = 74,177.2 \text{ N}$
- Un peso de engranaje y chumacera : se considera el 10% del peso de tamboras = $7,417.7 \text{ N}$
- Dos pesos de poleas : $2 \times 8,722 = 17,444 \text{ N}$

$$W_T = 39,415.6 + 27,440.0 + 15,052.8 + 74,177.2 + 7,417.7 + 17,444.0$$

$$W = 180,946.22 \text{ N}$$

Luego :

$$F_a = \frac{W_t}{g} \cdot a = \frac{180,946.22}{9.8} \times 0.164$$

$$F_a = 3,020.57 \text{ N}$$

Finalmente el cálculo de los momentos de aceleración y desaceleración son :

$$M_a = F_a \times r = 3,020.57 \times 0.6731 = 2,033.15 \text{ N-m}$$

$$\text{y } M_d = - M_a = - 2,033.15$$

11. CÁLCULO DE LOS MOMENTOS TOTALES

Para calcular los momentos totales, se suman los momentos resultantes y de fricción, Luego durante la aceleración se suman los momentos acelerantes y en la desaceleración deberán restarse los momentos desacelerantes.

Vueltas	Momentos Resultantes	Momentos de Fricción	M _a y M _d	Momentos Totales
0	21,882.42	4,709.77	2,033.15	28,625.91
342	21,515.98	4,709.77	2,033.15	28,258.91
3.42	21,515.98	4,709.77	0	26,225.76
62.01	15,239.12	4,709.77	0	19,948.90
62.01	15,239.12	4,709.77	- 2,033.15	17,915.75
63.71	15,057.25	4,709.77	- 2,033.15	17,733.88

12. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR QUE SERÁN NECESARIOS PARA ACELERAR Y DESACELERAR EL SISTEMA:

Para el cálculo de la potencia se aplica la formula conocida:

$$P = \frac{W_t \times M}{746}$$

Donde :

P = potencia en HP

W_t = Velocidad angular de la tambora en rad/s

M = Momento en N-m

□ VELOCIDAD ANGULAR DE LA TAMBORA (W_t)

Conocido la velocidad del cable $V_k = 143$ m/min., que es la velocidad tangencial de la tambora, calculamos en velocidad angular:

$$W_t = \frac{V_k}{r}$$

Donde :

$$V_k = 143 \text{ m/min} = \frac{143m}{60s} = 2.384 \text{ m/s}$$

$$r = \text{radio} = 0.6731 \text{ m}$$

Por lo tanto :

$$W_t = \frac{2.384 \text{ m/s}}{0.6731 \text{ m}}$$

$$W_t = 3.54 \text{ rad/s}$$

También se puede expresar en RPM: $W_t = 33.8$ RPM.

La formulación simplificada de la potencia, es :

$$P = \frac{3.54}{746} \times M$$

$$P = 0.0047453 M$$

Donde : M = momento dado en N-m

De acuerdo a la formulación anterior calculamos la potencia en las posiciones del skip.

Vueltas	Momentos Totales (N-m)	Potencia (HP)	Parámetros
0	28,625.41	135.91	
3.42	28,258.91	134.17	A ₁
3.42	26,225.76	124.52	B ₁
62.01	19,948.90	94.72	C ₁
62.01	17,915.75	85.06	D ₁
63.71	17,733.88	84.20	

De acuerdo a la metodología de cálculo definimos los siguientes parámetros :

- Potencia al término de la aceleración. A₁ = 134.17 HP
- Potencia al inicio de V_k B₁ = 124.52 HP
- Potencia al final de V_k C₁ = 94.72 HP
- Potencia al Inicio de la desaceleración D₁ = 85.06 HP

□ **POTENCIA MEDIA (P_m)**

$$P_m = \frac{A_1 + C_1}{2}$$

$$P_m = \frac{134.17 + 94.72}{2} = 114.45$$

- Potencia necesaria para acelerar:

$$\frac{P_m}{T_a} = \frac{114.45}{13.3} = 8.61 \text{ HP}$$

- Potencia necesaria para desacelerar:

$$\frac{P_m}{T_a} = \frac{114.45}{6.6} = 17.34 \text{ HP}$$

- Potencia al término de la aceleración (A₂) :

$$134.17 + 8.61 = 142.78$$

- Potencia al término de la desaceleración (D₂):

$$85.06 + 17.34 = 102.4$$

De esto se deducen los parámetros A₂, B₂, C₂ y D₂, necesarios para el cálculo de la potencia:

$$A_2 = 142.78 \text{ HP}$$

$$B_2 = 124.52 \text{ HP}$$

$$C_2 = 94.72 \text{ HP}$$

$$D_2 = 102.40 \text{ HP}$$

13.- CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO

De acuerdo a la Formulación, la Potencia viene calculado por :

$$HP = \sqrt{\frac{A_2^2 \cdot T_a + (B_2^2 + C_2^2 + B_2 \cdot C_2) \cdot \frac{T_k}{3} + D_2^2 \cdot T_d}{K \cdot T_a + T_k + K \cdot T_d + L \cdot T_m}}$$

Donde :

$$T_k = \text{Tiempo desplazamiento a } V_k = 103.94 \text{ s}$$

$$T_a = \text{Tiempo de aceleración} = 13.3 \text{ s}$$

$$T_d = \text{Tiempo desaceleración} = 6.6 \text{ s}$$

$$T_m = \text{Tiempo de carga y descarga del Skip} = 25.20 \text{ s}$$

$$K = \frac{1}{2}$$

$$L = \frac{1}{4} \text{ para motores de corriente alterna.}$$

Reemplazando los valores, se obtiene:

$$A_2^2 \cdot T_a = 271,135.508$$

$$(B_2^2 + C_2^2 + B_2 \cdot C_2) \cdot \frac{T_k}{3} = 1'257,347.88$$

$$D_2^2 \cdot T_d = 69,206.016$$

$$K \cdot T_a + T_k + K \cdot T_d + L \cdot T_m = 120.19$$

$$HP = \sqrt{\frac{271,135.508 + 1257,347.88 + 69,206.016}{120.19}}$$

$$HP = \sqrt{13,293.031}$$

$$HP = 115.29$$

Por lo tanto la potencia a nivel del mar, es de 115.29 HP, para nuestra altura de trabajo de 4,500 m.s.n.m., deberá ser corregido.

De acuerdo a la figura 5.4 , en cual se muestra los factores de corrección por altura de trabajo, obtenemos que, en este caso de 4,500 m.s.n.m. corresponde un factor de corrección de 0.9, por lo tanto la potencia será:

$$\text{Potencia a 4,500 msnm} = \frac{115.29}{0.9} = 128 \text{ HP}$$

En el anexo 2, se presenta la hoja de cálculo.

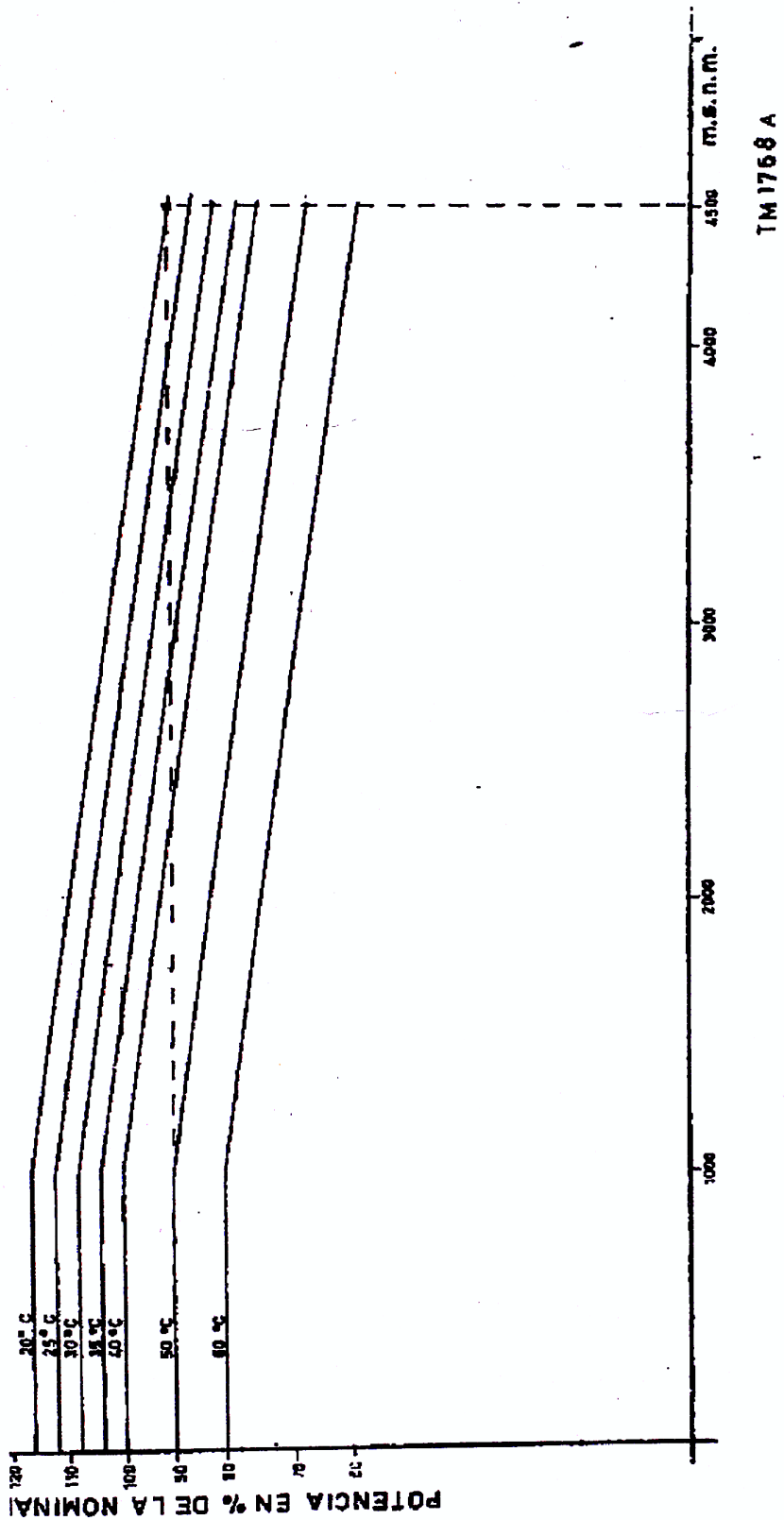


Fig Nro 5.4 : Variación de la potencia, con la altura sobre el nivel del mar

5.3. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO PARA LA ALTURA DE IZAJE DE 315 METROS

5.3.1 CONSIDERACIONES PARA LA NUEVA ALTURA DE IZAJE

1. La wincha a utilizarse es la misma que para el nivel 240, gracias a que la tambora puede almacenar el enrollamiento de 75 metros adicionales.
2. Debido al aumento de la altura de izaje de 240 m a 315 m se aumentará el tiempo del ciclo de IZAJE, por la mayor longitud de desplazamiento de la jaula –skip, afectando la capacidad de izaje por hora y de igual forma la producción.
3. De acuerdo a las condiciones del pique, dimensiones actuales y costo de construcción no se aumentará la capacidad del skip, deberá seguir con 2.8 TMH/Skip. (TMH = Tonelada Métrica Humeda)
4. en vista de las restricciones anteriores se procedió a analizar los parámetros que puedan mejorar la capacidad de izaje, de tal forma que la producción mejore o se mantenga igual, pero que no disminuya.

PARÁMETROS	UNIDAD	ACTUAL Profundidad 240 metros	FUTURO Profundidad 315 metros
Altura de izaje	m	240	315
Capacidad del Skip	TMH	2.8	2.8
Capacidad por hora	TMH/Hora	56	56
Velocidad izaje promedio	m/min	139.8	X

Se llegó a la conclusión que el parámetro que podrá evitar la disminución de la producción será: LA VELOCIDAD DE IZAJE.

5. La velocidad de IZAJE deberá incrementarse aproximadamente a :

$$X = 139.8 \left(\frac{315}{240} \right)$$

$$X = 183.4 \text{ m/min}$$

6. Este incremento de velocidad de IZAJE, será dado por el motor eléctrico cuya velocidad deberá ser:

$$\text{velocidad actual} = 505 \text{ RPM}$$

$$\text{velocidad futura} = \frac{183.4}{139.8} \times 505 = 662 \text{ RPM}$$

7. Finalmente se decidió adquirir un motor eléctrico de 12 polos, cuya velocidad sincrónica es 600 RPM y con un cierto porcentaje de deslizamiento, se considera 595 RPM, para lo cual la relación de dientes de piñón a catalina se adaptó a :

$$\text{N}^\circ \text{ de dientes de piñón} = 15$$

$$\text{N}^\circ \text{ de dientes de catalina} = 210$$

5.3.2 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD ANGULAR DE LA TAMBORA (W_t)

se calcula por :

$$W_t = W_m \times \frac{Z_p}{Z_c}$$

Donde:

$$W_t = \text{Velocidad angular de la tambora en RPM}$$

$$W_m = \text{Velocidad angular del motor en RPM} = 595$$

$$Z_p = \text{N}^\circ \text{ de dientes del piñón} = 15$$

$$Z_c = \text{N}^\circ \text{ de dientes de la catalina} = 210$$

Entonces :

$$W_t = 595 \times \frac{15}{210}$$

$$W_t = 42.5 \text{ RPM. } \text{ ó } W_t = 4.45 \frac{\text{rad.}}{\text{s}}$$

5.3.3 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD LINEAL CONSTANTE DEL CABLE DE IZAJE (V_k):

Esta dado por :

$$V_k = W_t \times r$$

Donde :

$$r = \text{radio en m} = 0.6731 \text{ m}$$

Por lo tanto :

$$V_k = 4.45 \times 0.6731 \text{ m/s}$$

$$V_k = 2.99 \text{ m/s}$$

o también :

$$V_k = 179.7 \text{ m/min.}$$

Esta velocidad está dentro del rango permitido de velocidades de winches de izaje del REGLAMENTO DE SEGURIDAD E HIGIENE MINERA de acuerdo al artículo 38 en el cual menciona que para profundidades mayores a 200 m. La velocidad no debe exceder los 250 m/min, y en este caso:

$$179.7 \text{ m/min} < 250 \text{ m/min}$$

5.3.4 TIEMPO MUERTO EN CARGA Y DESCARGA DEL SKIP (T_m)

De igual manera se efectuó mediciones en Interior Mina, para diferentes guardias la que nos dio un promedio de 25.20 s

$$T_m = 25.20 \text{ s}$$

5.3.5 ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE ACELERACIÓN (T_a) Y

DESACELERACIÓN (T_d) :

Se seleccionaron del cuadro 5.2.

PROFUNDIDAD (Pies)	500	500-1000	1000-2000	2000-2500	3000
FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO	8	7	6	5	4.75
VELOCIDAD RECOMENDABLE (Pies/Minuto)	600-900	600-1200	900-1800	1200-1240	1500
TIEMPO DE ACELERACIÓN (s)	5 – 10	8 – 12	10 – 15	12 - 20	12-20
ACELERACIÓN (Pies/s ²)	1 – 3	1 – 3	1 – 3 , 5	1 - 4	1.5-6
Tiempo de Desaceleración	50% a 100 % del tiempo de Aceleración.				

Cuadro Nro. 5.2: Tiempos de aceleración y desaceleración en función de la profundidad

De acuerdo a la tabla anterior de la MINE PLANT DESIGN de W. W. STALEY, en función a la profundidad 315 metros ó 1,033 pies, seleccionamos el tiempo mínimo :

$$T_a = 13 \text{ s}$$

$$\text{Y el } T_d = 50 \% (13 \text{ s}) = 6.5 \text{ s}$$

Por Tanto :

$$T_a = 13 \text{ s}$$

$$T_d = 6.5 \text{ s}$$

5.3.6 FORMA APROXIMADA DE LA CURVA DE VELOCIDAD EN EL TIEMPO DE UN CICLO DE TRABAJO:

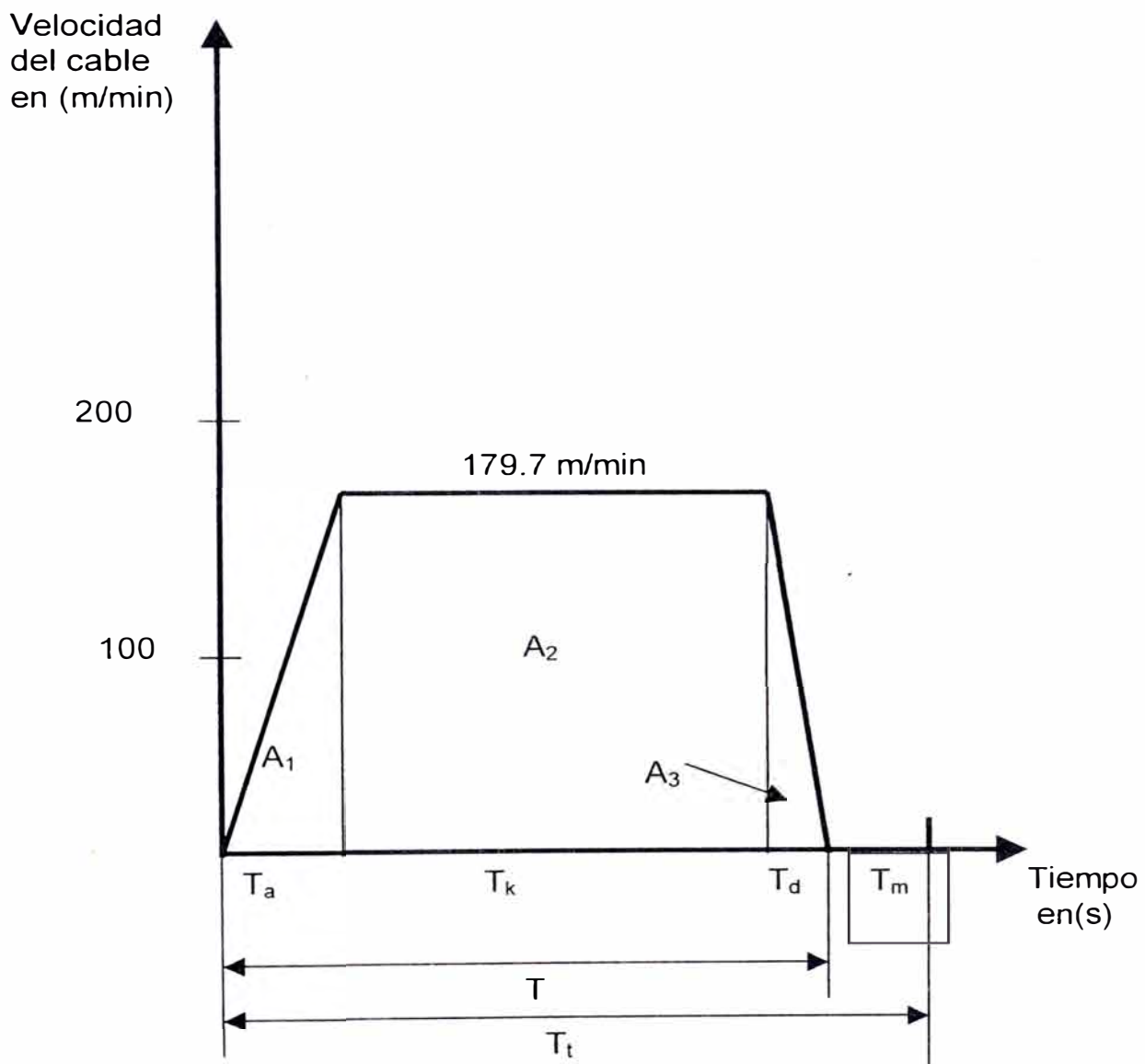


Figura Nro 5.5: Gráfico velocidad vs tiempo

Análisis :

La distancia del recorrido total, viene a ser el área contenido en la figura igual a A_t :

$$A_t = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_t = \frac{V_k \times T_a}{2} + V_k \times T_k + \frac{V_k \times T_d}{2}$$

$$A_t = V_k \left(\frac{T_a}{2} + T_k + \frac{T_d}{2} \right)$$

Como : $E = \text{Longitud de Izaje} = A_t$

Entonces :

$$V_k = \frac{E}{T_k + \left(\frac{T_a}{2} + \frac{T_d}{2} \right)}$$

También se puede expresar :

$$V_k = \frac{E}{T - \left(\frac{T_a}{2} + \frac{T_d}{2} \right)}$$

Donde :

T_a : Tiempo de aceleración

T_d : Tiempo de desaceleración.

T_k : Tiempo de velocidad constante.

T : Tiempo de desplazamiento cargado

T_t : Tiempo de un ciclo de trabajo.

5.3.7 CÁLCULO DEL TIEMPO A VELOCIDAD CONSTANTE (T_k)

Como :

$$V_k = \frac{E}{T - \left(\frac{T_a}{2} + \frac{T_d}{2} \right)}$$

Se deduce que: El tiempo de desplazamiento cargado (T) es:

$$T = \frac{E}{V_k} + \left(\frac{T_a}{2} + \frac{T_d}{2} \right)$$

$$T = \frac{344.45}{2.996} + \frac{13}{2} + \frac{6.5}{2}$$

$$T = 124.73 \text{ s}$$

Por lo tanto : el tiempo de velocidad constante, es :

$$T_k = T - T_a - T_d$$

$$T_k = 124.73 - 13 - 6.5$$

$$T_k = 105.23 \text{ s}$$

5.3.8 CÁLCULO DEL TIEMPO TOTAL DEL CICLO DE IZAJE (T_t)

Incluye el tiempo muerto:

$$T_t = T + T_m.$$

$$T_t = 124.73 + 25.20$$

$$T_t = 149.93 \text{ s}$$

5.3.9 CÁLCULO DE LA ACELERACIÓN (a) Y DESACELERACIÓN (d)

Calculamos de acuerdo a:

$$a = \frac{V_k}{T_a}$$

$$d = \frac{V_k}{T_d}$$

Por lo tanto :

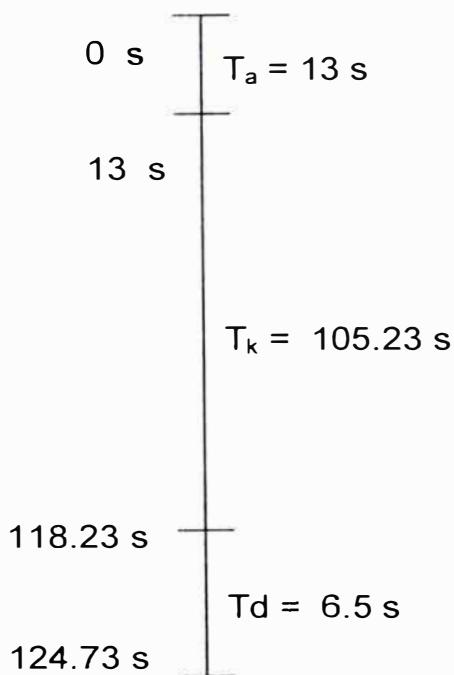
$$a = \frac{2.996 \text{ m/s}}{13 \text{ s}} \quad a = 0.230 \text{ m/s}$$

$$d = \frac{2.996 \text{ m/s}}{6.5 \text{ s}} \quad d = 0.460 \text{ m/s}$$

5.3.10 DISTANCIA DE RECORRIDO POR EL SKIP DURANTE LA ACELERACIÓN (E_a) Y DESACELERACIÓN (E_d)

De la longitud de la jaula - skip a recorrer tenemos :

Gráficos de tiempo



Gráficos de longitud

$$e_a = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}0.23 \times (13)^2 = 19.47 \text{ m}$$

$$E_k = V_k \times T_k = 2.99 \times 105.4 = 315.24 \text{ m}$$

$$e_d = \frac{1}{2}dt^2 = \frac{1}{2}(0.46)(6.5)^2 = 9.74 \text{ m}$$

Durante la aceleración la distancia recorrida se calcula por :

$$E_a = \frac{1}{2} a t_a^2 = \frac{1}{2} 0.23 (13)^2 = 19.47$$

Distancia de recorrido por el Skip durante la desaceleración :

$$E_d = \frac{1}{2} d t_d^2 = \frac{1}{2} 0.46 (6.5)^2$$

$$E_d = 9.7 \text{ m}$$

5.3.11 DISTANCIA RECORRIDA A VELOCIDAD CONSTANTE:

$$E_k = V_k \times T_k$$

$$E_k = 2.95 \times 105.4 \text{ sg.}$$

$$E_k = 315.15 \text{ m}$$

5.3.12 DATOS DE PESOS :

Son los mismos pesos del cálculo para el Nivel -240.

- Peso de la jaula skip = 2011 Kg = 19,707.8 N
- Peso del mineral skip = 2800 Kg = 27,440.0 N
- Peso unitario del cable = 1.92 Kg/m = 18.8 N/m
- Peso total del cable = 500 m x 1.92 Kg/m x 9.8 N/Kg
= 9,408.0 N
- Peso de una tambora = 3,784.5 Kg = 37,088.5 N
- Peso Engranajes y chumaceras = 10 % (peso de dos Tamboras)
10 % (2 x 37,088.5)
10 % (74,177.0)
7,417.7 N
- peso de una polea = 890 Kg = 8,722 N

5.3.13 CÁLCULO DE MOMENTOS EXISTENTES EN LAS TAMBORAS:

Teniendo los datos anteriores procederemos al cálculo similar al realizado en el Nivel -240.

De acuerdo a la metodología de calculo, se calcularán los momentos en cuatro posiciones de la jaula - Skip:

- 1º posición : 0 vueltas
- 2º posición : Al termino de la aceleración, después de recorrer 19.47 m = 4.60 vueltas
- 3º posición : Al termino de la velocidad constante, después de recorrer 334.71 m = 79.14 vueltas
- 4º posición : Al termino del recorrido total, después de recorrer 344.45 m = 81.44 vueltas

1.- MOMENTOS POSITIVOS :

a) ascenso de la carga :

Se considera el peso de la jaula skip más el peso del mineral: $19,707.8 \text{ N} + 27,440.0 \text{ N} = 47,147.8 \text{ N}$, este peso está presente en la subida y en todo el trayecto, será constante.

VUELTAS	CARCA (N)	RADIO (m)	MOMENTOS (N-m)
0	47,147.8	0.6731	31,735.2
4.60	47,147.8	0.6731	31,735.2
4.60	47,147.8	0.6731	31,735.2
79.14	47,147.8	0.6731	31,735.2
79.14	47,147.8	0.6731	31,735.2
81.44	47,147.8	0.6731	31,735.2

b) ascenso del cable:

VUELTAS	LONGITUD CABLE (m)	PESO UNIT. CABLE (N/m)	PESO DE CABLE (N)	RADIO (m)	MOMENTOS (N-m)
0	344.45	18.816	6,481.17	0.6731	4,362.5
4.60	324.98	18.816	6,114.82	0.6731	4,115.87
4.60	324.98	18.816	6,114.82	0.6731	4,115.87
79.14	9.74	18.816	183.26	0.6731	123.31
79.14	9.74	18.816	183.26	0.6731	123.31
81.44	0	18.816	0	0.6731	0

2.- MOMENTOS NEGATIVOS :

Se considera que la jaula-skip está en bajada, y como está vacío, su peso será : 19,707.8 n

a. descenso de la carga (Jaula – Skip vacío)

VUELTAS	CARGA (N)	RADIO (m)	MOMENTO (N-m)
0	19,707.8	0.6731	13,265.3
4.60	19,707.8	0.6731	13,265.3
4.60	19,707.8	0.6731	13,265.3
79.14	19,707.8	0.6731	13,265.3
79.14	19,707.8	0.6731	13,265.3
81.44	19,707.8	0.6731	13,265.3

b. descenso del cable .- se considera que la jaula – skip, está en bajada y por lo tanto el peso inicia de 0 é irá aumentando, hasta el fondo.

VUELTAS	LONGITUD CABLE (m)	PESO UNIT DE CABLE (Kg/m)	PESO UNIT DE CABLE (N/m)	PESO DE CABLE (N)	RADIO (m)	MOMENTO (N-m)
0	0	1.92	18.816	0	0.6731	0
4.60	19.47	1.92	18.816	366.4	0.6731	246.62
4.60	19.47	1.92	18.816	366.4	0.6731	246.62
79.14	334.71	1.92	18.816	6,298.0	0.6731	4,239.18
79.14	334.71	1.92	18.816	6,298.0	0.6731	4,239.18
81.44	344.45	1.92	18.816	6,481.2	0.6731	4,362.5

3. RESUMEN DE MOMENTOS POSITIVOS PARCIALES

Es la suma de los momentos de ascenso:

VUELTAS	ASCENSO CARGA (N-m)	ASCENSO CABLE (N-m)	TOTAL PARCIAL (N-m)
0	31,735.20	4,362.5	36,097.7
4.60	31,735.20	4,115.87	35,851.07
4.60	31,735.20	4,115.87	35,851.07
79.14	31,735.20	123.31	31,858.51
79.14	31,735.20	123.31	31,858.51
81.44	31,735.20	0	31,735.2

4. RESUMEN DE MOMENTOS NEGATIVOS PARCIALES

Es la suma de los momentos de descenso:

VUELTAS	DESCENSO DE CARGA (N-m)	DESCENSO DE CABLE (N-m)	TOTAL PARCIAL (N-m)
0	13,265.3	0	13,265.3
4.60	13,265.3	246.62	13,511.92
4.60	13,265.3	246.62	13,511.92
79.14	13,265.3	4,239.18	17,504.48
79.14	13,265.3	4,239.18	17,504.48
81.44	13,265.3	4,362.4	17,627.7

5. CÁLCULO DE LOS MOMENTOS RESULTANTES

Los momentos resultantes se obtienen de la diferencia de los momentos positivos y negativos :

VUELTAS	MOMENTOS POSITIVOS (N-m)	MOMENTOS NEGATIVOS (N-m)	MOMENTOS RESULTANTES
0	36,097.7	- 13,265.3	22,832.4
4.60	35,851.07	- 13,511.92	22,339.15
4.60	35,851.07	- 13,511.92	22,339.15
79.14	31,858.51	- 17,504.48	14,354.03
79.14	31,858.51	- 17,504.48	14,354.03
81.44	31,735.2	- 17,627.7	14,107.05

6. CÁLCULO DEL MOMENTO DE FRICCIÓN (M_f)

Esta dado por :

$$M_f = M_1 - M_2$$

□ Momento de Fricción Máximo(M₁):

$$M_1 = \frac{M_{\max} + M_{\min}}{2 \times 0.8}$$

$$M_{\max} = 22,832.4$$

$$M_{\min} = 14,107.5$$

$$M_1 = \frac{22,832.4 + 14,107.5}{2 \times 0.8}$$

$$M_1 = 23,087.43$$

□ **Momento de Fricción Mínimo(M_2):**

$M_2 =$ Promedio de los momentos Intermedios

$$M_2 = \frac{22,339.15 + 14,354.03}{2}$$

$$M_2 = 18,346.59$$

Entonces :

□ **Momento de fricción(M_f):**

$$M_f = M_2 - M_1 = 4,740.84$$

7. CÁLCULO DE LOS MOMENTOS DE ACELERACIÓN (M_a) Y DESACELERACIÓN (M_d):

Calcularemos inicialmente :

$$F_a = \frac{W_t}{g} a$$

Donde :

$$\begin{aligned} W_t &= \text{Peso total de los elementos del sistema.} \\ &= 184,709.42 \text{ N} \end{aligned}$$

Por lo tanto :

$$F_a = \frac{184,709.42}{9.8} 0.23046$$

$$F_a = 4,343.28 \text{ N}$$

Finalmente el momento de aceleración y desaceleración será:

$$M_a = F_a \times r = 4,343.28 \times 0.6731$$

$$M_a = 2,923.46$$

$$\text{Y } M_d = - M_a = - 2,923.46$$

8. CÁLCULO DE LOS MOMENTOS TOTALES :

De acuerdo al método, será :

Vueltas	Momentos Resultantes	Momentos de Fricción	M_a y M_d	Momentos Totales
0	22,832.36	4,740.84	2,923.46	30,496.60
4.6	22,339.11	4,740.84	2,923.46	30,003.35
4.6	22,339.11	4,740.84	0	27,079.89
79.14	14,353.99	4,740.84	0	19,094.77
79.14	14,353.99	4,740.84	- 2,923.46	16,171.31
81.44	14,107.37	4,740.84	- 2,923.46	15,924.69

9. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR QUE SERÁN NECESARIOS PARA ACELERAR Y DESACELERAR EL SISTEMA:

Para el cálculo de la potencia se aplica la formula conocida:

$$P = \frac{W_t \times M}{746}$$

Donde :

P = potencia en HP

W_t = Velocidad angular de la tambora en rad/s

M = Momento en N-m

la velocidad angular de la tambora, se calculó anteriormente y es igual a 4.45 rad/s, por lo tanto:

$$W_t = 4.45 \text{ rad/s}$$

La formulación simplificada de la potencia, es :

$$P = \frac{4.45}{746} M$$

$$P = 0.0059651474 M$$

Donde : M = momento dado en N-m

De acuerdo a la formulación anterior calculamos la potencia en las posiciones del skip:

Vueltas	Momentos Totales (N-m)	Potencia en (HP)	Parámetros
0	30,496.60	181.94	
4.6	30,003.35	179.00	A ₁
4.6	27,079.89	161.56	B ₁
79.14	19,094.77	113.92	C ₁
79.14	16,171.31	96.48	D ₁
81.44	15,924.69	95.01	

De acuerdo a la metodología de cálculo definimos los siguientes parámetros :

- Potencia al Término de la Aceleración $A_1 = 179.00$ HP
- Potencia al Inicio de V_k $B_1 = 161.56$ HP
- Potencia al Final de V_k $C_1 = 113.92$ HP
- Potencia al Inicio de la desaceleración $D_1 = 96.48$ HP

□ **POTENCIA MEDIA (P_m)**

$$P_m = \frac{A_1 + C_1}{2}$$

$$P_m = \frac{179.0 + 113.92}{2} = 146.46$$

- Potencia necesaria para acelerar:

$$\frac{P_m}{T_a} = \frac{146.46}{13} = 11.27 \text{ HP}$$

- Potencia necesaria para desacelerar:

$$\frac{P_m}{T_d} = \frac{146.46}{6.5} = 22.53 \text{ HP}$$

- Potencia al término de la aceleración (A_2) :

$$179.00 + 11.27 = 190.27$$

□ Potencia al término de la desaceleración (D_2):

$$96.48 + 22.53 = 119.01$$

De esto se deducen los parámetros A_2 , B_2 , C_2 y D_2 , necesarios para el cálculo de la potencia:

$$A_2 = 190.27 \text{ HP}$$

$$B_2 = 161.56 \text{ HP}$$

$$C_2 = 113.92 \text{ HP}$$

$$D_2 = 119.01 \text{ HP}$$

13.- CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO

De acuerdo a la formulación, la potencia viene calculado por :

$$HP = \sqrt{\frac{A_2^2 \cdot T_a + (B_2^2 + C_2^2 + B_2 \cdot C_2) \cdot \frac{T_k}{3} + D_2^2 \cdot T_d}{K \cdot T_a + T_k + K \cdot T_d + L \cdot T_m}}$$

Donde :

$$T_k = \text{Tiempo desplazamiento a } V_k = 105.23 \text{ s}$$

$$T_a = \text{Tiempo de aceleración} = 13 \text{ s}$$

$$T_d = \text{Tiempo desaceleración} = 6.5 \text{ s}$$

$$T_m = \text{Tiempo de carga y descarga del Skip.} = 25.20 \text{ s}$$

$$K = \frac{1}{2}$$

$$L = \frac{1}{4} \text{ para motores de corriente alterna.}$$

Reemplazando los valores, se obtiene:

$$A_2^2 \cdot T_a = 470,634.74$$

$$(B_2^2 + C_2^2 + B_2 \cdot C_2) \cdot \frac{T_k}{3} = 2,016,357.62$$

$$D_2^2 \cdot T_d = 92,061.97$$

$$K \cdot T_a + T_k + K \cdot T_d + L \cdot T_m = 121.28$$

$$HP = \sqrt{\frac{470,634.74 + 2,016,357.62 + 92,061.97}{121.28}}$$

$$HP = \sqrt{21,265.28}$$

$$HP = 145.83$$

Por lo tanto la potencia a nivel del mar, es de 145.83 HP, para nuestra altura de trabajo de 4,500 m.s.n.m., deberá ser corregido.

De acuerdo a la Tabla de corrección por Altura de trabajo, en este caso de: 4,500 m.s.n.m. corresponde un factor de corrección de 0.9, Por lo tanto la potencia será:

$$\text{Potencia a 4,500 msnm} = \frac{145.83}{0.9} = 162 \text{ HP}$$

En el anexo 3, se presenta la hoja de cálculo.

CAPÍTULO 6

CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE EL MOTOR DE ROTOR BOBINADO

6.1 MOTOR DE ROTOR BOBINADO:

Es un motor de corriente alterna de tipo asíncrono. Esta máquina se caracteriza por que el rotor gira a una velocidad menor que la velocidad del campo magnético rotatorio, creado por las corrientes trifásicas del estator.

A la velocidad del campo magnético se le llama VELOCIDAD SINCRONICA

En la figura 6.1, se presenta un motor de rotor bobinado.



Figura Nro 6.1: Motor de rotor bobinado

6.2 CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS:

Está conformado por el **ESTATOR** y el **ROTOR**.

6.2.1 ESTATOR: Es la parte fija del motor y está compuesto por :

□ **CARCAZA:**

Constituye el órgano sustentador del núcleo magnético del estator y conjuntamente con los escudos portacojinetes son de fierro fundido, su forma depende de las cabezas de bobinado, dimensiones del núcleo magnético y del sistema de refrigeración

□ **NÚCLEO MAGNÉTICO:**

Está formado por un conjunto de chapas ranuradas de acero al silicio, montados coaxialmente y apilados fuertemente entre sí.

□ **BOBINADO:**

Se halla alojado en las ranuras del estator, puede ser conectado en Y , Δ , YY , $\Delta\Delta$, u otros, directamente a la fuente de alimentación y debidamente aislado.

En la figura 6.2, se presenta un estator de este tipo.

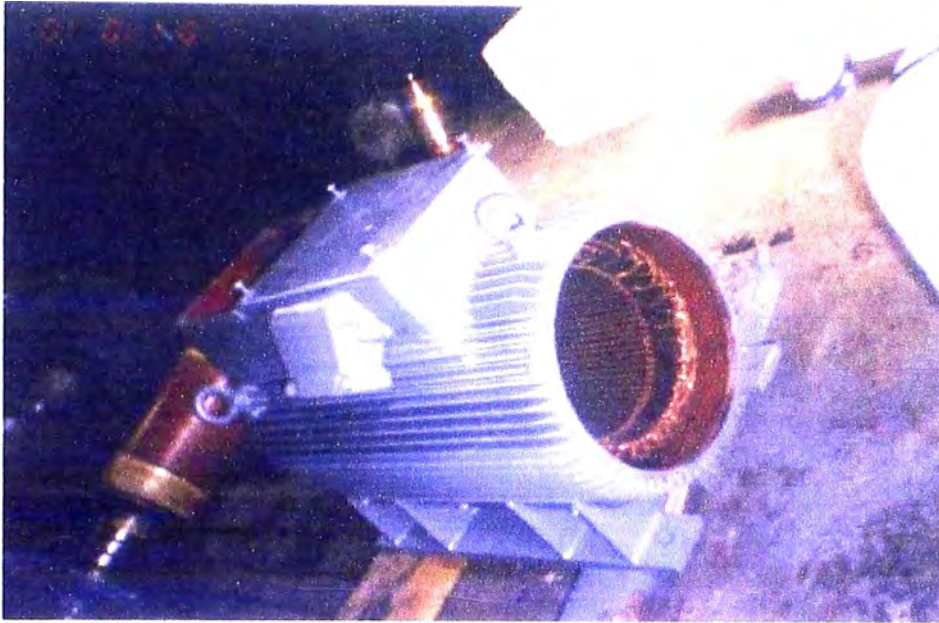


Figura Nro 6.2 : Vista del estator

□ **CAJA DE BORNES:**

Es la placa de terminalés de cables, donde se realiza las conexiones del motor. Ver figura 6.3.

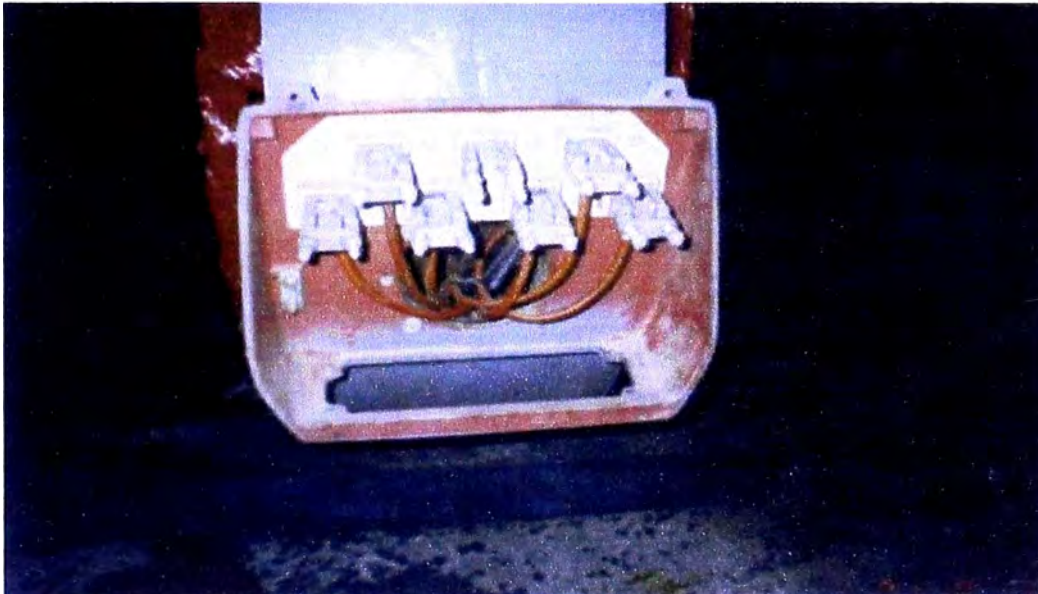


Figura Nro 6.3 : Vista de la caja de bornes

6.2.2 ROTOR:

Su núcleo magnético está constituido, por un conjunto de láminas, circulares y ranuradas, del mismo material que del estator. Estas láminas apiladas dan la forma de un cilindro.

El bobinado secundario ó rotórico se halla colocado en las ranuras del rotor y toma su potencia por **INDUCCION** del flujo producido por el devanado del estator, de allí se deriva el nombre de **MOTOR DE INDUCCIÓN**, en la figura 6.4 se presenta un rotor de este tipo.

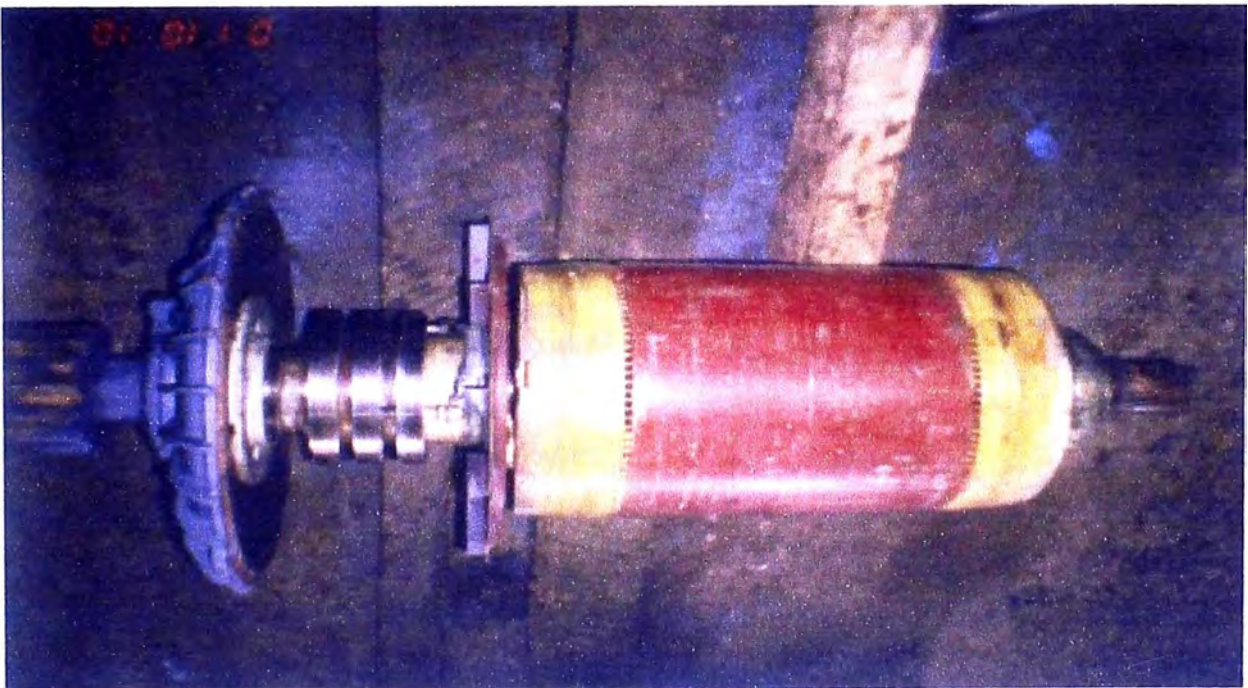


Figura Nro 6.4 : Vista de un rotor bobinado

El bobinado es similar al del estator , este bobinado se halla conectado a unos anillos rozantes montados en el eje ,que permiten cerrar el circuito a través de unas escobillas. Estas escobillas se conectan a unas resistencias externas que están calculadas para limitar la corriente durante el arranque y mantener el torque máximo para acelerar la carga a su velocidad de trabajo. En la figura 6.5 se presenta los anillos rozantes y en la figura 6.6 el portaescobillas.

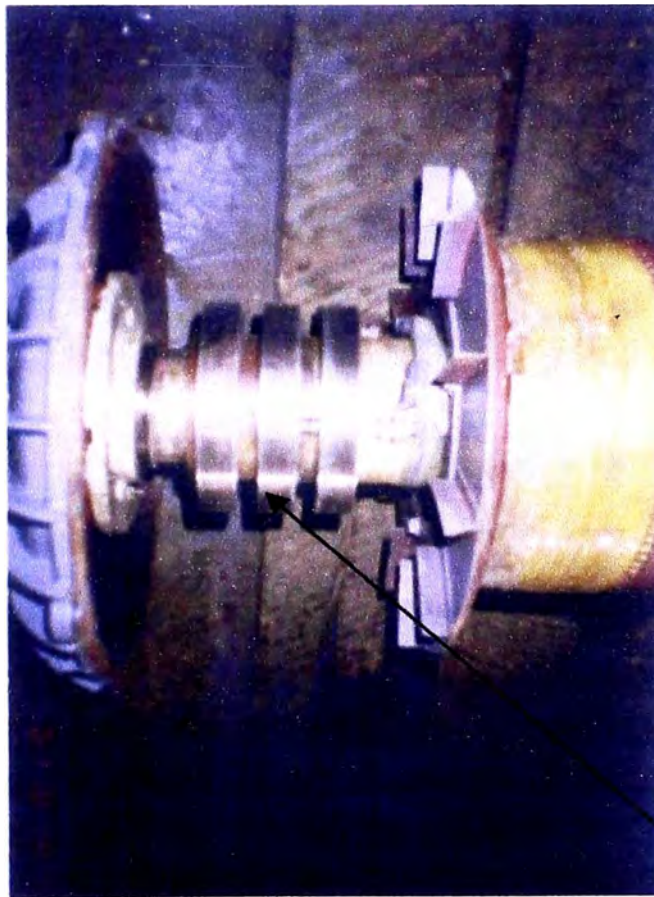


Figura Nro 6.5 : Vista de los anillos rozantes

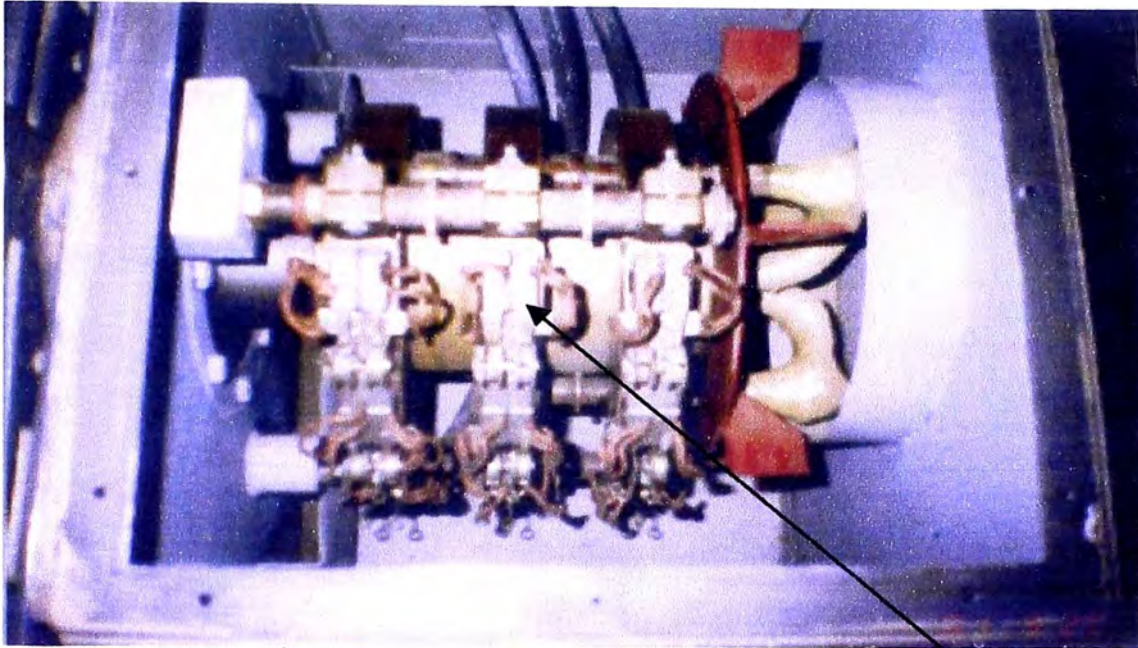


Figura Nro 6.6: vista de portaescobillas

6.3 CREACIÓN DEL TORQUE INDUCIDO EN EL MOTOR:

Quando se aplica al estator , un sistema de voltajes trifásicos , circula por él un conjunto de corrientes trifásicas alternas . Estas corrientes producen un campo magnético giratorio (B_s), cuya velocidad está expresada por:

$$N_s = \frac{120f_e}{P}$$

Donde:

N_s = Velocidad Sincrónica en RPM.

f_e = Frecuencia del sistema en hertzios (Hz).

P = Numero de polos del motor.

Este campo magnético rotatorio (B_s), pasa sobre los conductores del rotor y les induce un voltaje.

El voltaje inducido en los conductores, de una espira del rotor, se obtiene por medio de la ecuación:

$$\bar{E}_i = (\bar{V} \times \bar{B}_s) \cdot \bar{L}$$

Donde:

\bar{E}_i = Voltaje inducido.

\bar{V} = Velocidad de los conductores del rotor con relación al campo magnético.

\bar{B}_s = Densidad del campo magnético del estator.

\bar{L} = Longitud del conductor del rotor (lado de una espira). Ver figura 6.7.

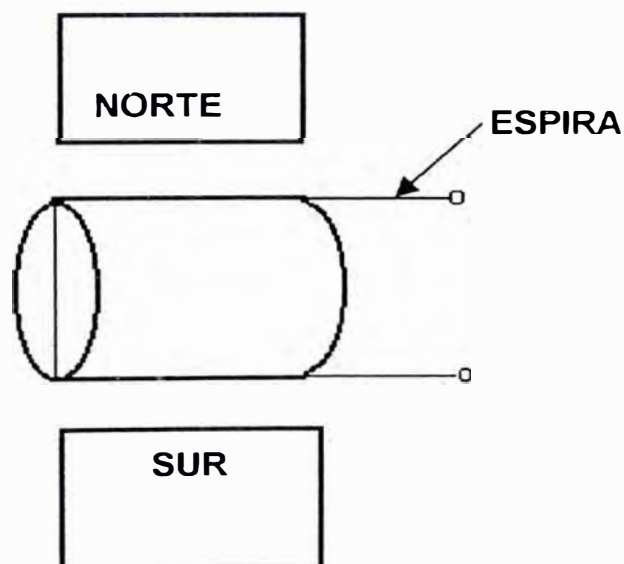


Figura Nro 6.7 : Voltaje inducido en una espira

El voltaje inducido en el rotor, determina un flujo de corriente en su bobinado, el cual a su vez produce un campo magnético giratorio denominado (B_r). La interacción de los torques del estator (B_s) y del rotor (B_r), produce el torque electromagnético del motor, cuya ecuación de cálculo esta dado por:

$$\bar{T}_e = k(\bar{B}_r \times \bar{B}_s)$$

\bar{T}_e = Torque inducido

k = Constante

\bar{B}_r = Campo magnético del rotor

\bar{B}_s = Campo magnético del estator

Cabe comentar que si el rotor del motor de ROTOR BOBINADO, se moviera a la velocidad SINCRONICA, sus conductores permanecerían estables con relación al campo magnético y no habría ninguna inducción de voltaje. Por lo tanto, si la inducción de voltaje en el rotor es cero, no se crea ninguna corriente, y el campo magnético del rotor será NULA.

Sin campo magnético en el rotor el TORQUE INDUCIDO del motor será cero. Esto explica que un motor de rotor bobinado y todos los motores de inducción, jamás podrán alcanzar la VELOCIDAD SINCRONICA.

6.4 DESLIZAMIENTO DEL ROTOR:

Como se ha explicado anteriormente, la velocidad del rotor nunca alcanzará la velocidad SINCRÓNICA, a esta diferencia entre la velocidad sincrónica y la velocidad del rotor se le llama VELOCIDAD DE DESLIZAMIENTO, que se define como:

$$N_d = N_s - N_m$$

En donde:

N_d = Velocidad de deslizamiento de la máquina.

N_s = Velocidad sincrónica o de campo
magnético

N_m = Velocidad mecánica del eje del motor.

El DESLIZAMIENTO en sí, es el cociente entre la velocidad de deslizamiento y la velocidad sincrónica dado en porcentaje, es decir, el deslizamiento se define como:

$$S = \frac{N_d}{N_s} 100\%$$

En donde S es el deslizamiento.

De acuerdo a este concepto el deslizamiento S se puede también definir como:

$$S = \frac{N_s - N_m}{N_s} 100\%$$

COMENTARIOS SOBRE EL DESLIZAMIENTO:

- Debemos observar que si el rotor gira a la velocidad de sincronismo, o sea:

$$N_m = N_s$$

el deslizamiento S , será cero y por otro lado si el rotor está frenado, o sea $N_m = 0$, el deslizamiento será 1 (uno), esto significa que todas las velocidades del motor, estarán comprendidas en estos límites, es decir entre 0 y 1.

- La velocidad mecánica del motor, es posible expresar en términos de la sincrónica y el deslizamiento así:

$$N_m = (1-S) N_s$$

- Los motores de uso general tienen un deslizamiento, del 1% al 4%, pero también existen motores para uso especial de alto y ultraalto deslizamiento, cuyo valor puede llegar a ser el 18% (motor lento).

6.5 FRECUENCIA ELECTRICA DEL ROTOR:

Un motor de rotor bobinado trabaja induciendo voltajes y corrientes en el rotor de la máquina, por esta razón, algunas veces se le ha llamado TRANSFORMADOR GIRATORIO. Cabe señalar que a diferencia del transformador, la frecuencia del rotor, no es necesariamente la misma que la frecuencia del estator.

COMENTARIOS:

- Si el rotor del motor está bloqueado, de tal modo que no se pueda mover, entonces el rotor y el estator, tendrán la misma frecuencia.
- En cambio si el rotor girara a la velocidad sincrónica, su frecuencia sería cero.

Por lo tanto, para cualquier velocidad intermedia, la frecuencia del rotor es directamente proporcional a la diferencia entre la velocidad sincrónica N_s y la velocidad del rotor N_m . Como el deslizamiento se define por :

$$S = \frac{N_s - N_m}{N_s}$$

La frecuencia del rotor puede expresarse como:

$$f_r = S f_e$$

En donde:

f_r = Frecuencia del rotor en Hz

S = Deslizamiento.

f_e = Frecuencia del estator en Hz

Estos conceptos básicos nos ayudarán a entender el cálculo del banco de resistencia del motor de rotor bobinado.

6.6 ANALISIS DE LOS MOTORES DE ROTOR BOBINADO:

Estos motores se analizan por tres métodos:

1. DIAGRAMA CIRCULAR.
2. CIRCUITO EQUIVALENTE.
3. MAQUINA GENERALIZADA CON CIRCUITO ACOPLADO.

Los dos primeros métodos se aplican para condiciones de estado estable y el tercero se utiliza para condiciones de transitorio.

El DIAGRAMA CIRCULAR , resulta conveniente para visualizar el comportamiento global , pero es inexacto para los cálculos detallados y el diseño. Por eso el método del CIRCUITO EQUIVALENTE, predomina para el análisis y diseño de estado estable , Las impedancias se pueden ajustar para adecuarse a las condiciones , en cada punto de cálculo.

6.7 CIRCUITO EQUIVALENTE:

Las ventajas de este circuito sobre el método del diagrama circular es que facilita la obtención de fórmulas relativamente sencillas, gráficas ó programas de computadora para calcular los torques, factor de potencia y otras características del motor.

6.7.1 DEDUCCION DEL CIRCUITO EQUIVALENTE:

Para deducir el circuito equivalente, consideramos que el estator del motor, está conectado a una red cuya tensión y frecuencia son constantes y de tipo trifásico.

1. PRIMER CASO: CUANDO EL DEVANADO ROTORICO ESTA ABIERTO Y EL ROTOR ESTA INMOVIL O BLOQUEADO.

En este caso el motor de rotor bobinado, se comporta similar a un transformador en vacío. El primario es el estator de la máquina y el secundario es el rotor fijo. En la figura 6.8 se muestra este caso:

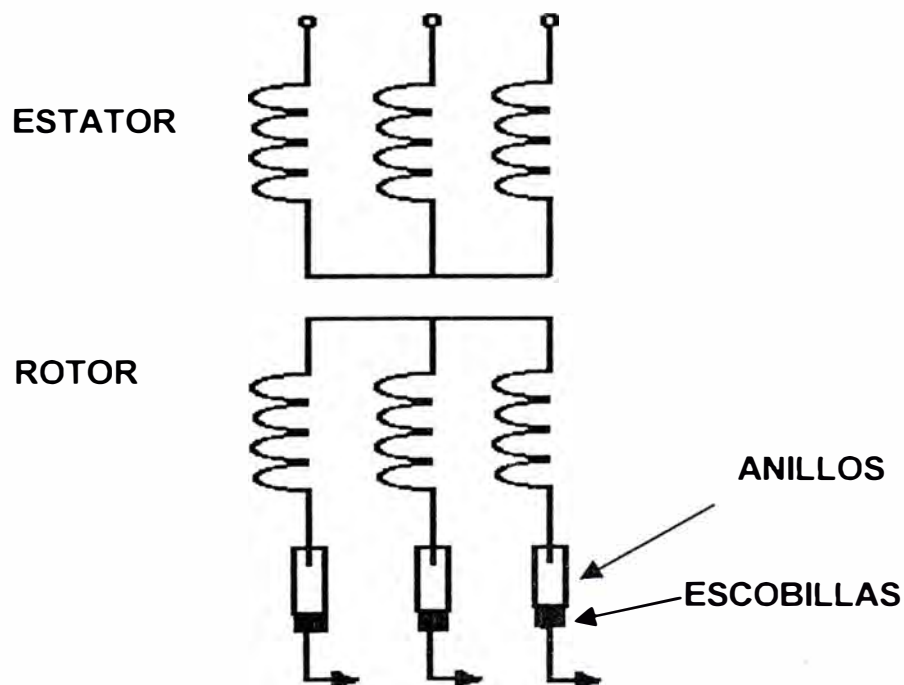


Figura Nro 6.8 : Esquema de circuito con rotor abierto y bloqueado

Todos los valores que pertenecen al estator, serán denominados primarios y serán denotados por el subíndice "1" y todos los valores que pertenecen al rotor serán denominados secundarios y denotados por el subíndice "2".

Bajo la acción de la tensión V_1 , circula una corriente I_0 , por el devanado del estator. La fuerza magnetomotriz, creada por esta corriente, origina un flujo, parte del cual Φ_m , enlaza a los devanados del rotor y estator de la máquina, mientras que la otra parte Φ_{d1} , enlaza solamente al devanado del estator. Ver figura 6.9.

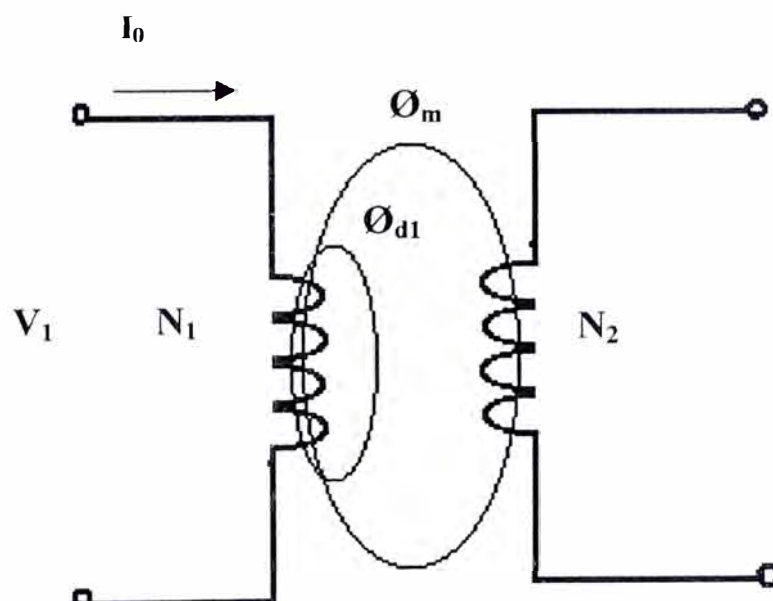


Figura Nro 6.9 : Flujo del estator con circuito de rotor abierto, representación por fase.

El primer flujo Φ_m , es el FLUJO PRINCIPAL y el segundo es el FLUJO DE DISPERSION. En la figura 6.9, se muestra

también el número de vueltas del estator N_1 y el número de vueltas del rotor N_2 .

El flujo principal crea las Fuerzas Electromotrices E_1 y E_2 , en los devanados del estator y del rotor, los cuales están determinados por las siguientes fórmulas:

$$E_1 = 4.44 f_e N_1 \Phi_m$$

$$E_2 = 4.44 f_e N_2 \Phi_m$$

Donde:

f_e = Frecuencia del estator ó síncrona.

N_1 = Número de vueltas efectivas del estator.

N_2 = Número de vueltas efectivas del rotor.

Cabe mencionar que como el rotor está inmóvil su frecuencia es igual a la del estator .

El flujo de dispersión Φ_{d1} , crea en el devanado del estator una fuerza electromotriz de dispersión igual a:

$$\bar{E}_{d1} = j I_0 x_1$$

Donde:

x_1 = Reactancia de dispersión del devanado del estator.

I_0 = Corriente en vacío.

j = desfasaje en cuadratura de la tensión.

Por otro lado, la resistencia activa r_1 del estator, produce una caída de tensión dado por:

$$\bar{E}_{r1} = \bar{I}_0 r_1$$

Teniendo en cuenta que la caída de tensión de dispersión E_{d1} y la caída de tensión por resistencia E_{r1} , son componentes de la tensión V_1 , podemos escribir la siguiente ecuación:

$$\bar{V}_1 = \bar{E}_1 + r_1 \bar{I}_0 + jx_1 \bar{I}_0$$

$$\text{o} \quad \bar{V}_1 = \bar{E}_1 + (r_1 + jx_1) \bar{I}_0$$

De la ecuación anterior graficamos el circuito representativo por fase, que se muestra en la figura 6.10.

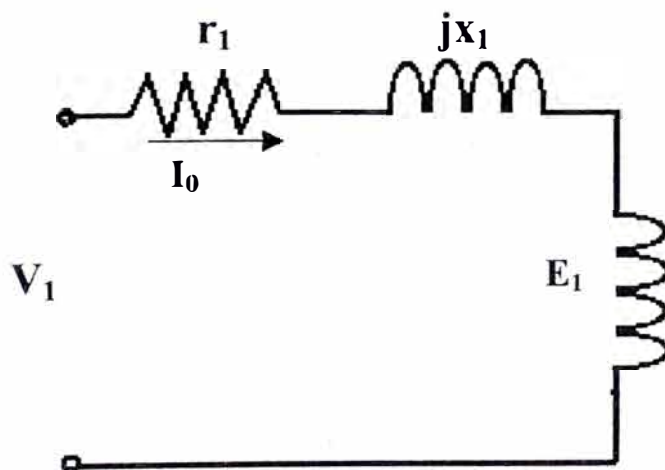


Figura Nro 6.10 : Circuito de funcionamiento con rotor abierto sin cuantificar las pérdidas en el núcleo

Con la finalidad de cuantificar las pérdidas núcleo, el esquema será, tal como la figura 6.11.

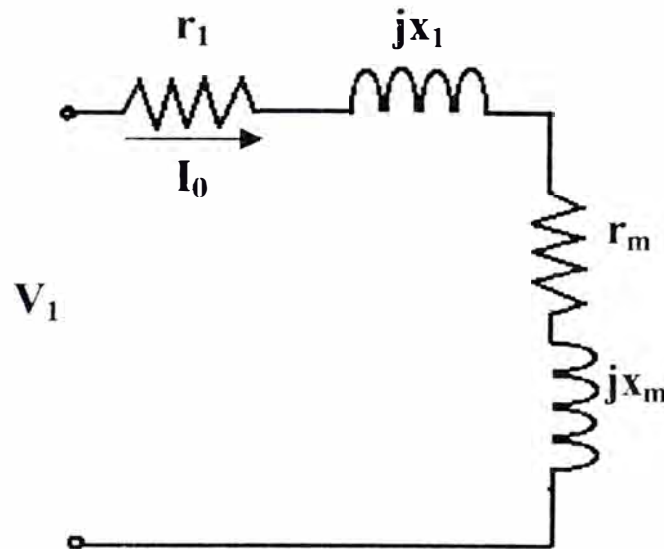


Figura Nro 6.11 : Circuito de funcionamiento con rotor abierto, cuantificando las pérdidas en el núcleo

COMPARATIVO CON UN TRANSFORMADOR:

1. El motor de rotor bobinado tiene un entrehierro, relativamente grande, debido a lo cual la corriente en vacío suele ascender al 20% ó 50% de la corriente nominal, este valor es mucho mayor que la corriente en vacío del transformador el cual llega del 3% al 10% de la corriente nominal
2. La caída de tensión en el devanado del estator de la máquina en vacío, constituye del 2 al 5% de la tensión nominal de la máquina, mientras que en los transformadores no excede generalmente de 0.1 al 0.4% de la tensión.

3. En el motor de rotor bobinado la onda de la corriente en vacío es aproximadamente una onda SINUSOIDAL, ya que en presencia de un entrehierro relativamente grande el tercer armónico de la corriente es mínimo. En cambio en los transformadores la onda es deformada.

□ **FACTOR DE TRANSFORMACIÓN DE LA FUERZA ELECTROMOTRIZ:**

Es la relación representado por:

$$a = \frac{E_1}{E_2}$$

Como :

$$E_1 = 4.44 f_e N_1 \Phi_m$$

$$E_2 = 4.44 f_e N_2 \Phi_m.$$

Entonces se puede expresar por:

$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

POTENCIA ABSORBIDA_(P_o)

Las Potencias de pérdidas que se presentan son :

- Pérdida en el cobre del estator, dado por:

$$P_e = r_1 (I_0)^2$$

- Pérdidas en el núcleo del estator y rotor:

Pérdidas en el estator : P_s

Pérdidas en el rotor : P_r

Por lo tanto la potencia absorbida será:

$$P_o = P_e + P_s + P_r.$$

Donde:

P_e : Pérdidas en el bobinado del estator

P_s : Pérdidas en el núcleo del estator

P_r : Pérdidas en el núcleo del rotor.

2.- SEGUNDO CASO: CUANDO EL DEVANDO ROTÓRICO ESTÁ CERRADO O CORTOCIRCUITADO Y EL ROTOR ESTÁ BLOQUEADO:

El fenómeno físico es similar al cortocircuito de un transformador, pero hay algunas diferencias que resultan de las características particulares de la construcción de los motores de rotor bobinado.

En las condiciones del rotor en cortocircuito las corrientes del estator y rotor NO deben exceder de sus valores nominales, por este motivo la tensión en los bornes del estator debe reducirse a un valor V_{cc} (Tensión de cortocircuito), aproximadamente al 15 ó 25 % de la tensión nominal V_1 .

RELACIÓN DE CORRIENTE DEL ESTATOR Y ROTOR:

En la figura 6.12, se detalla las corrientes del estator y rotor:

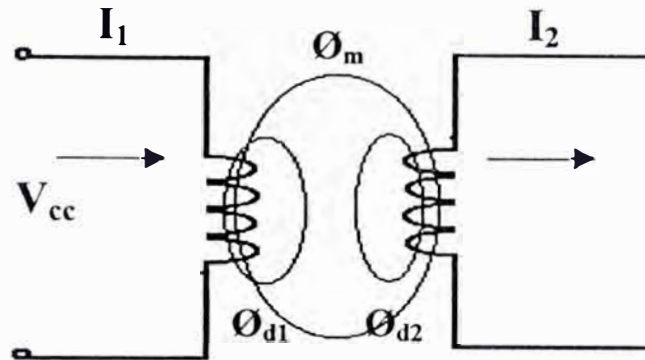


Figura Nro 6.12: Flujos del estator con rotor en cortocircuito

La corriente del rotor I_2 , se refleja al lado del estator, lo cual nos da la corriente I_2' , donde:

$$I_2' = \frac{I_2}{a}$$

Donde :

$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

De acuerdo al circuito se puede definir la ecuación siguiente:

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_m + \bar{I}_2'$$

Donde :

\bar{I}_m = es la corriente magnetizante.

Como la tensión aplicada V_{cc} , es pequeña, el flujo \emptyset_m , también es pequeño, Por lo tanto las pérdidas en el fierro son despreciables, de esta forma la corriente magnetizante I_m es Cero.

Entonces :

$$\bar{I}_1 = \bar{I}'_2$$

El circuito representativo, se presenta en la figura 6.13.

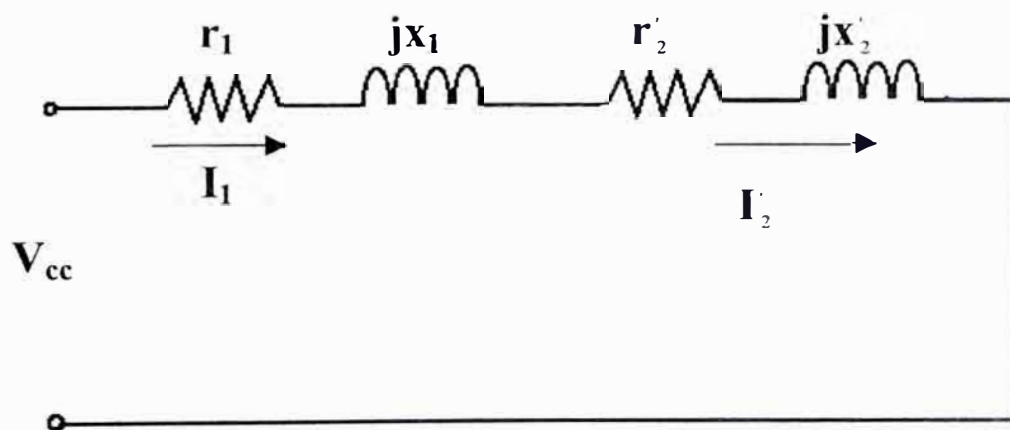


Figura Nro 6.13 : Circuito de funcionamiento con rotor bloqueado

Donde:

$r'_2 = a^2 r_2$: Resistencia del rotor reflejada al estator

$x'_2 = a^2 x_2$: Reactancia del Rotor reflejado al Estator

$\bar{I}'_2 = \frac{I_2}{a}$: Corriente del Rotor reflejado al Estator.

De acuerdo a la figura Nro. 6.13, se puede definir:

$$r_{cc} = r_1 + r_2' = \text{resistencia de corto circuito}$$

$$x_{cc} = x_1 + x_2' = \text{reactancia de corto circuito}$$

$$Z_{cc} = r_{cc} + jx_{cc} : \text{Impedancias de corto circuito}$$

POTENCIA ABSORBIDA (P_{cc})

Las potencias de pérdidas que se presentan, son:

- Las pérdidas en el bobinado, que está dado por:

$$r_{cc} (I_1)^2$$

- Las pérdidas en el hierro son despreciables, ya que como se ha mencionado al ser el flujo y la inducción muy pequeños, estas pérdidas son insignificantes, por lo tanto:

$$P_{cc} = r_{cc} (I_1)^2$$

Donde :

r_{cc} : resistencia de corto circuito

3.- TERCER CASO :CUANDO EL DEVANADO ROTORICO ESTA CERRADO Y EL ROTOR ESTA GIRANDO CON UNA VELOCIDAD $N_m < N_s$:

- **ECUACION DE LA FUERZA ELÉCTROMOTRIZ EN EL ESTATOR :**

La ecuación del estator es similar al circuito abierto:

$$\bar{V}_1 = \bar{E}_1 + (r_1 + jx_1)\bar{I}_1$$

□ **FRECUENCIA DEL ROTOR : (f_r)**

Como se ha visto en el punto 5.5, la frecuencia del rotor, es :

$$f_r = S f_e$$

Donde :

S : deslizamiento

f_e : frecuencia del estator.

f_r : frecuencia del rotor.

□ **FUERZA ELECTROMOTRIZ DEL ROTOR EN MOVIMIENTO (E_{2s}) :**

De acuerdo a la fórmula de la fuerza electromotriz obtendremos:

$$E_{2s} = 4.44 f_r N_2 \Phi_m.$$

Reemplazando: $f_r = S f_e$ en la ecuación:

$$E_{2s} = S (4.44 f_e N_2 \Phi_m)$$

Se obtiene:

$$E_{2s} = S E_2$$

□ **IMPEDANCIA ROTORICA (Z_{2s}) DEL ROTOR EN MOVIMIENTO:**

Para cualquier deslizamiento del rotor, la Impedancia, es:

$$Z_{2s} = r_{2s} + jX_{2s}$$

Donde :

$r_{2s} = r_2$: Esto debido a que se desprecia el efecto SKIN

(Variación de la resistencia con la frecuencia)

$$\bar{x}_{2s} = S\bar{x}_2$$

Por lo tanto :

$$\bar{Z}_{2s} = r_2 + jSx_2$$

□ **ECUACION DE LA FUERZA ELECTROMOTRIZ DEL ROTOR EN MOVIMIENTO A “ f_r ” (E_{2s})**

En el rotor existe la siguiente relación :

$$\bar{E}_{2s} = (r_{2s} + jx_{2s}) \bar{I}_2$$

Donde :

\bar{I}_2 = Es la corriente que recorre los conductores del rotor en movimiento.

Esto es :

$$\bar{I}_2 = \frac{\bar{E}_{2s}}{r_{2s} + jx_{2s}}$$

Reemplazando :

$$\bar{I}_2 = \frac{S(\bar{E}_2)}{r_2 + jSx_2}$$

Las ecuaciones anteriores, pueden ser simulados con el circuito, de la Figura 6.14:

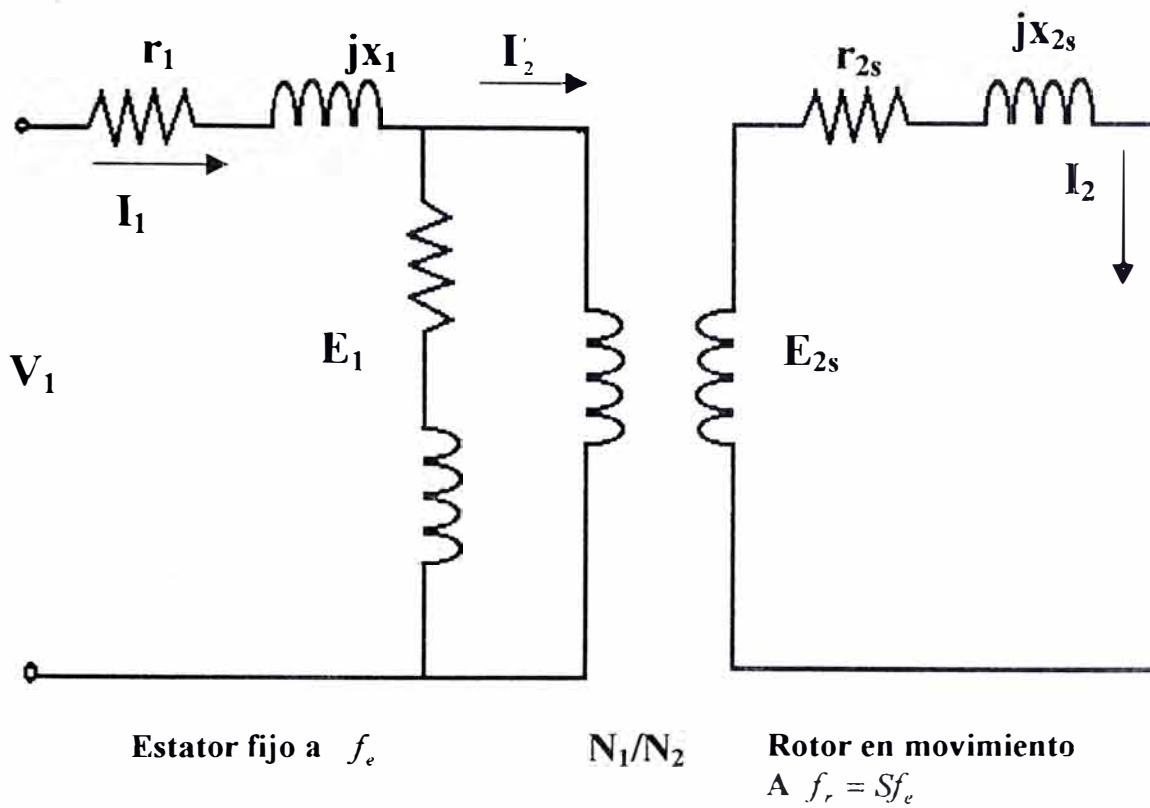


Figura Nro 6.14 : Circuito de funcionamiento con el rotor en movimiento

Analizando el rotor, podemos escribir la siguiente ecuación :

$$\bar{I}_2 = \frac{(\bar{E}_{2s})}{r_{2s} + jx_{2s}}$$

o

$$\bar{I}_2 = \frac{S(\bar{E}_2)}{r_2 + jSx_2}$$

ó También :

$$\bar{I}_2 = \frac{(\bar{E}_2)}{\frac{r_2}{S} + jx_2}$$

Si reflejamos esta corriente al estator, a la frecuencia f_e ,

tendremos :

$$\bar{I}_2 = \frac{E'_2}{\frac{r'_2}{S} + jx'_2}$$

o

$$\bar{I}_2 = \frac{E'_2}{r'_2 + jx'_2 + r'_2 \left(\frac{1-S}{S} \right)}$$

Finalmente el esquema representativo del circuito equivalente por fase es :

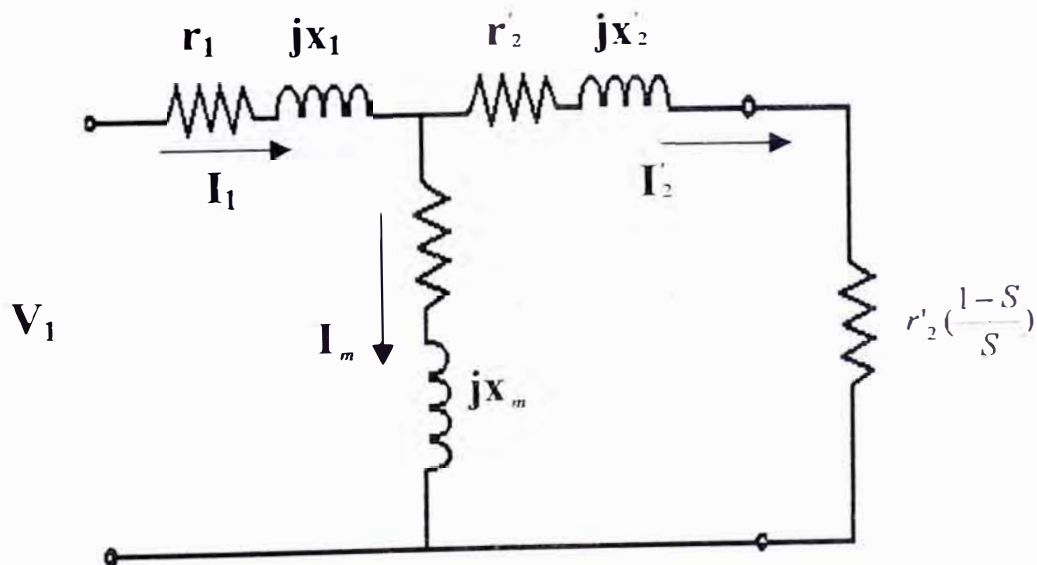


Figura Nro 6.15 : Circuito equivalente exacto del Motor de Rotor Bobinado por fase.

Donde :

r_1 = Resistencia del estator por fase en ohms.

X_1 = Reactancia de dispersión del estator por fase en ohms .

r_m = Resistencia que cuantifica las pérdidas en el fierro en ohms.

X_m = Reactancia de magnetización en ohms.

r_2' = Resistencia del rotor por fase , referido al estator en ohms .

X_2' = Reactancia de dispersión del rotor referido al estator en ohms.

S = Deslizamiento.

6.8 DIAGRAMA DEL FLUJO DE ENERGIA:

El problema principal en el funcionamiento de un motor de rotor bobinado, como en todos los motores , es la conversión de la energía eléctrica consumida del circuito, en energía mecánica. La transferencia de energía a través del entrehierro, está relacionada con las fuerzas de origen electromagnético desarrollado en el rotor y la creación de un torque en la máquina. Esta conversión de energía va acompañada inevitablemente de pérdidas en la diversas partes de la máquina , por este motivo hemos creído conveniente realizar el DIAGRAMA DE FLUJO DE ENERGÍA , con la finalidad de obtener la equivalencia entre el TORQUE ELÉCTRICO y el TORQUE MECÁNICO, existente en el MOTOR DE ROTOR BOBINADO.

En estos motores , se presentan pérdidas similares que en otras máquinas eléctricas , de las cuales podemos mencionar las siguientes:

- Pérdidas en los bobinados.
- Pérdidas en el núcleo.
- Pérdidas mecánicas.
- Pérdidas adicionales.

Si la potencia eléctrica entregada al motor es :

$$P_{ent.} = 3V_1 I_1 \cos \varnothing_1$$

Parte de esta potencia se gasta, en las pérdidas en el bobinado del estator, el cual viene representado por:

$$P_{cob1} = 3r_1 (I_1)^2$$

Haciendo ésta diferencia la potencia restante es convertido en flujo giratorio, después de esto sin embargo aparecen otras pérdidas como son las pérdidas en el núcleo, que viene expresado por:

$$P_n = 3 r_m (I'_m)^2$$

Luego de restar ésta potencia , Nos queda la POTENCIA ELECTROMAGNETICA, la cual es transferida a través del entrehierro al rotor. Por lo tanto ésta potencia vendría a expresarse como:

$$P_{em} = 3V_1 I_1 \cos \varnothing_1 - 3 r_1 I_1^2 - 3 r_m I_m^2$$

Donde:

$$P_{em} = \text{Potencia electromagnética.}$$

Cabe anotar que si el rotor no tiene pérdidas, éste sería la potencia mecánica en el eje, pero cuando circula corriente por el devanado del rotor, se producen pérdidas en los conductores de cobre, que estará dado por:

$$P_{cob2} = 3r_2' (I_2')^2$$

Por lo tanto la potencia mecánica total desarrollada por el motor en el eje es :

$$P_{mec} = P_{em} - P_{cob2}$$

La potencia mecánica en el eje, es menor que la potencia mecánica disminuida en la pérdidas mecánicas y adicionales ó en conjunto llamadas perdidas rotacionales (ΔP_{rot}). Por lo tanto la potencia mecánica en el eje (P_m), es:

$$P_m = P_{mec} - \Delta P_{rot}.$$

En la figura 6.16, se presente el diagrama de flujo.

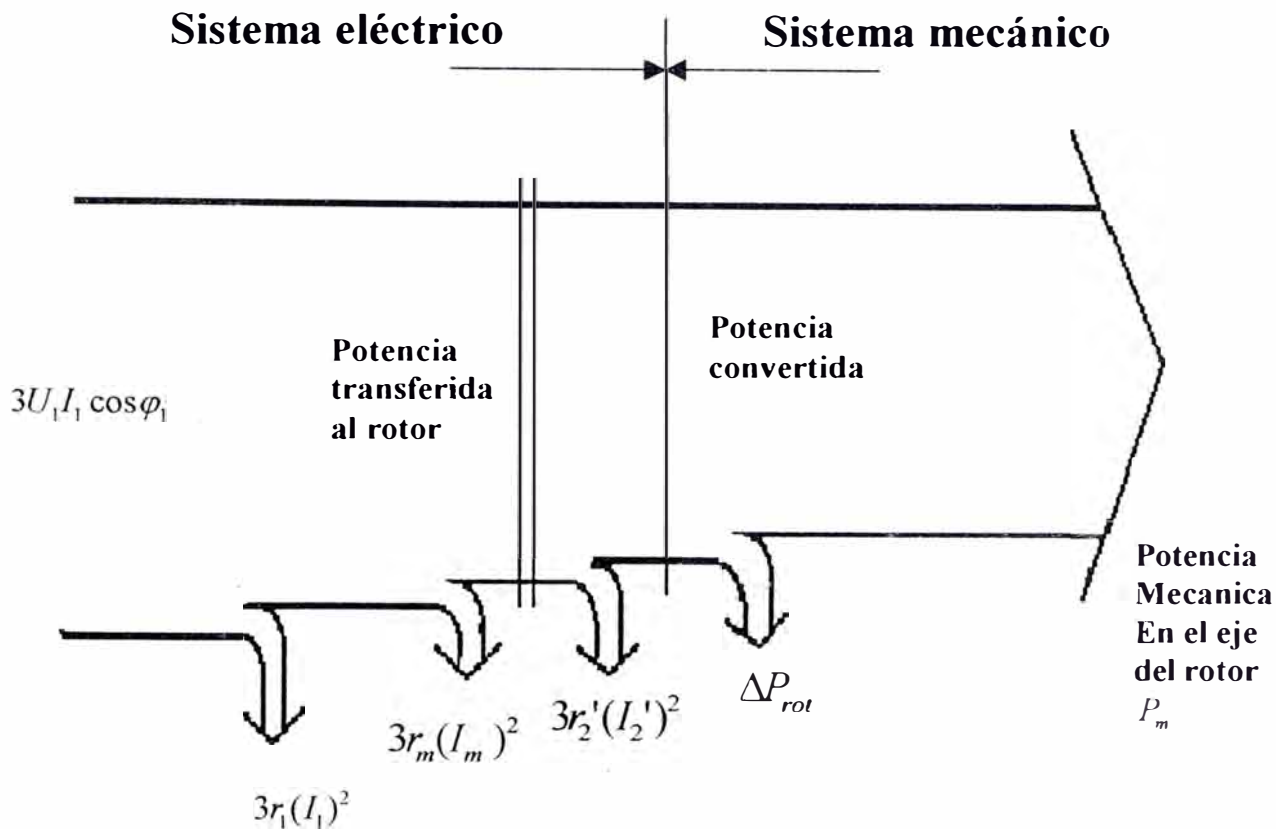


Figura Nro 6.16: Diagrama de flujo

6.9 CIRCUITO EQUIVALENTE CON LA RAMA MAGNETIZANTE UNIDO A LOS TERMINALES DE ALIMENTACION:

El circuito equivalente "T", descrito anteriormente, no resulta cómodo para el estudio del proceso que tiene lugar en el motor de rotor bobinado, debido a que cuando la carga disminuye la fuerza electromotriz E_1 y el flujo de inducción mutua, experimentan una variación por el efecto de la caída de tensión:

$$I_1 (r_1 + jx_1)$$

Por esto es mas cómodo utilizar el circuito equivalente en donde el circuito de la rama magnetizante esta unido a los bornes de alimentación y por consiguiente durante la variación de la carga y el deslizamiento, la corriente existente en él permanece constante.

El nuevo circuito es llamado circuito "L" invertida, y será esquematizado de la siguiente forma :

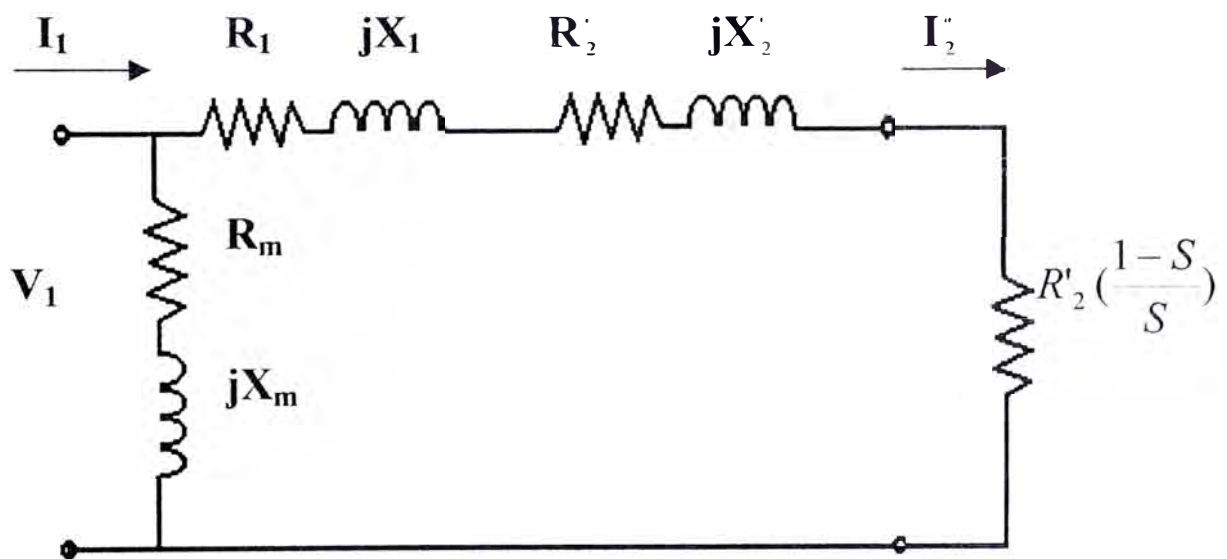


Figura Nro 6.17: Circuito equivalente tipo "L" invertida

Donde :

$$R_1 = C r_1$$

$$X_1 = C x_1$$

$$R_m = C r_m$$

$$X_m = C x_m$$

$$R'_2 = C^2 r'_2$$

$$X'_2 = C^2 x'_2$$

En el cual "C" es el factor de corrección del circuito "T" al circuito "L" INVERTIDA, é igual a :

$$C = 1 + \frac{X_1}{X_m}$$

En la práctica se considera :

$$C = 1.04 \text{ a } 1.08$$

6.10 TORQUE ELECTROMAGNETICO:

De acuerdo a la figura del flujo de energía y el circuito tipo "L" INVERTIDA, podemos definir; Los torques existentes desde el punto de vista eléctrico y mecánico :

1.- POTENCIA CONVERTIDA DESDE EL LADO ELECTRICO:

$$3 R_2' \left(\frac{1-S}{S} \right) (I_2'')^2$$

Pero :

$$I_2'' = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2}}$$

Por lo tanto :

$$(I_2'')^2 = \frac{V_1^2}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}$$

Finalmente :

La Potencia convertida desde el lado eléctrico es :

$$3R_2' \left(\frac{1-S}{S}\right) \left(\frac{V_1^2}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2} \right)$$

2.- POTENCIA CONVERTIDA DESDE EL LADO MECANICO:

La fórmula de la potencia mecánica está dado por:

$$T_e \cdot N_m$$

Donde :

N_m = Velocidad Mecánica del eje del motor

T_e = Torque del motor.

Igualando ambas expresiones del punto 1 y 2 , encontramos :

$$T_e N_m = 3R_2' \left(\frac{1-S}{S} \right) \left(\frac{V_1^2}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2} \right)$$

$$T_e = \frac{3R_2'}{N_m} \left(\frac{1-S}{S} \right) \left(\frac{V_1^2}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2} \right)$$

De acuerdo a las relaciones:

$$N_m = (1 - S) N_s$$

Y también :

$$N_s = \frac{2\pi f_e}{\left(\frac{P}{2} \right)}$$

Donde :

f_e = Frecuencia del circuito de suministro ó frecuencia del estator

Se concluye que el torque electromagnético es:

$$T_e = 3 \left(\frac{P}{2} \right) \left(\frac{V_1^2}{2\pi f_e} \right) \left(\frac{\left(\frac{R_2'}{S} \right)}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2} \right)$$

Donde:

P = cantidad de polos de la máquina.

T_e = torque electromagnético cuyas unidades son N-m
(newton por metro).

De la fórmula del torque electromagnético podemos observar:

- El torque electromagnético es proporcional al cuadrado de la tensión de alimentación del motor eléctrico.
- Si el parámetro $\left(\frac{R_2'}{S}\right)$, es constante el torque electromagnético, también será constante.
- Todos los valores de la fórmula son constantes, menos el deslizamiento.

□ **CURVA TORQUE VS VELOCIDAD:**

La ecuación del torque Electromagnético puede ser graficada de acuerdo a la figura 6.18.

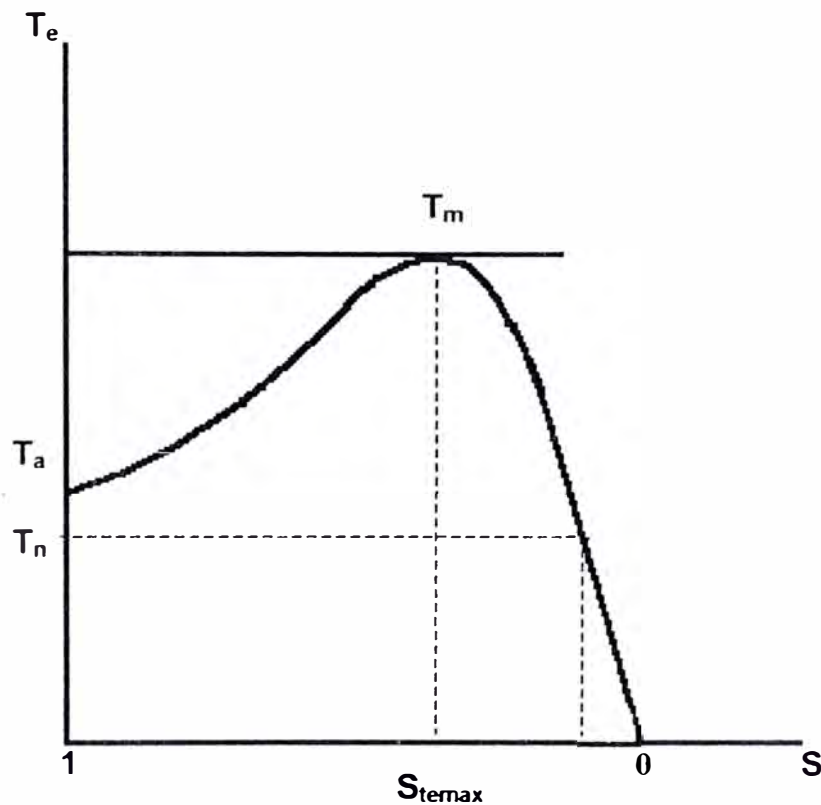


Figura Nro 6.18 : Curva del Torque electromagnético :

En el cual se pueden definir:

T_a = Torque de Arranque (el deslizamiento es $S = 1$).

T_m = Torque Máximo (el deslizamiento es S_{stemax}).

T_n = Torque Nominal (el deslizamiento es S_n).

A continuación hallaremos las fórmulas para calcular, el torque de arranque , el torque máximo y el deslizamiento para el torque máximo.

1. TORQUE DE ARRANQUE:

De acuerdo a la figura el torque de arranque, se produce cuando el deslizamiento es igual a 1.

Entonces reemplazando en la fórmula del torque electromagnético obtenemos:

$$T_a = 3 \left(\frac{P}{2} \right) \left(\frac{V_1^2}{2\pi f_e} \right) \left(\frac{R_2'}{(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2} \right)$$

2. TORQUE MAXIMO:

Para hallar el torque máximo se toma la derivada de la fórmula del torque electromagnético, encontrándose que, el torque máximo se produce a un deslizamiento :

$$S_{\text{emax}} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}$$

Por lo tanto el torque máximo será:

$$T_{e\text{max}} = 3 \left(\frac{P}{2} \right) \left(\frac{V_1^2}{2\pi f_e} \right) \left(\frac{1}{R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} \right)$$

OBSERVACIONES:

- El deslizamiento para el torque máximo S_{temax} puede ser variado, aumentando la resistencia rotórica R'_2 y por lo tanto aumentará el deslizamiento, inclusive hasta $S=1$, en el momento de arranque.

- Para el aumento de la resistencia R'_2 del motor de rotor bobinado se adiciona resistencias externas con la finalidad de obtener el torque máximo durante el arranque.

- Con este procedimiento la corriente de arranque disminuye y se puede graduar la velocidad del motor desde el arranque hasta su velocidad nominal.

6.11 ARRANQUE DE LOS MOTORES DE ROTOR BOBINADO:

El arranque de los motores de rotor bobinado se realizan insertando RESISTENCIAS ADICIONALES en el circuito del rotor. con lo cual se consigue reducir la corriente de arranque y obtener torques de arranque por encima del nominal. Por este motivo daremos un alcance de la relación que existe entre la RESISTENCIA ACTIVA del rotor y el torque generado.

6.11.1 EFFECTO DEL CAMBIO DE LA RESISTENCIA DEL ROTOR EN EL TORQUE:

Se ha visto anteriormente, que el TORQUE MÁXIMO, no depende de la resistencia del circuito del rotor R_2' , de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$T_{e_{\max}} = 3 \left(\frac{P}{2} \right) \left(\frac{V_1^2}{2\pi f_e} \right) \left(\frac{1}{R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} \right)$$

Este torque será el máximo que puede obtenerse del motor. Sin embargo de acuerdo a la fórmula del deslizamiento para el torque máximo, dado por:

$$S_{\text{temax}} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}$$

Se puede apreciar que, aumentando la resistencia rotórica R_2' , también el deslizamiento aumentará.

Veamos en la figura 6.19, el aumento de R_2' , agregando las resistencias adicionales R_{ad1} y R_{adx} .

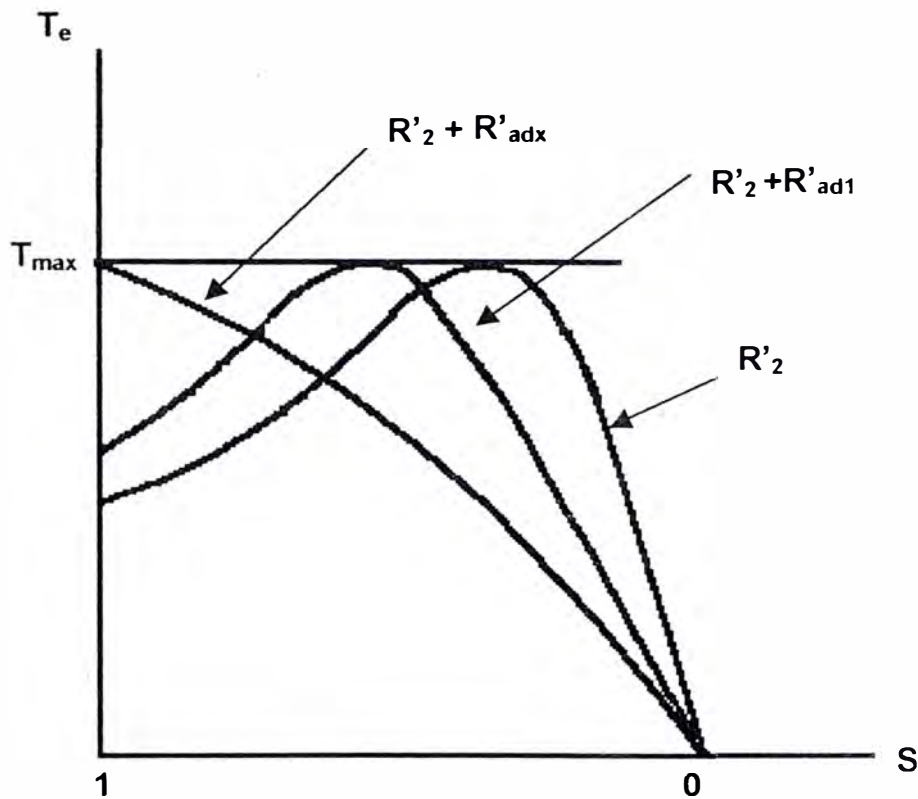


Figura Nro. 6.19: Variación de la curva del torque con el cambio de la resistencia del rotor.

De esto se deduce que si introducimos, una resistencia adicional, real " r_{adx} " en el circuito del rotor, el cual reflejado al estator y en circuito "L" invertida es R'_{adx} , de tal forma que :

$$S_{temax} = \frac{R'_2 + R'_{adx}}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} = 1$$

El torque de arranque alcanzará su máximo valor posible y será igual al torque máximo. Por lo tanto podemos calcular la resistencia adicional de la siguiente forma:

$$R'_{adx} = \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2} - R_2'$$

Pero como R'_{adx} , está reflejada del rotor al estator y en circuito "L" invertida, la resistencia real será:

$$r_{adx} = \frac{R'_{adx}}{a^2 c^2}$$

Donde : a = relación de vueltas del estator al rotor.

c = Factor de conversión del circuito "T" al "L" invertida

CORRIENTE DE ARRANQUE:

Con la inserción de las resistencias adicionales, la corriente de arranque disminuye tal como se muestra en la figura 6.20.

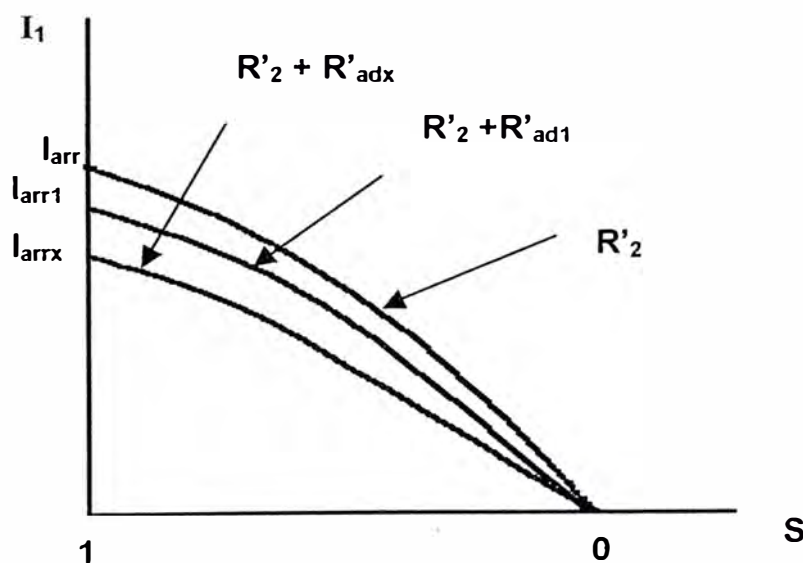


Figura Nro. 6.20: Variación de la corriente de arranque

El valor aproximado de la corriente de arranque será:

$$I_{arr} = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + (R'_2 + R'_{ad}))^2 + (X_1 + X'_2)^2}}$$

6.12 CURVAS DEL TORQUE PARA DIFERENTES VALORES DE RESISTENCIAS ROTORICAS:

Estas curvas hacen posible establecer las reglas fundamentales para elegir las resistencias adicionales de arranque de un MOTOR DE ROTOR BOBINADO.

□ RESISTENCIAS ADICIONALES MENORES A R'_{adx} :

De acuerdo a la variación de la resistencia rotórica, las curvas, toman la forma indicada en la figura 6-21.

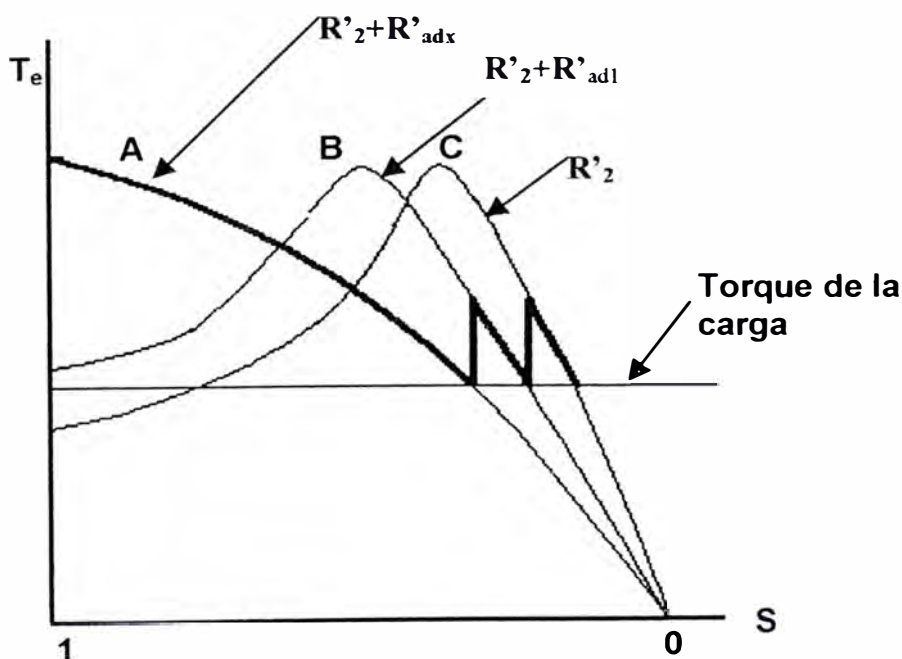


Figura Nro. 6.21: Curvas de torque para resistencias adicionales menores a R'_{adx}

EXPLICACIÓN REFERENTE A LA CURVA:

- Si el torque de la carga aplicado al eje del motor , es mayor que el torque del motor en el arranque ,el motor permanecerá inmóvil evidentemente. Para que el motor desarrolle el máximo torque en el arranque, la resistencia adicional debe ser R'_{adx} , veamos el proceso de arranque con este valor de resistencia.
- Si el torque aplicado al eje es menor que el torque de arranque, el motor comenzará a girar y el torque tomará la forma de acuerdo a la curva "A", de la figura 6-21. El deslizamiento del motor empezará a disminuir y la velocidad aumentará hasta alcanzar el equilibrio entre los torques de carga y de motor.
- Si disminuimos la resistencia nuevamente el motor pasará a las condiciones de la curva "B", en este caso el torque del motor se hace nuevamente mayor que el torque de carga y el motor comienza a acelerarse , hasta alcanzar el equilibrio del par desarrollado y de carga con menor deslizamiento, después de esto podemos disminuir de nuevo la resistencia adicional del reóstato de arranque y aumentar la velocidad.
- La eliminación de resistencias adicionales puede continuarse hasta $R'_{ad} = 0$, después del cual el motor pasa a las condiciones de su curva de torque de FUNCIONAMIENTO LIBRE, de acuerdo a la curva "C", correspondiente al valor de su resistencia activa del rotor.

□ RESISTENCIAS ADICIONALES MAYORES A R'_{adx} :

En este caso los torques de arranque, son menores que el torque máximo para R'_{adx} , se pueden conseguir valores de torque de arranque iguales que con resistencia adicional menores a R'_{adx} , con la gran ventaja de que la corriente de arranque son relativamente reducidas. En la figura 6.22 se muestra diversas curvas de torque y corriente en función del deslizamiento, puede observarse que si la resistencia adicional es mayor que R'_{adx} , el torque de arranque decrecerá, como se muestra en los torques T_d , T_f y también con las corrientes de arranque I_d , I_f .

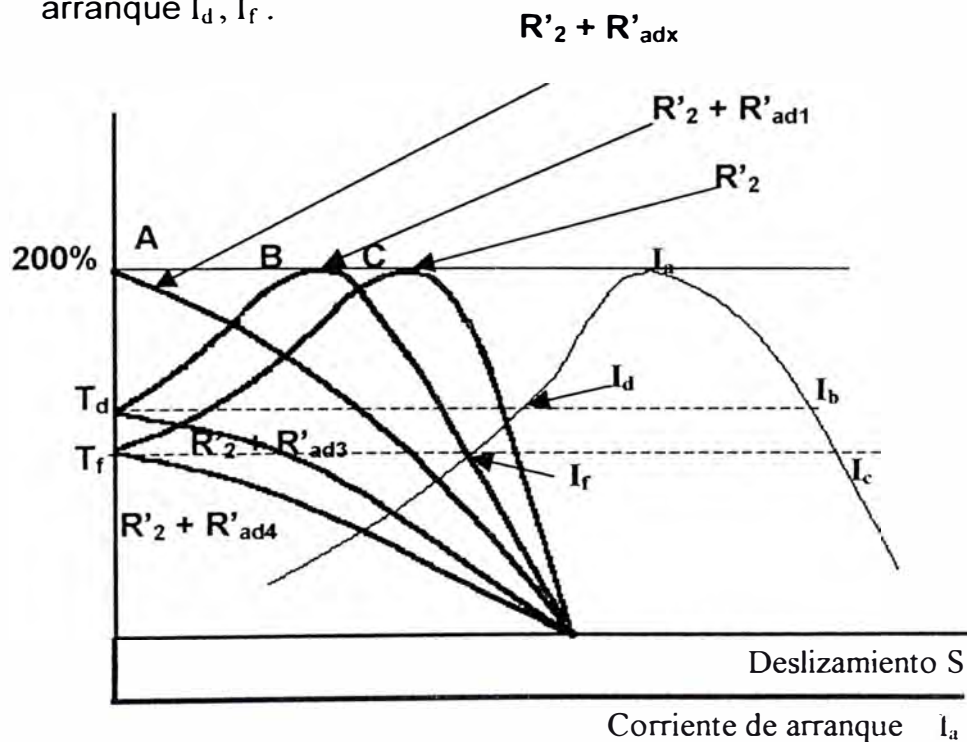


Figura Nro. 6.22: curva de torque para resistencias adicionales mayores a R'_{adx}

Para la mayor parte de aplicaciones, es suficiente un par de arranque que sea 1.2 a 2 veces el torque nominal y no el torque máximo. Con este criterio se logra conseguir que la corriente sea de valor reducido, esto es graficado en la figura 6.23, y se aplicará en nuestro cálculo en el capítulo siguiente.

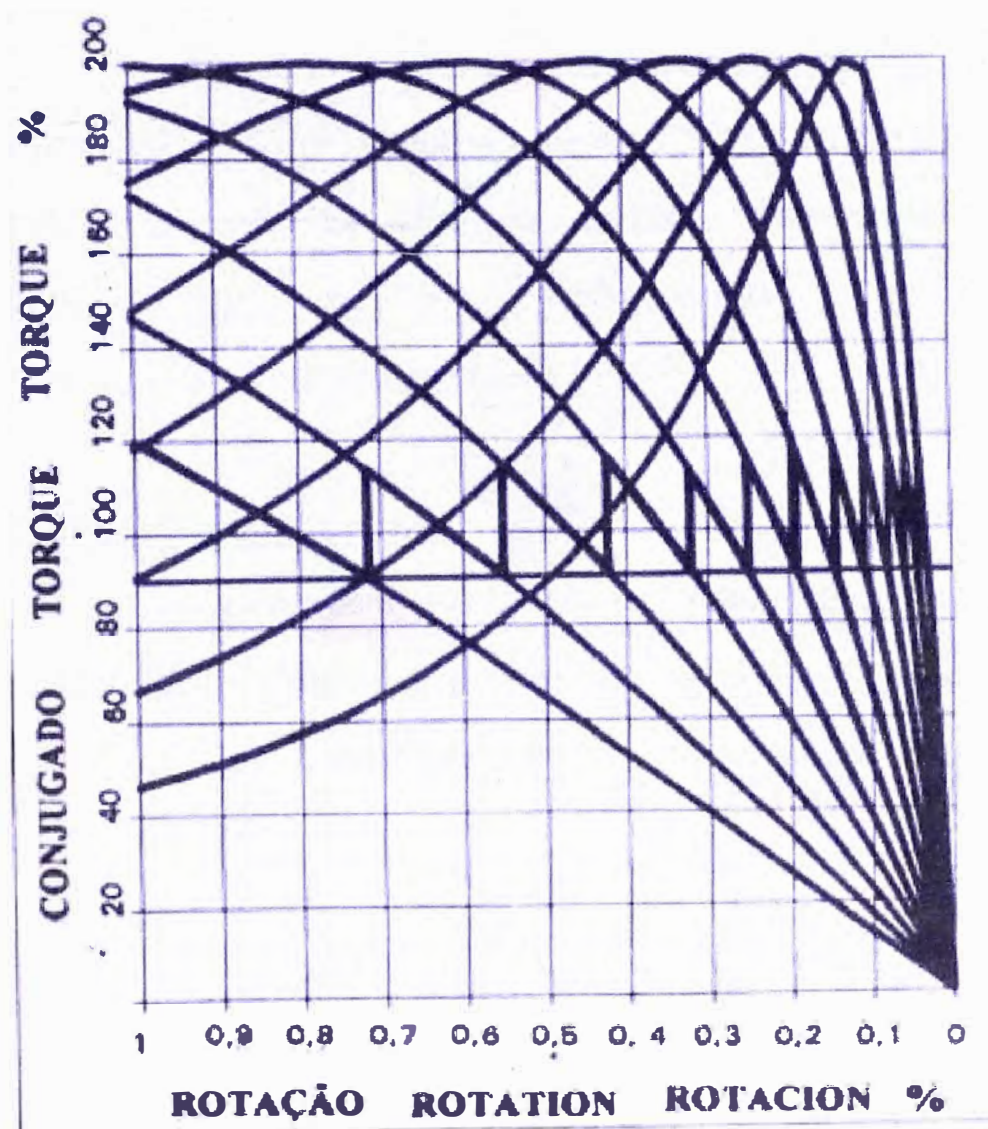


Figura Nro. 6.23 : Curvas de torque usadas normalmente

6.13 DETERMINACION DE LOS PARÁMETROS DEL CIRCUITO

EQUIVALENTE:

Como se ha visto el circuito equivalente de un motor de rotor bobinado es una herramienta muy útil, sin embargo, si un modelo se va a usar en una máquina real, es necesario determinar cual el valor de los elementos que va en el modelo.

Estos se pueden encontrar realizando unos ensayos sobre el motor, que son análogos a los de CORTOCIRCUITO Y VACIO, realizados en un transformador. Las pruebas se deben llevar a cabo en condiciones controladas, con mucha precisión puesto que las resistencias varían con la temperatura.

1. MEDICION DE RESISTENCIAS:

- Se realiza con el método "TENSIÓN DC Y CORRIENTE DC", es decir se aplica la tensión de corriente continua a dos terminales del motor y luego se mide la corriente que circula por el circuito, la resistencia es hallada por la ley de "OHM":

$$\text{Resistencia} = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} \text{ (ohms)}$$

También puede ser medido directamente con un instrumento de precisión digital. Luego se anota la temperatura ambiente.

- El valor encontrado se extrapola a la temperatura nominal de operación del devanado aproximadamente 75°C.

1. PRUEBA DE VACIO:

- Se aplica al motor, sin carga en el eje, la tensión y frecuencia nominales y se mide la potencia de entrada P_o , la corriente I_o y la tensión, Inmediatamente después se mide nuevamente la resistencia.
- La potencia P_o será igual a las pérdidas en el cobre, pérdidas en el fierro y rotacionales e igual a:

$$P_o = 3r_1 I_o^2 + \Delta P_{fe} + \Delta P_{rot}.$$

Donde: r_1 esta a temperatura de la prueba.

El circuito del motor en vacío, suponiendo conexión estrella "Y" es :

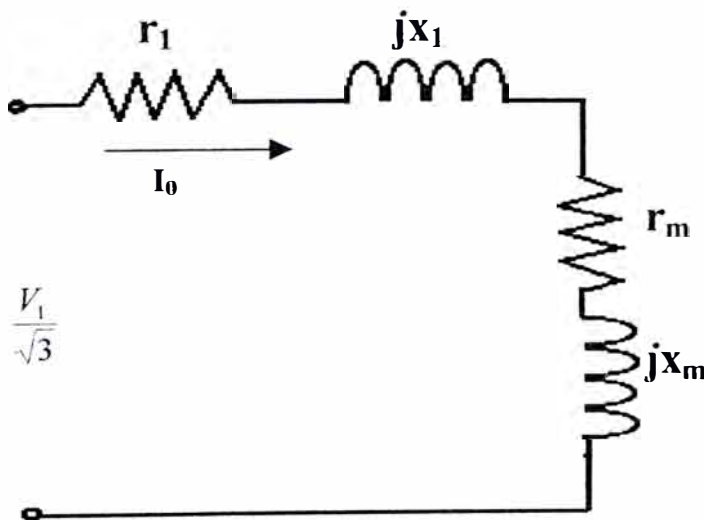


Figura Nro 6.24: Circuito de motor en vacío

Por lo tanto la resistencia r_m , será igual a:

$$r_m = \frac{P_0}{3(I_0)^2} - r_1$$

También:

$$z_0 = \frac{V_1}{\sqrt{3}I_0}$$

y

$$x_1 + x_m = \sqrt{z_0^2 - (r_1 + r_m)^2}$$

Entonces :

$$x_m = \sqrt{z_0^2 - (r_1 + r_m)^2} - x_1$$

x_1 , se obtiene de la prueba a rotor bloqueado.

2. PRUEBA A ROTOR BLOQUEADO:

- Se alimenta al motor con el rotor inmóvil (trabado), de tal forma que circule la corriente NOMINAL I_n y se mide la potencia de cortocircuito P_{cc} .
- La potencia P_{cc} será igual a las pérdidas en el cobre del estator y del rotor y es igual a:

$$P_{cc} = 3(r_1 + r_2) I_{cc}^2$$

El circuito del motor a rotor bloqueado será:

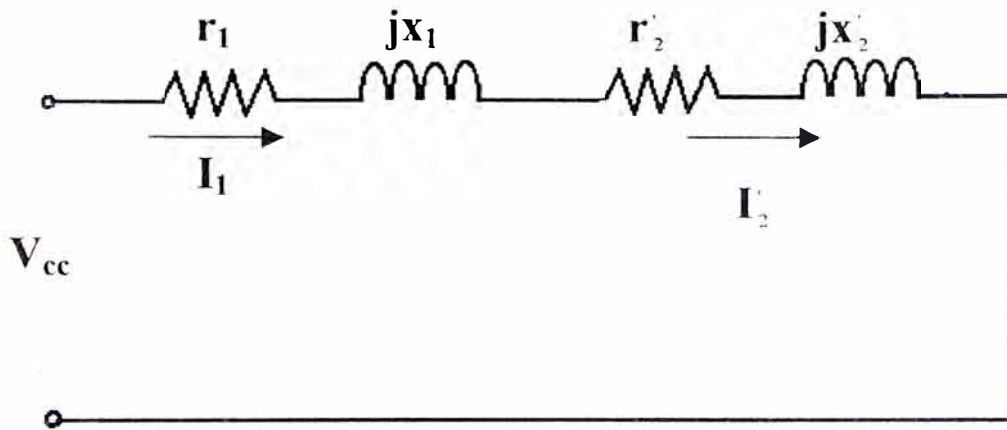


Figura Nro 6.25 : Circuito de motor a rotor bloqueado

Es necesario definir los siguientes parámetros:

r_{cc} = Resistencia a rotor bloqueado ($r_1 + r'_2$).

x_{cc} = Reactancia a rotor bloqueado ($x_1 + x'_2$).

z_{cc} = Impedancia a rotor bloqueado.

P_{cc} = Potencia a rotor bloqueado.

I_{cc} = Corriente a rotor bloqueado igual a corriente nominal (I_n).

V_{cc} = Tensión de corto circuito.

Por lo tanto obtendremos:

$$r'_2 = \frac{P_{cc}}{3(I_{cc})^2} - r_1$$

También la impedancia Z_{cc} será :

$$Z_{cc} = \frac{V_{cc}}{\sqrt{3}I_{cc}}$$

Luego la reactancia de cortocircuito x_{cc} es calculada como:

$$x_{cc} = x_1 + x_2' = \sqrt{Z_{cc}^2 - r_{cc}^2}$$

Finalmente con suficiente aproximación se puede calcular las reactancias x_1 y x_2' como:

Donde: $x_1 = x_2' = \frac{x_{cc}}{2}$ (por ser motor de rotor bobinado)

CAPITULO 7

CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL BANCO DE RESISTENCIAS

En el capítulo anterior se ha expuesto la teoría básica del motor de rotor bobinado. Se pudo apreciar que es posible calcular los valores de resistencias adicionales a ser insertados en el rotor. Estas resistencias deberán ser seleccionadas de tal manera que el torque de arranque debe vencer la carga y la corriente sea de valor reducido que no afecte al sistema de alimentación.

En el capítulo quinto, también se determinó la potencia del motor eléctrico a ser instalada, esta potencia fue calculada en 162 HP. Pero por razones comerciales y proyectándose al futuro de una posible profundización, se procedió a adquirir un motor de 200 HP, cuyas características de placa dados por el fabricante son las siguientes:

Marca	= GEVISA
Modelo	= 5MR82113900601
Serie No	= OMH 282002189
Tipo	= MR
Frame	= 8211S
Nro. De polos	= 12
Potencia	= 200HP
Velocidad	= 590 RPM
Tensión	= 2400/4160 Voltios
Corriente	= 55.5/32 Amperios
Tensión del secundario	= 293 Voltios
Corriente de secundario	= 313 Amperios
Sistema	= Trifásico
Frecuencia	= 60 Hz
Factor de servicio	= 1.15
Eficiencia	= 93.1%
Factor de potencia	= 0.69
Clase de aislamiento	= F
Temperatura rise	= 80 °C
Temperatura ambiente	= 20 °C
Altitud	= 4800 m.s.n.m.
Peso total	= 2200Kg

En el Anexo 4 se presenta la factura comercial de la compra del motor eléctrico



Figura Nro 7.1: Vista de Motor Eléctrico

7.1 PRUEBAS REALIZADAS AL MOTOR ELÉCTRICO PARA DETERMINAR EL CIRCUITO EQUIVALENTE :

En el anexo 5, se adjunta el protocolo de pruebas realizado al motor eléctrico en la fábrica GEVISA, en Brasil.

Los resultados de las pruebas fueron las siguientes:

a. MEDICIÓN DE RESISTENCIAS:

Se midió los valores de resistencias del estator , el cual está conectado en estrella (Y), ver figura 7.2:

Terminales 1-2 = 2.14 ohms

Terminales 2-3 = 2.14 ohms

Terminales 3-1 = 2.14 ohms

Temperatura interna = 29 °C

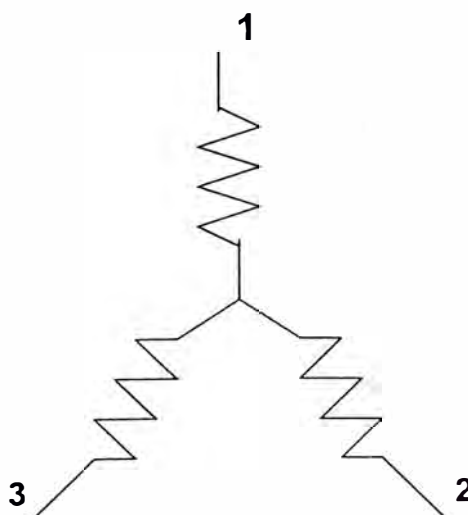


Figura Nro. 7.2 Estator conectado en estrella

b. PRUEBA EN VACÍO:

Para tener mayor exactitud en la prueba, se aplicaron una secuencia de tensiones al motor, conectado en estrella. El conjunto de valores se presenta en el cuadro 7.1:

TENSIÓN DE LINEA (VOLTIOS)	CORRIENTE DE LINEA (AMPERIOS)	PÉRDIDAS (KW)
4130	17.2	6.65
5040	26.0	9.45
4620	22.0	8.12
4200	18.6	7.07
3850	16.4	6.37
3500	14.6	5.74
3150	12.8	4.97
2800	11.2	4.27
2450	9.8	3.71
2100	8.4	3.15
1750	7.0	2.59
1400	5.6	2.38
1050	4.2	1.89
700	2.8	1.68

Cuadro Nro 7.1 : Corriente de excitación y pérdidas de la prueba en vacío

Haciendo la curva la cual se presenta en el anexo 5 se determinó:

Potencia de pérdidas en vacío $P_o = 7050$ Watts

Corriente en vacío $I_o = 18.3$ Amperios

Tensión aplicada $U_o = 4160$ Voltios

c. PRUEBA A ROTOR BLOQUEADO:

Se realizó para la tensión de 2800 voltios, con el estator conectado en estrella (Y) consumiéndose una corriente de 110.4 amperios, luego se interpoló para la corriente nominal de 32 amperios, los resultados se presentan en el cuadro 7.2:

TENSIÓN DE LÍNEA (VOLTIOS)	CORRIENTE DE LÍNEA (AMPERIOS)	PÉRDIDAS (KW)
811.6	32.0	9.73
2800	110.4	115.9

Cuadro Nro 7.2: resultados de la prueba a rotor bloqueado

Potencia de pérdidas a rotor bloqueado $P_{cc} = 9730$ Watts

Corriente de prueba a rotor bloqueado $I_{cc} = 32$ Amperios

Tensión a rotor bloqueado $V_{cc} = 811.6$ Voltios

7.2 DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DEL CIRCUITO

EQUIVALENTE “ T ”:

a. RESISTENCIA POR FASE DEL ESTATOR (r_1):

De la figura 7.2, podemos deducir que la medición de la resistencia por línea, es dos veces la resistencia por fase, por lo tanto:

$$r_{29^{\circ}\text{C}} = 2.14 / 2 \text{ ohm}$$

$$r_{29^{\circ}\text{C}} = 1.07 \text{ ohm}$$

Esta resistencia está medida a una temperatura de 29 °C. Por lo tanto para la temperatura de 75 °C, la resistencia será :

$$r_{75^{\circ}\text{C}} = r_{29^{\circ}\text{C}} (1 + \alpha (75 - 29))$$

donde : α = coeficiente de variación de la resistencia por temperatura.

$$\alpha = \frac{1}{(234.5 + 29)} = 0.003795$$

Se obtiene que la resistencia a 75 °C es : 1.2567 ohm

Por lo tanto: $r_1 = 1.2567 \Omega$ a 75°C

b. DE LA PRUEBA A ROTOR BLOQUEADO:

Calculamos, la resistencia de corto circuito r_{cc} :

$$r_{cc} = \frac{P_{cc}}{3I_{cc}^2}$$

$$r_{cc} = \frac{9730}{3(32)^2} \quad r_{cc} = 3.1673 \Omega$$

Como la resistencia de corto circuito es la suma de $r_{29^\circ C}$ más r'_2 , calculamos r'_2 :

$$r'_2 = r_{cc} - r_{29^\circ C} = 2.0973 \Omega$$

Se considera la resistencia a $29^\circ C$, por ser la temperatura de la prueba

Ahora calcularemos, la impedancia de corto circuito, para luego calcular las reactancias del circuito equivalente:

$$z_{cc} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}}$$

$$z_{cc} = \frac{811.6}{\sqrt{3}(32)} \quad z_{cc} = 1.6426 \Omega$$

La reactancia de corto circuito es:

$$x_{cc} = \sqrt{(z_{cc})^2 - (r_{cc})^2}$$

$$x_{cc} = 14.2932 \Omega$$

Para motores de rotor bobinado, se considera:

$$x_1 = x'_2 = \frac{x_{cc}}{2}$$

$$x_1 = x'_2 = 7.1466 \Omega$$

c. DE LA PRUEBA EN VACIO:

De acuerdo a las fórmulas, de la prueba de vacío, obtendremos:

$$r_{29^{\circ}C} + r_m = \frac{P_o}{3(I_o)^2}$$

$$r_{29^{\circ}C} + r_m = 7.017 \Omega$$

Entonces: $r_m = 5.947 \Omega$

La impedancia en vacío, es igual a :

$$Z_o = \frac{V_1}{\sqrt{3}I_o}$$

$$Z_o = 131.24\Omega$$

Con los valores anteriores calcularemos la reactancia en vacío:

$$x_o = \sqrt{(z_o)^2 + (r_1 + r_m)^2}$$

$$x_o = 131.05 \Omega$$

Por lo tanto:

$$x_m = x_o - x_1$$

$$x_m = 123.9\Omega$$

d. PARAMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE TIPO " T "

Resumiendo, los parámetros del circuito tipo " T " son:

$$r_1 = 1.2567 \, \Omega \text{ a } 75 \, ^\circ\text{C}$$

$$x_1 = 7.1466 \, \Omega$$

$$r_m = 5.9470 \, \Omega$$

$$x_m = 123.9000 \, \Omega$$

$$r'_2 = 2.0973 \, \Omega$$

$$x'_2 = 7.1466 \, \Omega$$

e. PARAMETROS DEL CIRCUITO "L " INVERTIDA:

A partir del circuito equivalente tipo " T ", hallamos el circuito " L " invertida, para este caso calculamos primero el factor de conversión " C " :

$$C = 1 + \frac{x_1}{x_m}$$

$$C = 1.0576$$

Por lo tanto, los parámetros, del circuito " L " invertida son:

$$R_1 = 1.3290 \, \Omega$$

$$X_1 = 7.5582 \, \Omega$$

$$R_m = 6.2895 \, \Omega$$

$$X_m = 131.0366 \, \Omega$$

$$R'_2 = 2.3458 \, \Omega$$

$$X'_2 = 7.9935 \, \Omega$$

El circuito equivalente será:

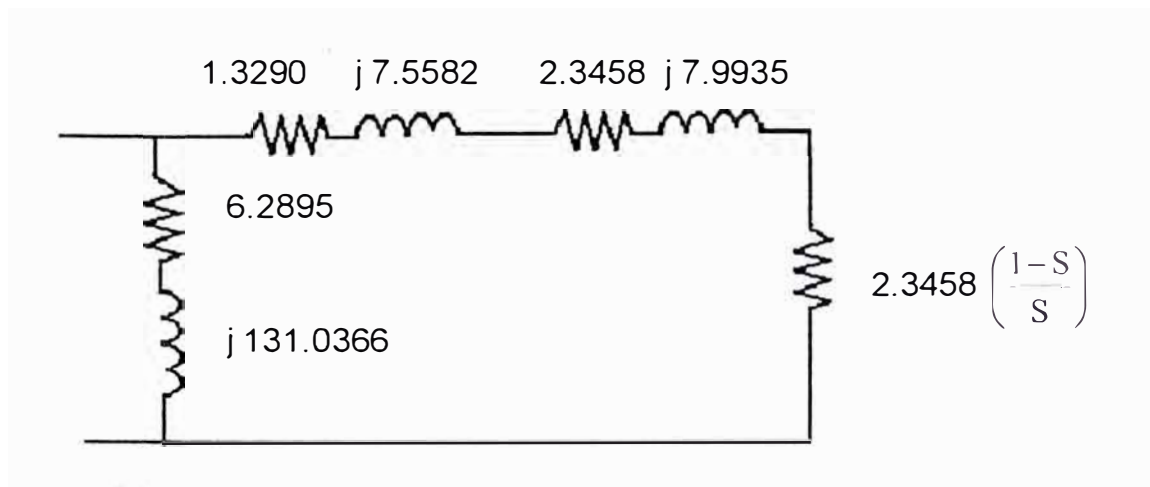


Figura Nro. 7.3 : Circuito Equivalente del Motor de 200 HP

Teniendo el circuito equivalente "L" invertida, procederemos a calcular los valores de resistencias adicionales a ser insertados en el circuito del rotor. Como se mencionó en el objetivo del trabajo, el banco de resistencia actual deberá ser repotenciado, es decir adicionarle resistencias en paralelo con la finalidad de obtener los nuevos valores de resistencias para el motor de 200 HP. A continuación presentaremos el diagrama eléctrico del motor actual de 125 HP, luego se calculará el banco de resistencia para el motor de 200 HP.

7.3 BANCO DE RESISTENCIAS ACTUAL DEL MOTOR DE 125 HP:

El banco de resistencias del motor de 125 HP, es un conjunto de resistencias conectado en paralelo tal como se presenta en la figura 7.4, a diferencia de los comúnmente utilizados en otros winches de izaje los cuales son tipo serie. Para determinar los valores de resistencias, se realizó el levantamiento del esquema, indicado en la figura en mención.

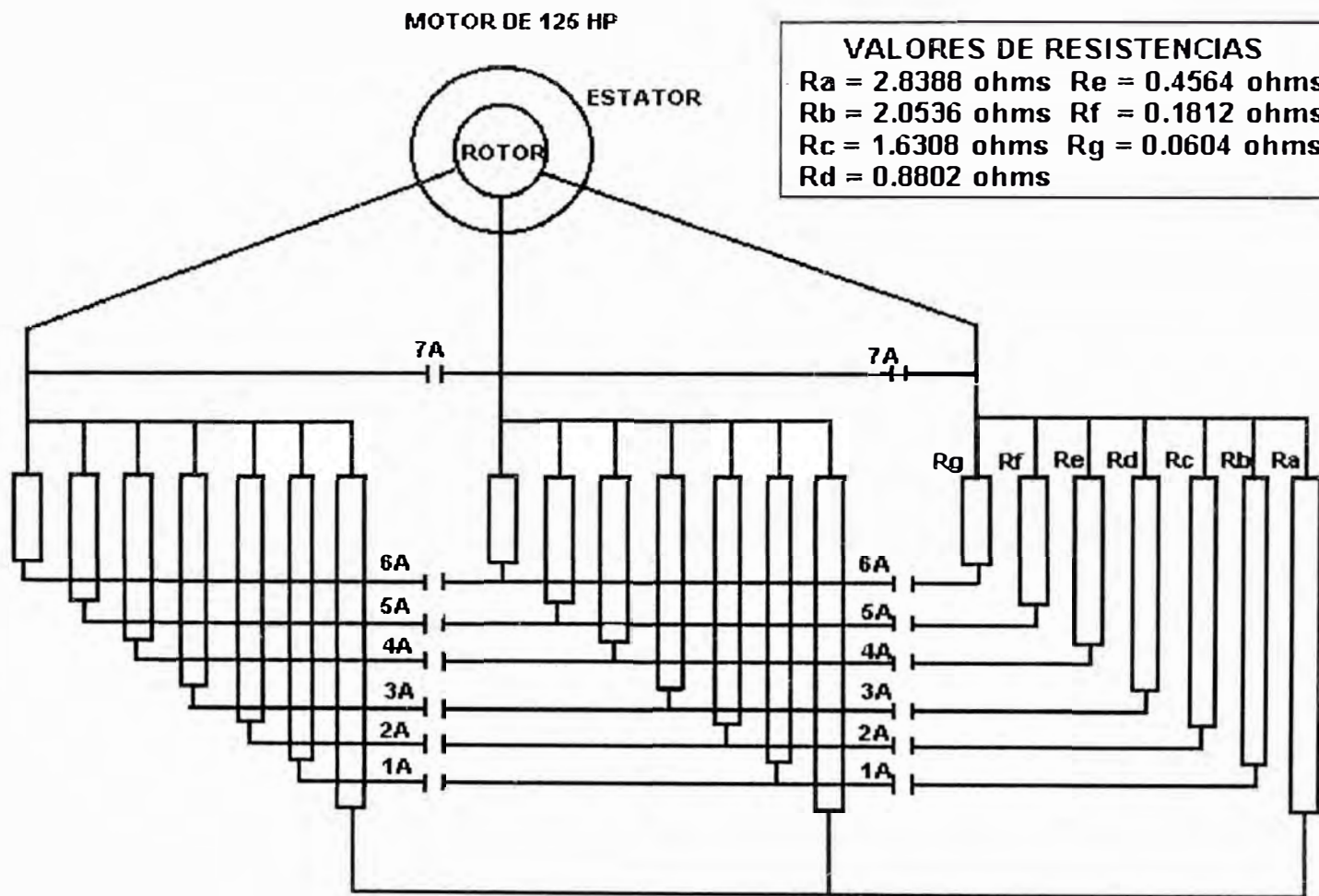


Figura Nro 7.4 : Esquema eléctrico del banco de resistencias del motor de 125 HP

Para hallar los valores de resistencias se empleó el método “Tension DC y Corriente DC”, el cual consiste en aplicar Tensión de corriente continua, con un equipo generador de corriente continua, ó como en este caso , utilizar una máquina de soldar DC, se aplica la tensión en los terminales escogidos, por ejemplo en R_a y luego se mide la corriente continua que circula, con un amperímetro. La resistencia es hallada dividiendo la tensión y la corriente, de acuerdo a la ley de OHM. Los valores encontrados fueron:

RESISTENCIA	VALOR	UNIDAD
R_a	2.8388	Ω
R_b	2.0536	Ω
R_c	1.6308	Ω
R_d	0.8802	Ω
R_e	0.4564	Ω
R_f	0.1812	Ω
R_g	0.0604	Ω

Tabla 7.3 : Resistencias del banco del motor de 125HP

□ **EXPLICACIÓN DE LA INSERCIÓN DE LAS RESISTENCIAS EN EL ROTOR:**

En la figura 7.4, se puede apreciar que:

- a. El estator recibe la tensión de alimentación de la red, en ese primer instante la resistencia adicional colocada al rotor es : $R_a = R_{ad1}$, cuyo valor es : 2.8288Ω , las demás resistencias permanecen abiertas.
- b. Para pasar al siguiente punto y aumentar la velocidad del Motor, se cierra el contactor 1ª, colocándose en paralelo la resistencia R_a y R_b , dando como resultado la resistencia adicional R_{ad2} , igual a :

$$R_{ad2} = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b} \quad R_{ad2} = 1.1898 \Omega$$

- c. De igual forma ocurre con los otros puntos, hasta que finalmente el contactor 7ª, elimina totalmente las resistencias, dejando al motor libremente con su resistencia propia R'_2 . Entonces los valores de resistencias adicionales serían:

R_{ad1}	2.8388	Ω
R_{ad2}	1.1898	Ω
R_{ad3}	0.6879	Ω
R_{ad4}	0.3861	Ω
R_{ad5}	0.2090	Ω
R_{ad6}	0.0970	Ω
R_{ad7}	0.0372	Ω

Tabla 7.4 : Resistencias adicionales del motor de 125HP

7.4 CÁLCULO DEL BANCO DE RESISTENCIA PARA EL MOTOR DE 200HP:

Al igual que el banco de resistencias del motor de 125 HP, se calcularán siete (7), resistencias adicionales. Para nuestro caso la resistencia R_a , se calculará para obtener una corriente de arranque de valor reducido, y un torque suficiente para vencer la carga, en este caso consideraremos como torque de arranque 1.2 veces el torque de carga, esto se conseguirá con una resistencia adicional mayor que la resistencia para torque máximo. Del quinto capítulo, en donde se calculó los momentos totales para el motor de 200HP obtenemos que el torque de arranque es de 30496.6 Nm, por lo tanto , el torque en el eje del motor será:

$$\text{Torque en el eje del motor} = 30496.6 \left(\frac{Z_p}{Z_c} \right)$$

Donde: Z_p = Numero de dientes del piñon = 15

Z_c = Numero de dientes de la catalina = 210

Por lo tanto: Torque en el eje del motor es : 2178.32

N-m

a. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA ADICIONAL R'_{ad1} EN EL PRIMER

PUNTO:

Aplicaremos la fórmula del torque electromagnético del motor en el arranque:

$$T_e = 3 \left(\frac{P}{2} \right) \left(\frac{V_1^2}{2\pi f} \right) \left(\frac{R'_2 + R'_{ad1}}{(R_1 + R'_2 + R'_{ad1})^2 + (X_1 + X'_2)^2} \right)$$

donde los valores de cada uno de las variables son:

P = 12 polos

V_1 = tensión de fase = 2401.7 voltios

R_1 = Resistencia del estator por fase = 1.3283 Ω

R'_2 = Resistencia del rotor por fase reflejado al estator = 2.3458 Ω

X_1 = Reactancia del estator por fase = 7.5582 Ω

X'_2 = Reactancia del rotor por fase reflejada al estator = 7.9935 Ω

T_e = Torque electromagnético = 2613.98 N-m

R'_{ad1} = Resistencia adicional por fase reflejada al estator, a calcular.

Resolviendo la ecuación encontramos que:

$$R'_{ad1} = 97.9 \Omega$$

Esta resistencia esta reflejada al estator, por lo tanto, para hallar la resistencia real en el lado del rotor, habrá que dividir entre el factor de conversión del circuito " T " al circuito " L " invertida, o sea el

parámetro “ c “ , y también entre la relación del numero de vueltas del estator y rotor , el parámetro “ a “ , así:

$$r_{ad} = \frac{R'_{ad}}{a^2 c^2}$$

cuyos valores son:

$$a = 1.0576$$

$$c = \frac{4160}{293} = 14.19$$

De esta manera , la resistencia real será:

$$r_{ad1} = 0.4346\Omega$$

EXPLICACIÓN: El valor encontrado, cumple para la condición de vencer la carga en el arranque, pero tiene una desventaja ,que en el arranque la corriente resultó demasiado alta para las condiciones actuales del sistema de alimentación a la mina , la cual produjo mucha caída de tensión. Por este motivo se realizaron pruebas adicionales en la puesta en servicio, agregando resistencias solo para el primer punto, resultando la resistencia final $r_{ad1} = 1.5558 \Omega$, para el segundo punto , la resistencia adicional fue de $r_{ad2} = 0.6530 \Omega$, ligeramente mayor al calculado el cual es 0.4346Ω , y para el tercer punto donde empieza a vencer la carga la resistencia adicional fue de $r_{ad3} = 0.3770 \Omega$. Para los siguientes puntos las resistencias adicionales fueron halladas entre ésta resistencia y la resistencia rotórica. Los valores finales fueron los siguientes:

R_{ad1}	1.5558Ω
R_{ad2}	0.6530Ω
R_{ad3}	0.3770Ω
R_{ad4}	0.2116Ω
R_{ad5}	0.1146Ω
R_{ad6}	0.0532Ω
R_{ad7}	0.0204Ω

Tabla 7.5 : Resistencias adicionales para el motor de 200HP

Como se ha explicado anteriormente, estas resistencias son el resultado de realizar el paralelo de las resistencias que se van cortocircuitando punto por punto en el circuito.

Ahora procederemos a calcular las resistencias R_a hasta R_g , similar al esquema del motor de 125 HP, explicado en el punto 7.3. La resistencia $R_a = r_{ad1} = 1.5558 \Omega$. La resistencia R_b será calculado a partir de los valores r_{ad1} y r_{ad2} , el cual se obtiene de la fórmula como:

$$R_b = \frac{r_{ad1} r_{ad2}}{(r_{ad1} - r_{ad2})}$$

por lo tanto :

$$R_b = 1.1254 \Omega$$

así sucesivamente, calculamos las otras resistencias:

RESISTENCIA	VALOR	UNIDAD
R_a	1.5558	Ω
R_b	1.1254	Ω
R_c	0.8937	Ω
R_d	0.4824	Ω
R_e	0.2501	Ω
R_f	0.0993	Ω
R_g	0.0331	Ω

Tabla 7.6 : Resistencias del Banco del motor de 200HP

b. ESQUEMA DEL BANCO DE RESISTENCIA NUEVO:

Con las resistencias encontradas elaboramos, el esquema similar al motor de 125 HP . presentado en la figura 8.5:

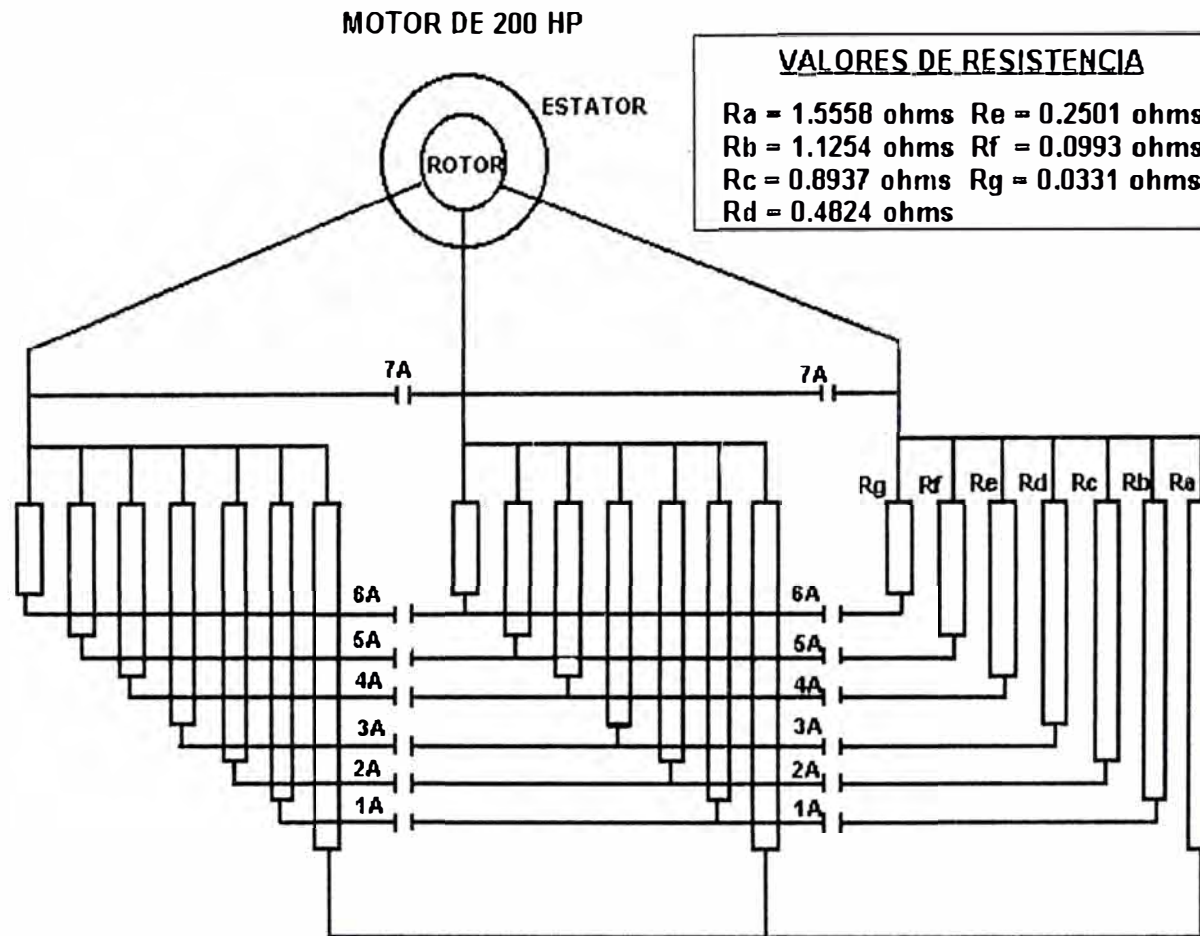


Figura Nro 7.5 : Esquema del banco de resistencia del motor de 200HP

7.5 VALORES DE LAS RESISTENCIAS QUE DEBERAN INSTALARSE EN PARALELO CON LAS EXISTENTES:

Para obtener los valores nuevos, debemos calcular los valores de resistencias a colocarse en paralelo con las existentes, calculamos de la siguiente manera:

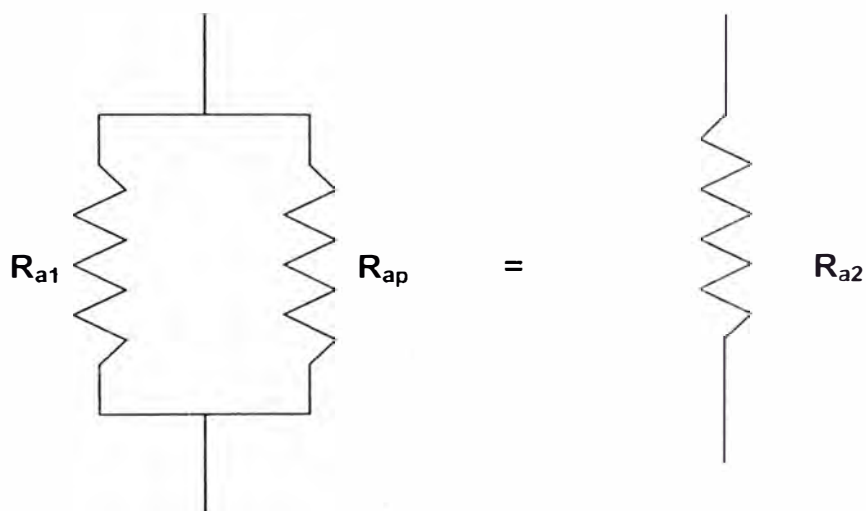
Sean , las resistencias en el punto 1, las siguientes:

R_{a1} = Resistencia existente en el punto 1 = $2.8388\ \Omega$

R_{a2} = Resistencia nueva en el punto 1 = $1.5558\ \Omega$

R_{ap} = Resistencia a instalarse en paralelo

El esquema para el primer punto será:



Tener en cuenta que : $R_{a1} > R_{a2}$

De la formula se obtiene:

$$R_{a2} = \frac{R_{a1} R_{ap}}{(R_{a1} + R_{ap})}$$

Despejando R_{ap} , tenemos:

$$R_{ap} = \frac{R_{a1} R_{a2}}{(R_{a1} - R_{a2})}$$

Para este caso R_{ap} es 3.4422 Ω

De esta forma se obtiene los otros valores de resistencias , que presentamos en la tabla 7.7

PUNTOS	RESISTENCIAS EXISTENTES PARA MOTOR DE 125 HP	RESISTENCIAS NUEVAS PARA MOTOR DE 200 HP	RESISTENCIAS A INSTALARSE EN PARALELO
1	2.8388	1.5558	3.4424
2	2.0536	0.1254	2.4899
3	1.6308	0.8937	1.9773
4	0.8802	0.4824	1.0674
5	0.4564	0.2501	0.5533
6	0.1812	0.0993	0.2197
7	0.0604	0.0331	0.0732

Tabla 7.7 : Resistencias a instalarse en paralelo.

En la figura 7.6, se presentan las resistencias adicionales conectados en paralelo a la resistencia actual, los bancos B_a , B_b , B_c y B_d son los bancos adicionales

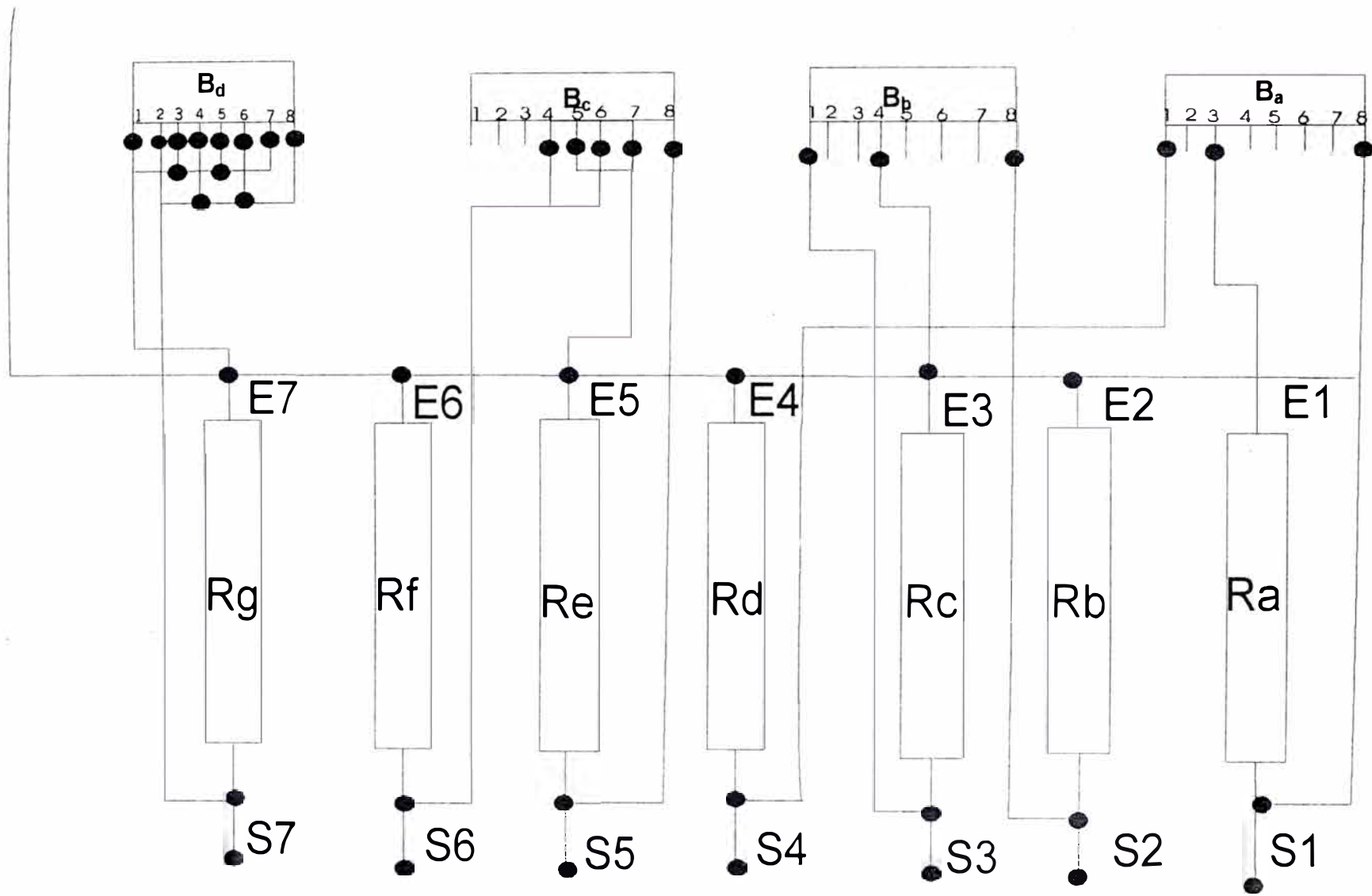


Figura Nro. 7.6 : Banco de Resistencia Actual con sus resistencias en paralelo

7.6 SELECCIÓN COMERCIAL DEL BANCO DE RESISTENCIAS:

Para seleccionar el tipo de banco de resistencia desde el punto de vista económico, se tuvo que revisar los existentes en el mercado, los cuales se detallan a continuación.

7.6.1 TIPOS DE BANCOS DE RESISTENCIAS:

De acuerdo a la potencia del motor eléctrico, se dividen de la siguiente forma:

- Bancos de fierro fundido.
- Bancos de acero inoxidable.
- Reóstatos en baño de aceite.
- Reóstatos líquidos.

A continuación describiremos cada uno de ellos:

- **BANCOS DE FIERRO FUNDIDO:**

Son utilizados para potencias medianas hasta aproximadamente 500 HP, los elementos resistivos son agrupados y montados en dos o más ejes aislados con fibra de vidrio , para soportar el alto calor disipado, estos ejes a la misma vez son sujetados en dos planchas laterales, que sirven para el montaje. Como su propio nombre lo indica el material del elemento resistivo es de fierro fundido. Las ventajas fundamentales son:

- Relativamente barato.
- Soporta altas vibraciones.
- Es robusto y de gran duración.

Su gran desventaja es que no disipa con rapidez el calor formado en el banco de resistencia, es por eso su poco uso, en la figura 7.7 se presenta los tipos de elementos resistivos y en la figura 7.8 un banco de este tipo.

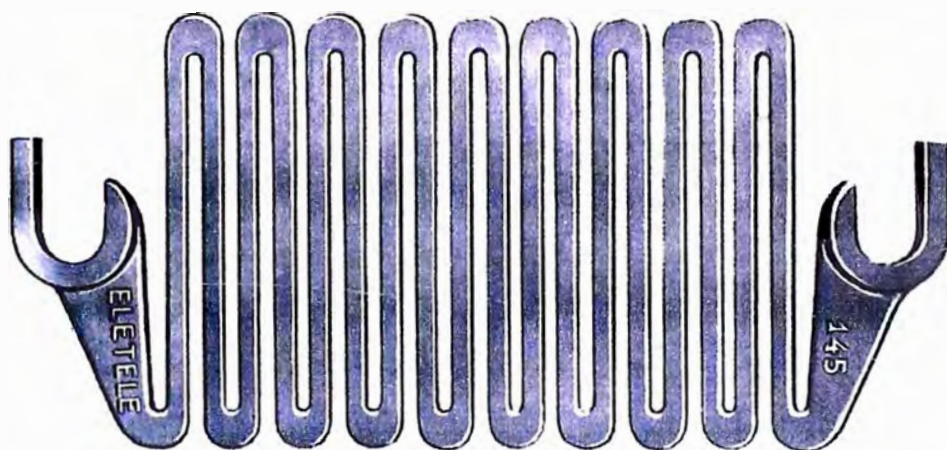


Figura 7.7 : Elemento Resistido

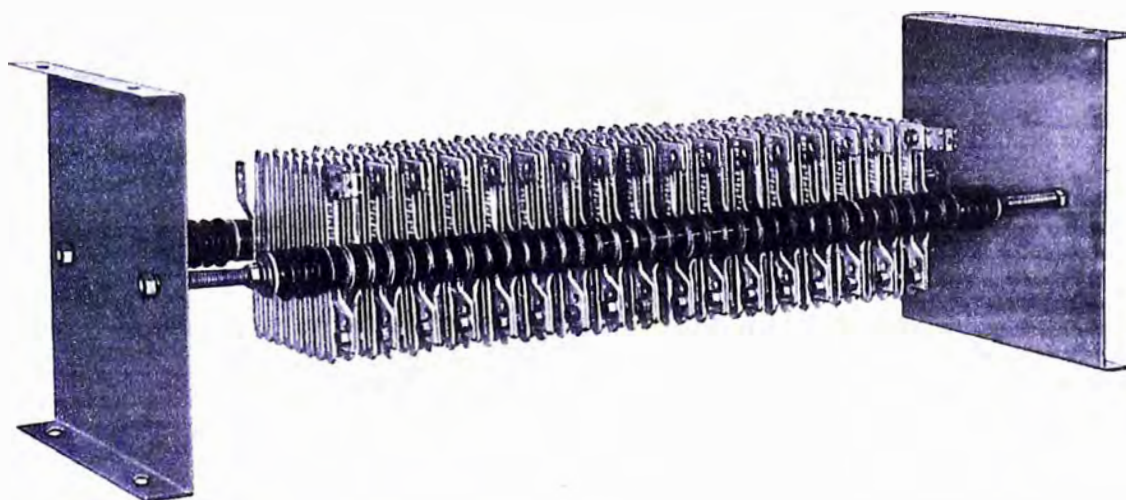


Figura Nro 7.8: Banco de Resistencia fierro fundido

- **BANCOS DE ACERO INOXIDABLE:**

Su construcción y potencia es similar a los empleados en los bancos de fierro fundido , actualmente, son los bancos con mayor uso en el campo industrial, los elementos resistivos son de acero inoxidable y entre algunas ventajas importantes tenemos :

- Son relativamente baratos, comparados con los de baño en aceite y reóstatos líquidos.
- Disipa el calor rápidamente
- Tiene poco peso.

En la figura 7.9 se presenta este tipo de banco.

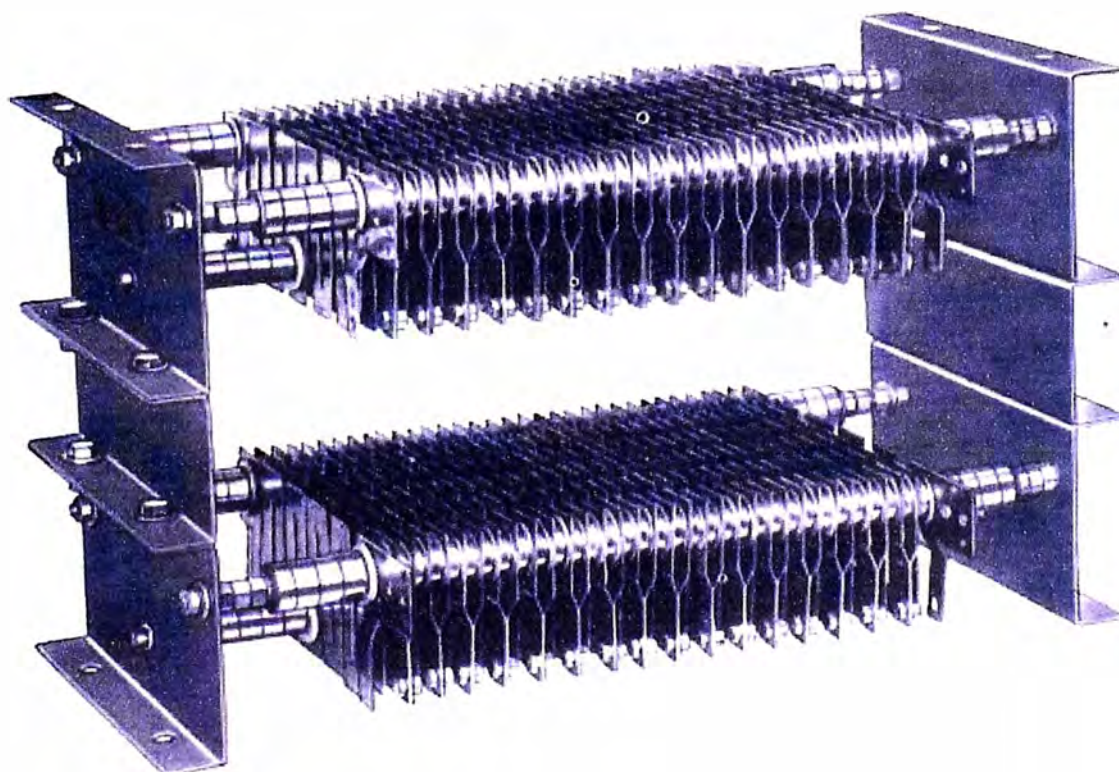


Figura Nro 7.9: Banco de Resistencia de acero Inoxidable

- **REOSTATO EN BAÑO DE ACEITE:**

Son equipos más sofisticados y costosos comparados con los dos tipos anteriores, se construyen para potencias por encima de los 1000 HP. Se adaptan a todo tipo de industrias que requieren equipos resistentes a manipulación pesada. El tanque es fabricado en chapa de acero y sometida a un riguroso tratamiento anticorrosivo antes de pasar para la pintura de acabado.

Estos reóstatos son totalmente estancos, a prueba de polvo de cemento, Mineral etc. El escalonamiento de la resistencia , o sea los pasos, son realizados por medio de contactores de cobre macizo, perfectamente ajustado sobre un rotor , con avances bien definidos, garantizando así una perfecta variación de la resistencia. Los elementos de resistencia son fabricados en cinta de níquel - cromo, sobre núcleos cerámicos a prueba de choque térmico, lo que garantiza una larga duración de estos arrancadores.

En la figura 7.10 se presenta un reóstato en baño de aceite:

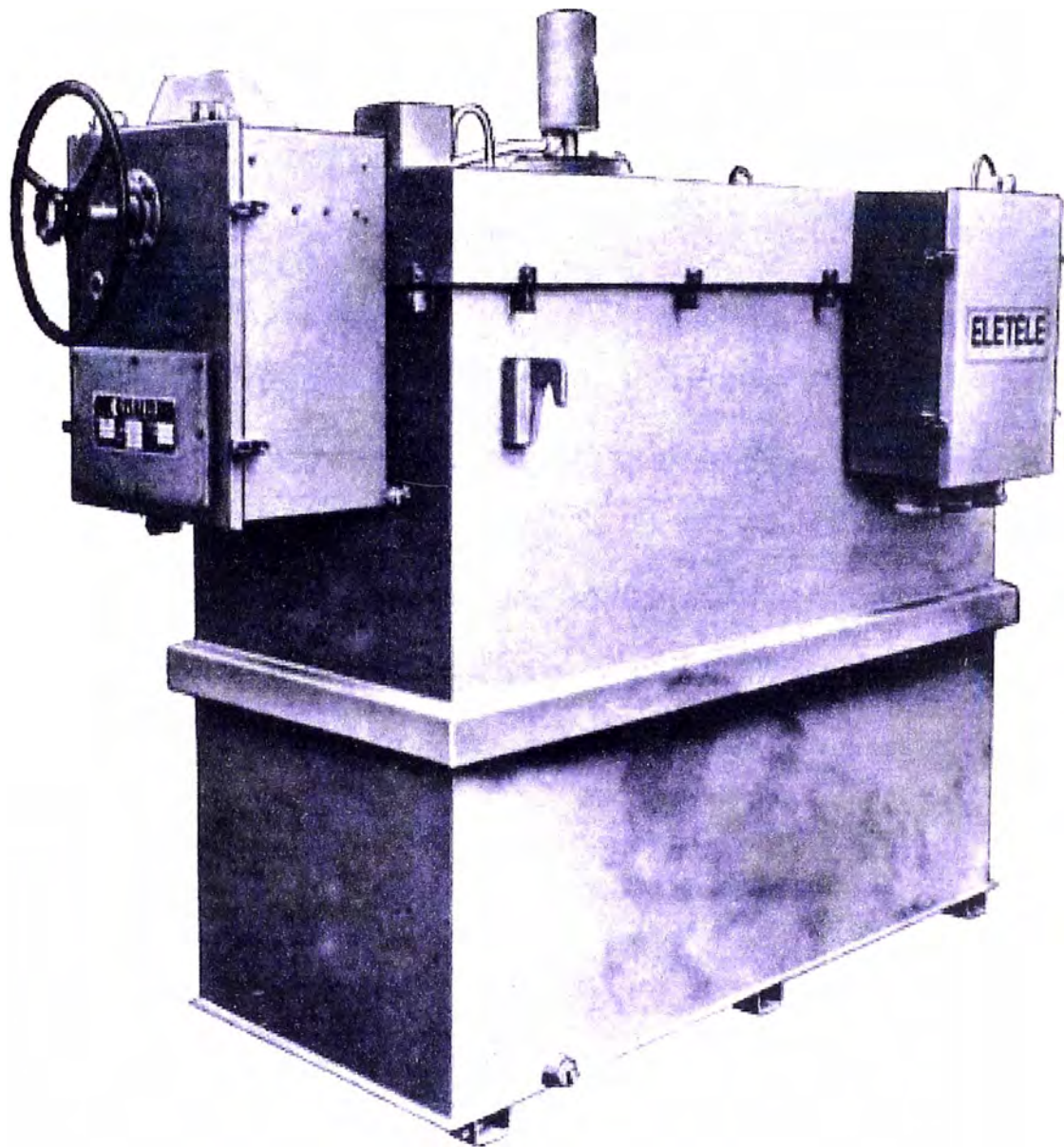


Figura Nro 7.10 : Reóstato en baño de aceite

- **REOSTATO LIQUIDO:**

También usado para altas potencias, por encima de los 1000 HP, este tipo de reóstato se compone de un conjunto de electrodos fijos que deberán unirse directamente al secundario del motor de rotor bobinado. La disminución de la resistencia se obtiene aumentando el nivel del electrolito, introducido en el deposito superior, que viene a ser la caja de electrodos. Una motobomba centrífuga lo retira del deposito inferior, funcionando este depósito como reservorio, y lo conduce al superior, aumentando de este modo, la sección de los electrodos, inmersos en el electrolito; al llegar al nivel máximo, donde se produce la resistencia mínima, una llave de nivel parará la motobomba. Para motores sin dispositivo de corto circuito, cuando el electrolito llegue al nivel de resistencia mínima, un contactor cortocircuitará los anillos, este cortocircuito se producirá con una velocidad aproximadamente de 96% de la nominal, y el electrolito vuelve al deposito inferior. En la figura 7.11 presenta un reóstato liquido y en la figura 7.12 el esquema de funcionamiento.

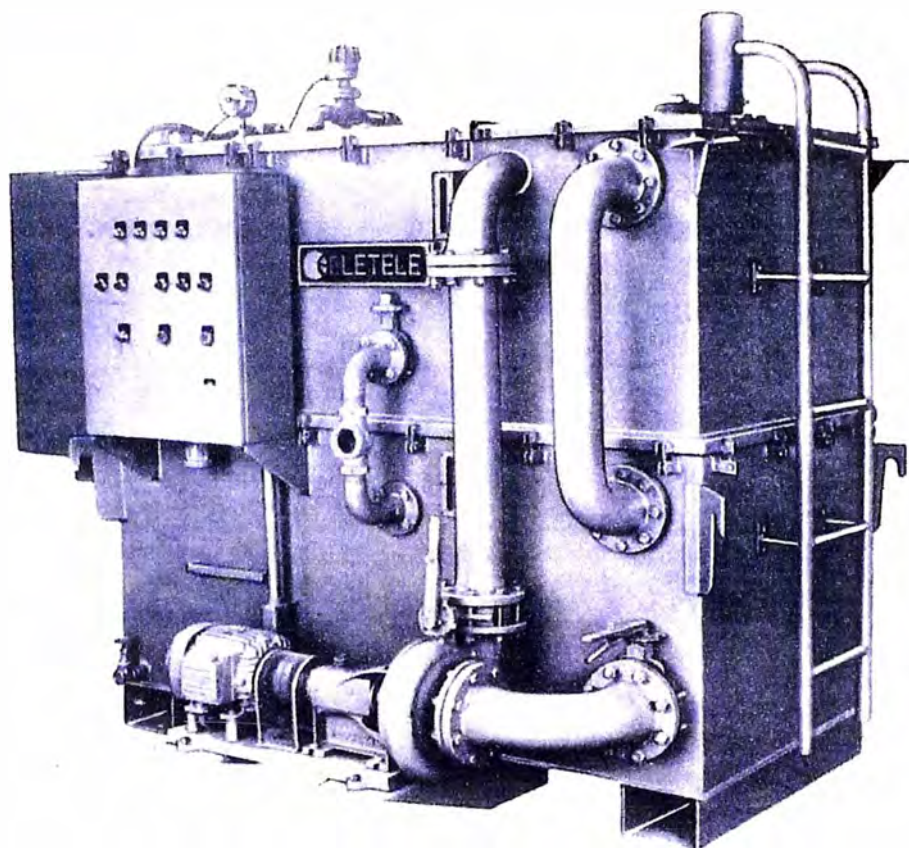


Figura Nro 7.11 : Reóstato Líquido

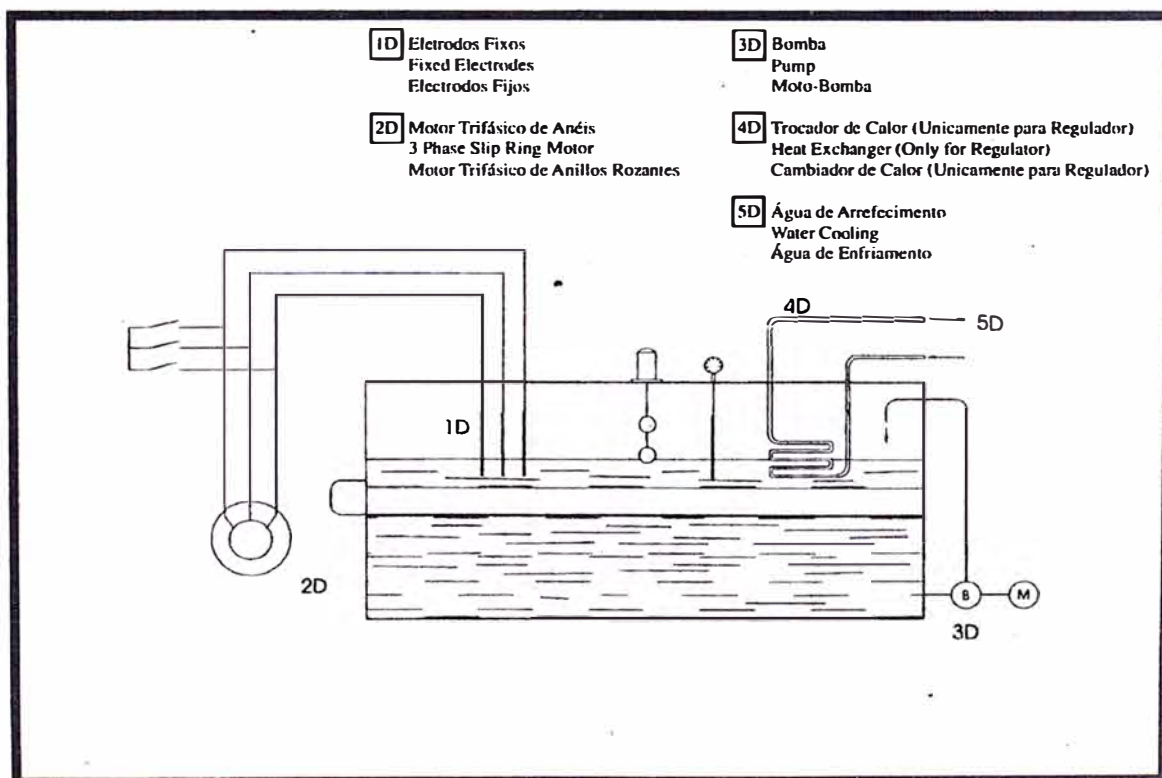


Figura Nro 7.12 : Esquema de Funcionamiento

7.6.2 TIPO DE RESISTENCIA SELECCIONADO:

Se seleccionó el banco de resistencia tipo ACERO INOXIDABLE, por los siguientes motivos:

- Bajo costo comparado con los otros tipos existentes.
- Adecuado para la potencia de 200 HP.
- Facilidad de montaje, por su construcción sencilla.
- Bajo peso de cada banco de aproximadamente 10 kg.

A continuación se detalla las características del banco elegido:

- Del catálogo del fabricante de resistencias CUTLER HAMMER WESTINGHOUSE, de procedencia USA, detallado en el anexo 6, se eligió el banco de resistencias tipo LG, de las siguientes características:

Numero de catálogo = 44A6404G03

Material = Acero Inoxidable resistente a la corrosión.

Resistencia total = 4.7Ω por banco.

Corriente nominal continua = 33 Amperios

Numero total de mallas = 30

Resistencia por malla = 0.155Ω

Numero de divisiones = 7

Resistencia por división = 0.6714Ω

Se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

- a. El nivel de corriente seleccionado es de 33 amperios, este valor es suficiente en vista que para pequeños tiempos de arranque , el banco soporta hasta 110 amperios en 10 segundos.
- b. Utilizar el menor numero de bancos de resistencias , esto se consiguió seleccionando un banco con siete (7) divisiones o sea ocho (8) terminales. Luego se procedió a conectar de la forma que se presenta en la figura 7.6.
- c. Se puede observar que se han utilizado solo 04 bancos de resistencias por fase, que hemos designado como B_a , B_b , B_c y B_d . El banco B_a está dividido en dos sectores de 5 y 2 divisiones, los cuales se conectan en paralelo a las resistencias R_a y R_d , con sus resistencias 3.3571Ω y 1.3428Ω .
- d. El banco B_b , está dividido también en dos sectores de 4 y 3 divisiones, que se conectan en paralelo con las resistencias R_b y R_c , con sus valores de resistencias 2.6857Ω y 2.0142Ω .
- e. De igual manera el banco B_c , está dividido en dos partes, conectados convenientemente, tal como se muestra en la figura 7.6 ,para colocarse en paralelo con las resistencias R_e y R_f , con sus valores de resistencias 0.6714Ω y 0.3357Ω .
- f. Finalmente el banco B_d , se conecta sus siete divisiones en paralelo, dando una resistencia de 0.0959Ω , el cual se conecta en paralelo con la resistencia R_g .

Como se puede apreciar, los valores encontrados en el mercado son aproximados a los calculados y se presentan en la siguiente tabla:

PUNTOS	EN PARALELO CON LAS RESISTENCIAS	VALOR DE LA RESISTENCIA COMERCIAL	UNIDAD
1	R_a	3.3571	Ω
2	R_b	2.6857	Ω
3	R_c	2.0142	Ω
4	R_d	1.3428	Ω
5	R_e	0.6714	Ω
6	R_f	0.3357	Ω
7	R_g	0.0959	Ω

**Tabla 7.8 : valores de las resistencias comerciales a ser colocados
en paralelo**

CAPITULO 8

COMPARATIVO ECONÓMICO DEL BANCO DE RESISTENCIAS NUEVO Y REPOTENCIADO

Existen dos posibilidades para la adquisición del banco de resistencias, veamos:

- Adquirir un banco nuevo.
- Adquirir la resistencia faltante para repotenciar el banco actual.

Para beneficio económico de la empresa, se decidió optar por la segunda posibilidad, es decir comprar las resistencias faltantes y repotenciar el banco actual.

8.1 COSTO DE ADQUISICIÓN DE UN BANCO NUEVO:

Se realizaron varias cotizaciones con la finalidad de tener una idea del costo por la adquisición de un banco nuevo. De acuerdo a los fabricantes, al comprar un banco nuevo se tenía que adquirir equipos adicionales para complementar el arrancador para la conmutación de las resistencias. En resumen el banco nuevo tenía que constar de los siguientes equipos :

- 21 Resistencias de acero inoxidable, estos son apropiados para operar en situaciones de vibración severa y muy resistentes a atmósferas contaminantes, así mismo son apropiados para sistemas de arranque de motores de rotor bobinado. El banco de resistencias se compone de 21 resistencias (7 por fase) montados sobre cajas de 7 resistencias por fase que se conmutarán mediante el accionamiento de los contactores de paso. Catalogo de resistencias de GENERAL ELECTRIC USA: IC9141A001A101.
- 07 Contactores de conmutación (7 pasos) GENERAL ELECTRIC USA LINE 300 SIZE4, 150 AMPERIOS, 2NO-2NC, bobina de control 110VAC. CAT: CR305G002.
- Transformador De control GENERAL ELECTRIC USA, 250VA, 460/110 VOLTIOS CAT: CR308XT7504A.
- Relés de control HEAVY DUTY(ALTOS ESFUERZOS) GENERAL ELECTRIC.
- Panel mímico en caseta del operador con indicadores luminosos de las resistencias conmutadas GENERAL ELECTRIC USA, HEAVY DUTY CAT CR104PLG32R.
- Master Switch GENERAL ELECTRIC USA. Para aplicaciones severas y atmósferas contaminantes, encerramiento NEMA 4, 12 circuitos, contactos mantenidos. CAT: IC3012N423M12AL07AGO.

- 03 Gabinetes autoportados tipo abierto, fabricado con planchas de 2mm, y estructura angular, acabado en pintura epóxica y tratamiento anticorrosivo para ambientes contaminantes, como los observados en AMBIENTES DE MINAS, Cada gabinete contendrá las 7 resistencias por fase requerida por el motor, debidamente instalados.
- Instalación y puesta en servicio en campo con la presencia de 02 ingenieros de la compañía a las instalaciones de SOCIEDAD MINERA CORONA.

Con esta información se cotizaron en los siguientes proveedores que se muestran en el tabla 8.1 cuadro siguiente:

PROVEEDOR	COSTO EN \$ (DOLARES)
GENERAL ELECTRIC USA	22760.00
DITEC S. A	28500.00

Tabla 8.1 Costo de un banco nuevo.

El costo incluye la mano de obra de la puesta en servicio, ver la información en el anexo 7.

8.2 COSTO DE ADQUISICIÓN DE LOS BANCOS FALTANTES PARA REPOTENCIAR EL BANCO ACTUAL:

Para este caso solo era necesario la compra de las resistencias faltantes y agregar dos juegos de contactos fijos y móviles para los contactores actuales con la finalidad de utilizarlos en la conexión de los paralelos. La mano de obra de instalación se realizó con personal propio de SOCIEDAD MINERA CORONA. El detalle de los equipos a comprar fueron:

- 12 Resistencias Industriales de potencia CUTLER HAMMER USA, TIPO LG para sistemas de arranque de motores de rotor bobinado. CAT: 44A6404G03.
- 02 Kit (juegos) de contactos principales, fijos y móviles, para contactor GENERAL ELECTRIC USA, NEMA LINE 300, tamaño 4.
- CAT 55-153678G002.

Con esta información se cotizó a los mismos proveedores, que se muestran en la tabla 8.2.

PROVEEDOR	COSTO EN \$ (DOLARES)
GENERAL ELECTRIC USA	7400.00
DITEC S. A	9120.00

Tabla 8.2 Costo de resistencias faltantes.

8.3 COMPARATIVO ECONÓMICO:

Haciendo la comparación de las cotizaciones del banco nuevo y de los bancos faltantes, obtenemos una diferencia a favor , que se presenta en la tabla 8.3:

PROVEEDOR	COSTO EN \$ (DOLARES)
GENERAL ELECTRIC USA	15360.00
DITEC S. A	19380.00

Tabla 8.3 Diferencia de costo de un banco nuevo y repotenciado

La diferencia a favor, consideraremos como el promedio de los dos proveedores, es decir **\$17370.00 (diecisiete mil trescientos setenta dólares americanos)**

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos del presente informe, se concluye que repotenciar el banco actual es conveniente por los siguientes motivos:

1. Obtenemos un ahorro de \$17370.00 (Diecisiete mil trescientos setenta dólares americanos), comparando con el costo de la compra de un banco nuevo.
2. El equipamiento existente tanto mecánico como eléctrico será utilizado en su integridad en el nuevo proyecto, esto redundará en menores gastos para la empresa.
3. Los trabajos previos y la puesta en servicio del winche con el banco repotenciado, será realizado por personal netamente de Sociedad Minera Corona S.A., esto es una gran ventaja ya que el personal estará capacitado para resolver algunas fallas futuras ó contribuir en un nuevo proyecto que se realice posteriormente en la mina.
4. Reduce el tiempo de ejecución del proyecto en vista que no es necesario la construcción de obras civiles y mecánicas. Estos sí serían necesarios en caso de comprar un banco nuevo.
5. La metodología empleada en los cálculos de la potencia del motor eléctrico y de los valores del banco de resistencia serán empleados en las futuras profundizaciones.

6. Se ha comprobado que se puede instalar, elementos resistivos de fierro fundido y acero inoxidable dentro de un mismo banco, siempre y cuando los valores de resistencias sean los adecuados.
7. Para cada tipo de motor eléctrico existe su respectivo circuito equivalente el cual se obtiene de las pruebas realizadas al propio motor, este circuito de motor nos permite calcular las resistencias adicionales necesarios para vencer el torque de carga con corriente moderada.
8. Los cálculos hicieron posible la determinación de la compra del motor eléctrico y de los bancos de resistencias adicionales con el consiguiente, ahorro económico para la empresa ya que no fue necesario recurrir a terceros.
9. El motor eléctrico fue adquirido de la firma GEVISA de Brasil y los bancos de resistencias de la firma T.J. CASTRO de Perú.

BIBLIOGRAFÍA

1. GRUAS

De Emilio Larrode y Antonio Miravete de España

Zaragoza, año 1996, primera edición

páginas: 231 al 242

2. MINE PLANT DESIGN

De W.W. STALEY

Segunda edición , año 1975

3. MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO

De Theodore Baumeister, Eugene A. Avallone, Theodore

Baumeister III , McGraw – Hill de México

Segunda Edición en Español, Año 1987

volumen III.

4. MANUAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

de Donald G. Fink y H. Wayne Beaty, McGraw – Hill de México

Decimotercera Edición Año 2000

Tomo III

5. MÁQUINAS ELÉCTRICAS

De M.P. Kostenko, L.M. Piotrovski.

Editorial MIR Moscú, Año 1968

Traducido por Luis Ibáñez Morlan

6. MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y TRANSFORMADORES

De Irving L. Kosow

Segunda Edición

Pag. 308 al 374

7. MÁQUINAS ELÉCTRICAS

De Stephen J. Chapman

Segunda Edición.

McGraw Hill, Año 1993

8. MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS

De Ing. Rael Aviles B, Perú

Libro de teoría y problemas

8.- MAQUINAS ELÉCTRICAS II

Del Ing, Roberto Ramírez Arcelles

Cuaderno del Curso Máquinas Eléctricas II

Del Año 1985 dictado en la UNI, Universidad Nacional de Ingeniería

9.- CATÁLOGOS DE LA INDUSTRIA DE REOSTATO Y RESISTENCIAS

ELETELE DE BRASIL

Año 1996

ANEXOS

1. Anexo 1: Tabla de selección de motores eléctricos trifásicos.
2. Anexo 2: Hoja de cálculo de la potencia del motor eléctrico para el nivel 240.
3. Anexo 3: Hoja de cálculo de la potencia del motor eléctrico para el nivel 315.
4. Anexo 4: Factura del motor eléctrico.
5. Anexo 5: Protocolos de pruebas y curva de prueba en vacío del motor eléctrico.
6. Anexo 6: Información de los bancos de resistencias de acero inoxidable marca CUTLER HAMMER.
7. Anexo 7: Cotización de bancos de resistencias por proveedores.

ANEXO 1

TABLA 20-4 Tabla para la selección de motores eléctricos trifásicos

Para este tipo de equipo	Que requieren estos pares		Con estas características de carga	Tipo y descripción
	De arranque	Máx. de marcha		
Bombas para suministro de agua Bombas industriales y químicas Torres de enfriamiento Equipo para manejo de aire Compresoras Transportadores Maquinaria para procesos Equipo para procesos petroleros y químicos	100 a 150% del par a plena carga	200 a 250% del par a plena carga	Operación continua, velocidad constante, alta velocidad (por encima de 720 r/min), fácil arranque; sujetos a sobrecargas de corta duración; buena regulación de la velocidad	<i>De rendimiento energético:</i> Diseño B NEMA, pares normales; corriente normal de arranque; se pueden usar con inversores de frecuencia variable/voltaje variable; de eficiencia mayor que la de los motores estándar de diseño B.
Bombas centrífugas Sopladores y ventiladores Taladradoras Moladoras Tornos Compresoras Transportadores	100 a 150% del par a plena carga	200 a 250% del par a plena carga	Condiciones variables de carga, velocidad constante; sujetos a sobrecargas de corta duración; buena regulación de la velocidad	<i>Diseño B NEMA:</i> Pares normales; corriente normal de arranque; se pueden usar con inversores de frecuencia variable/voltaje variable
Bombas reciprocantes Alimentadores Compresoras Trituradoras Molinos de bolas y de cabillas	200 a 300% del par a plena carga	No más del par a plena carga	Alto par de arranque debido a alta inercia, contrapresión, fricción en la parada o condiciones mecánicas semejantes; las necesidades de par decrecen durante la aceleración, hasta el par a plena carga; no sujetos a sobrecargas severas; buena regulación de la velocidad	<i>Diseño C NEMA:</i> Alto par; corriente normal de arranque; no se recomienda su uso con inversores de frecuencia variable
Prensas punzonadoras Grúas Malacates Frenos para prensas Cizalladoras Bombas para pozos petroleros Centrífugas	Hasta el 300% del par a plena carga	200 a 300% del par a plena carga; se requiere pérdida de velocidad durante las cargas pico	Cargas intermitentes; pueden requerir arranques, detenciones y ciclos de contramarcha frecuentes; en la máquina se emplea un volante para soportar las cargas pico; mala regulación de la velocidad para suavizar las cargas pico; pueden requerir la aceleración de carga de alta inercia	<i>Diseño D NEMA:</i> Par alto; alto deslizamiento; los tipos estándar tienen características de deslizamiento del 5 al 8% o del 8 al 13%
Sopladores Ventiladores Máquinas herramientas Mezcladoras Transportadores Bombas	Algunos requieren bajo par; otros requieren varias veces el par a plena carga	200% del par a plena carga en cada velocidad	Se desea selección de la velocidad y bastan dos, tres o cuatro velocidades fijas; el par de arranque puede ser bajo en los sopladores hasta alto en los transportadores; las máquinas para cortar metales suelen ser de hp constantes; las cargas de fricción (transportadores) suelen ser de par constante; las cargas de fluidos o aire (sopladores) son de par variable	<i>De velocidades múltiples:</i> Par general normal en devanado o velocidad dominante; devanados consecuentes de los polos o devanados separados para cada velocidad; con base en los requisitos de carga, pueden ser de caballos de potencia constantes, de par constante, de par variable
Trituradoras Transportadores Rodillos dobladores Molinos de bolas y de cabillas Sopladores centrífugos Bombas Prensas impresoras Grúas y malacates Centrífugas	Pueden proporcionar un par hasta el par máximo en parada	200 a 300% del par a plena carga	Cargas que requieren muy alto par de arranque con baja corriente de arranque; se requiere ajuste de la velocidad dentro de un rango limitado (2 a 1); control del par durante la aceleración o aceleración controlada	<i>De rotor devanado:</i> Se necesita sistema de control del rotor para dar lugar a las características deseadas; el control puede ser de resistores, reactores o inversores de frecuencia fija, en el circuito secundario (rotor); la velocidad real de la carga depende del ajuste del control del rotor

FUENTE: Andreas, J. C.; *Energy Efficient Electric Motors*, 2a. ed., New York, Marcel Dekker, Inc., 1992.

ANEXO 2

CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR ELECTRO

REALIZADO POR :SANTOS JORGE VILLANUEVA ROJAS

DATOS de TIEMPO:

Tiempo de desplazamiento Cargado	123.84
Tiempo de Aceleracion	13.30
Tiempo de Desaceleracion	6.60
Tiempo de Carga, Descarga	25.20
Tiempo de Ciclo de Izaje	149.04

DATOS de PESOS:

Peso de un Skip-Jaula	20
Peso del Mineral	28
Peso de un Metro de Cable	1
Peso de una Tambor	378
Peso de Engranajes y Chumaceras	75
Peso de una Polea	8

DATOS de LONGITUD:

Diametro de Tambora	1.3462
Ancho de Tambora	0.9144
Distancia del Nv. 0 al Volteo	14.45
Distancia del Nv. Inferior al Carguio	15
Distancia al Nv.de Diseño	240
Distancia de Tambora a la Estacion	28.5
Angulo de eje Polea y Tambor	0.50
Longitud de Cable	400.00
Longitud de Cable en el Pique	281.9
Longitud de Cable entre Polea y Tambora	39.7
Longitud de Cable Anillado en Tambora	78.40
Diametro de Cable	0.022225

DATOS de VELOCIDADES:

Aceleracion de la Gravedad	9.8
Velocidad en RPM del Motor	5
Numero de Dientes del Piñon	15
Numero de Dientes de Catalina	2
Velocidad Lineal constante	2.3
Velocidad lineal constante	14
Velocidad en RPM del tambor	33
Velocidad en rad/seg del tambor	3

Velocidad Promedio Total	2.176	m/seg	Momentos de friccion MAX.	23087
Aceleracion	0.164	m/seg	Momentos de friccion MIN.	18377
Espacio Recorrido x Skip en Ta	14.47	m.	Momentos de friccion PROM.	4709
Espacio Recorrido x Skip en Td	7.18	m	Peso Total	180946
Espacio Recorrido en Vk	247.80	m	Peso Total reducido x Acelerac.	3020
Tiempo en Desplazamiento en Vk	103.94	seg	Momento Acelerante	2033
Velocidad Constante Vk del cable	2.384	m/seg.		
Velocidad Angular del tambor	3.54	rad/seg.		
Potencia Media	114.45	Hp		
Potencia Necesaria p' Acelerar	8.61			
Potencia Necesaria p' Desacelerar	17.34			
Potencia al Final de Aceleracion	142.78			
Potencia al Inicio de la Desaceleracion	102.40			
Desaceleracion	0.330			

Potencia a Nivel del Mar	115.27	HP
Potencia a 4500 MSNM	128.08	HP

PARA LA PROFUNDIDAD DE 240 METROS

CALCULOS DE MOMENTOS EN LA TAMBORA

MOMENTOS POSITIVOS.

Vueltas Carga(Nt) Radio(Mt) Momentos (Nt*Mt)

1.- Ascenso de Carga

Vueltas	Carga(Nt)	Radio(Mt)	Momentos (Nt*Mt)
0.00	47147.8	0.6731	31735.18
3.42	47147.8	0.6731	31735.18
3.42	47147.8	0.6731	31735.18
62.01	47147.8	0.6731	31735.18
62.01	47147.8	0.6731	31735.18
63.71	47147.8	0.6731	31735.18

2.- Ascenso del Cable

	Vueltas	Carga(Nt)	Radio(Mt)	Momentos (Nt*Mt)
	0.00	5070.0	0.6731	3412.62
n/seg	3.42	4797.7	0.6731	3229.33
n/min	3.42	4797.7	0.6731	3229.33
RPM	62.01	135.1	0.6731	90.94
rad/seg	62.01	135.1	0.6731	90.94
	63.71	0.0	0.6731	0.00

MOMENTOS NEGATIVOS

Vueltas Carga(Nt) Radio(Mt) Momentos (Nt*Mt)

1.- Descenso de Carga

Vueltas	Carga(Nt)	Radio(Mt)	Momentos (Nt*Mt)
0.00	19707.8	0.6731	13265.32
3.42	19707.8	0.6731	13265.32
3.42	19707.8	0.6731	13265.32
62.01	19707.8	0.6731	13265.32
62.01	19707.8	0.6731	13265.32
63.71	19707.8	0.6731	13265.32

2.- Descenso del Cable

	Vueltas	Carga(Nt)	Radio(Mt)	Momentos (Nt*Mt)
	0.00	0.0	0.6731	0.00
	3.42	272.2	0.6731	183.22
	3.42	272.2	0.6731	183.22
	62.01	4934.9	0.6731	3321.68
	62.01	4934.9	0.6731	3321.68
	63.71	5070.0	0.6731	3412.62

	M.Aceler.	Mom.Friccio	Momen.Result.	Mom.Total	Pot.Motor
I/M	2033.15	4709.78	21882.48	28625.41	135.91
I/M	2033.15	4709.78	21515.98	28258.91	134.17
I/M	0.00	4709.78	21515.98	26225.76	124.52
↓	0.00	4709.78	15239.12	19948.90	94.72
↓	-2033.15	4709.78	15239.12	17915.75	85.06
I/M	-2033.15	4709.78	15057.25	17733.88	84.20

ANEXO 3



CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR ELEC

REALIZADO POR :SANTOS JORGE VILLANUEVA ROJAS

DATOS de TIEMPO:

Tiempo de desplazamiento Cargado	124.73
Tiempo de Aceleracion	13.00
Tiempo de Desaceleracion	6.50
Tiempo de Carga, Descarga	25.20
Tiempo de Ciclo de Izaje	149.93

DATOS de PESOS:

Peso de un Skip-Jaula	2011
Peso del Mineral	2800
Peso de un Metro de Cable	1.92
Peso de una Tambor	3784.5
Peso de Engranajes y Chumacera	756.9
Peso de una Polea	890

DATOS de LONGITUD:

Diametro de Tambora	1.3462
Ancho de Tambora	0.9144
Distancia del Nv. 0 al Volteo	14.45
Distancia del Nv. Inferior al Carguio	15
Distancia al Nv.de Diseño	315
Distancia de Tambora a la Estacion	28.5
Angulo de eje Polea y Tambor	500.00
Longitud de Cable	500.00
Longitud de Cable en el Pique	356.9
Longitud de Cable entre Polea y Tambor	39.7
Longitud de Cable Anillado en Tambora	103.40
Diametro de Cable	0.022225

DATOS de VELOCIDADES:

Aceleracion de la Gravedad	9.8
Velocidad en RPM del Motor	595
Numero de Dientes del Piñon	15
Numero de Dientes de Catalina	210
Velocidad Lineal constante	2.996
Velocidad lineal constante	179.7
Velocidad en RPM del tambor	42.5
Velocidad en rad/seg del tambor	4.45

Velocidad Promedio Total	2.762	m/seg.
Aceleracion	0.230	m/seg ²
Espacio Recorrido x Skip en Ta	19.47	m.
Espacio Recorrido x Skip en Td	9.74	m
Espacio Recorrido en Vk	315.24	m
Tiempo en Desplazamiento en Vk	105.23	seg.
Velocidad Constante Vk del cable	2.996	m/seg.
Velocidad Angular del tambor	4.45	rad/seg.
Potencia Media	146.46	Hp
Potencia Necesaria p' Acelerar	11.27	
Potencia Necesaria p' Desacelerar	22.53	
Potencia al Final de Aceleracion	190.27	
Potencia al Inicio de la Desaceleracion	119.01	
Desaceleracion	0.461	

Momentos de friccion MAX.	23087.33
Momentos de friccion MIN.	18346.55
Momentos de friccion PROM.	4740.78
Peso Total	184709.42
Peso Total reducido x Acelerac.	4343.28
Momento Acelerante	2923.46

Potencia a Nivel del Mar	145.83	HP
Potencia a 4500 MSNM	162.03	HP

CO PARA LA PROFUNDIDAD DE 315 METROS

CALCULOS DE MOMENTOS EN LA TAMBORA

MOMENTOS POSITIVOS.

	Vueltas	Carga(Nt)	Radio(Mt)	Momentos (Nt*Mt)
1.- Ascenso de Carga				
	0.00	47147.8	0.6731	31735.18
	4.60	47147.8	0.6731	31735.18
	4.60	47147.8	0.6731	31735.18
	79.14	47147.8	0.6731	31735.18
	79.14	47147.8	0.6731	31735.18
	81.44	47147.8	0.6731	31735.18

2.- Ascenso del Cable

	Vueltas	Carga(Nt)	Radio(Mt)	Momentos (Nt*Mt)
	0.00	6481.2	0.6731	4362.50
	4.60	6114.8	0.6731	4115.87
	4.60	6114.8	0.6731	4115.87
	79.14	183.2	0.6731	123.31
	79.14	183.2	0.6731	123.31
	81.44	0.0	0.6731	0.00

MOMENTOS NEGATIVOS

	Vueltas	Carga(Nt)	Radio(Mt)	Momentos (Nt*Mt)
1.- Descenso de Carga				
	0.00	19707.8	0.6731	13265.32
	4.60	19707.8	0.6731	13265.32
	4.60	19707.8	0.6731	13265.32
	79.14	19707.8	0.6731	13265.32
	79.14	19707.8	0.6731	13265.32
	81.44	19707.8	0.6731	13265.32

2.- Descenso del Cable

	Vueltas	Carga(Nt)	Radio(Mt)	Momentos (Nt*Mt)
	0.00	0.0	0.6731	0.00
	4.60	366.4	0.6731	246.62
	4.60	366.4	0.6731	246.62
	79.14	6298.0	0.6731	4239.18
	79.14	6298.0	0.6731	4239.18
	81.44	6481.2	0.6731	4362.50

M.Aceler. Mom.Friccion Momen.Result.

2923.46	4740.78	22832.36
2923.46	4740.78	22339.11
0.00	4740.78	22339.11
0.00	4740.78	14353.99
-2923.46	4740.78	14353.99
-2923.46	4740.78	14107.37

Mom.Total Pot.Motor

30496.60	181.94
30003.35	179.00
27079.89	161.56
19094.77	113.92
16171.31	96.48
15924.69	95.01

seg
in
l
seg

ANEXO 4

GEVISA S/A

ROD. SP101 - TRECHO CAMPINAS - MONTE MOR, KM 3.8 - BOA VISTA - CAMPINAS - SP
 CEP 13064-180 - CX. POSTAL 13001-970 - TLX 111168 - TEL. 55-192-40-8563 Pag.: 1

IMPORTADOR (Importer's Name)	FATURA COMERCIAL No. (N/REF (Our Ref))	SO:282023
MINERA YAULI S.A.	(Commercial Invoice No.)	
AV. PEDRO DE OSMA 450 BARRANCO	GEV 5487	RI:132-0-4130/1
LIMA - PERU.		
	DATA (Date)	IS/ORD No. (Your Order No.)
	March 24th, 1997	PO 413/96

CONSIGNATARIO (Consignee)	MARCAS (Marks)
MINERA YAULI S.A.	MINERA YAULI S.A.
	P.D. No. 96-014
	LIMA - PERU.
	VIA CALLAO - VOL.NR. 95524
	MADE IN BRAZIL

NOTA DE IMPORTACAO (Import License No.)	PAIS DE ORIGEM (Country of Origin)	CONDICOES DE VENDA (Sale Terms)
	BRAZIL	FOB/SANTOS

PORTO DE EMBARQUE (Port of Loading)	PORTO DE DESTINO (Port of Discharge)	CONDICOES DE PAGAMENTO (Payment Term)
SANTOS BRASIL PORT	CALLAO PORT	US\$ 36,253.00 - L/C A LA VISTA

PESO LIQUIDO (Net Weight)	2,200.00 Kg	PESO BRUTO (Gross Weight)	2,610.00 Kg
---------------------------	-------------	---------------------------	-------------

ITEM	QUANT	DESCRICAO DA MERCADORIA (Description of Goods)	PES. LIQ. Kg (Net Weight in Kg)	PRECO (Price) US\$ (Unit) (Unit)	TOTAL (Total) US\$
1	1	MOTOR ELECTRICO GENERAL ELECTRIC DE 200 HP 2.300/4160V 600 RPM SEGUN PEDIDO DIRECTO 96-014. 282002189	2,200.00	36,253.00	36,253.00
TOTAL FOB/SANTOS.....					US\$ 36,253.00

-L/C IM-1064 DEL BANCO SANTANDER.



-GEVISA S.A.
 ESTRADA SP 101 KM 4 CAMPINAS SP
 BRASIL/TELF. 192-40-8520
 FAX: 192-40-8511.

[Signature]
 RODRIGO V. RAFANI
 EXPORT SECTOR

ANEXO 5

GE MOTORS

- D A T A S H E E T -

WOUND ROTOR MOTOR

CUSTOMER : MINERA YAULI S.A.
CUSTOMER ORDER : PD 413/96
GE MODEL : 5MR82113900601 DESIGN : KA204P649A
SO : 2820237 RI : 132-0-4130/01
QTY : 1 SERIAL # : 282002189

POWER : 200 HP TYPE : MR
POLES : 12 FRAME : 8211S
VOLTAGE : 2400/4160 V ENCLOSURE : IP23
FREQUENCY : 60 HZ PHASES : 3 SERVICE FACTOR : 1.15
INSULATION CLASS : F
TEMPERATURE RISE : 80 C /RES @ SF 1.0

WINDING : WINCHE
MAX. ALTITUDE : 4801 m
LOAD WK2 REF. TO MOTOR SHAFT : 2027 Kgf \cdot m

----- Calculated Performance -----

RATED RPM : 590
RATED CURRENT : 55.5/32.0 A
RATED TORQUE : 2414 Nm
RATED KVA : 231
STATOR CONNECTION : DELTA/ Y
STARTING METHOD : BY RHEOSTAT
TIME RATING : S4 / S5
BREAKDOWN TORQUE : 285 %
COUPLING TYPE : DIRECT
ARRANGEMENT : B3D
ROTATION : DUAL
AMB. TEMP. (MIN/MAX) : -18/20 C
TOTAL WEIGHT (calc.) : 2200 kgf
ROTOR WK2 (calculated) : 100 kgf \cdot m
MAX. BRG. VIBR. (PK-PK) : 76 microns
BEARING TYPE : ANTI-FRICTION
BEARING LUBRICATION : GREASE
NOISE LEVEL (dba) : 85.0 @ 3.3 ft
MAX CAPACITOR KVAR : 180
WINDING RESIST. @ 25C : 0.7387 Ohms L-L
WINDING NUMBER : M83C100393
SECONDARY VALUES
VOLTAGE : 293 V
CURRENT : 313 A
ROTOR RESIST. @ 25C : 0.015 Ohms
ROTOR CONNECTION : D
INSTRUCTION BOOK : GEEP-T-24-I
ROTOR TEMP. RISE : 80 C /RES

NOTES:

DUCT TYPE : S4/S5 - 25 START/HOUR CYCLE 60% ED

PREPARED BY : JOSE LUIZ DE MORAES

| SH 1 OF 2

APPROVED:

| Nov 11, 96 | REV:00 |

| DS2820237 |

ROTATING MACHINE TEST REPORT

CUSTOMER : MINERA YAULI S.A.

INDUCTION MOTOR ROUTINE TEST RESULTS

S.D. :	2820237	TYPE :	MR	RPM :	590
S.N. :	282002189	MODEL :	5MR82113900601	VOLTS :	4160
R.N. :		H. P. :	200	AMPS :	32.0
E.N. :		POLES :	12	SEC. VOLTS :	293
ENCL :	IP23	FREQU :	60 HZ	SEC. AMPS :	313.0

1. WINDING RESISTANCES

1.1 Stator-Phase 1-2=	2.1400	Ohms	1.2 Rotor-Phase 1-2=	0.0140	Ohms
	2-3=	2.1400	Ohms	2-3=	0.0140
	3-1=	2.1400	Ohms	3-1=	0.0140

Internal Temperature = 29.0 - by TER

2. INSULATION RESISTANCES

2.1 - Stator winding/ground=	1400.0	Mohm at	1000	volts-60	sec.
2.2 - Rotor winding/ground=	800.0	Mohm at	1000	volts-60	sec.
2.3 - Space Heater /ground=		Mohm at		volts-60	sec.

3. HIGH POTENTIAL TESTS

3.1 - Stator winding/ground=	9320	Volts at 60 hz during 60	sec.
3.2 - Rotor winding/ground=	1600	Volts at 60 hz during 60	sec.
3.2 - Space Heater /ground=		Volts at 60 hz during 60	sec.

4. VIBRATION MEASUREMENTS

		MILS	INCH/SEC		MILS	INCH/SEC
O.E. Vert. =	0.130	0.018	O.D.E.Vert.=	0.140	0.013	
Hor. =	0.150	0.013	Hor.=	0.130	0.013	
Axial =	0.180	0.015	Axial=	0.170	0.015	
Frame Vert. =	0.130	0.017	Frame Hor. =	0.140	0.011	

5. SECONDARY VOLTAGE AT OPEN ROTOR WINDING

Stator voltage(applied)= 700 volts/Rotor Voltage(induced)= 49,0 volts

6. ACCESSORIES

6.1 RTD Resistance measurements

Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9

6.2 Space Heaters (power)

Applied Voltage= volts / Measured Current = amps

02/17/97

ROTATING MACHINE TEST REPORT

CUSTOMER : MINERA YAULI S.A.

INDUCTION MOTOR ROUTINE TEST RESULTS

S.O. :	2820237	TYPE :	MR	RPM :	590
S.N. :	282002189	MODEL :	5MR82113900601	VOLTS :	4160
R.N. :		H. P. :	200	AMPS :	32.0
E.N. :		POLES :	12	SEC. VOLTS :	293
ENCL :	IP23	FREQU :	60 HZ	SEC. AMPS :	313.0

7. NO LOAD LOSSES AND EXCITING CURRENT (60 Hz)

LINE VOLTAGE (VOLTS)	LINE CURRENT (AMPS)	TOTAL N.L.LOSSES (KW)	NO LOAD CHARACTERISTICS
4130	17.2	6.65	NO LOAD CURRENT
5040	26.0	9.45	
4620	22.0	8.12	18.3 AMPS
4200	18.6	7.07	
3850	16.4	6.37	TOTAL NO LOAD LOSSES
3500	14.6	5.74	
3150	12.8	4.97	7.05 KW
2800	11.2	4.27	
2450	9.8	3.71	FRICITION & WINDAGE LOSSES
2100	8.4	3.15	
1750	7.0	2.59	1.25 KW
1400	5.6	2.38	
1050	4.2	1.89	STATOR I2R LOSSES
700	2.8	1.68	1.10 KW
			CORE LOSSES
			4.70 KW

8. LOCKED ROTOR TEST

	LINE VOLTAGE VOLTS	LINE CURRENT AMPS	INPUT POWER KW	TORQUE Lbs.Ft
AT TEST POINT 1	2800	110.4	115.9	-
AT TEST POINT 2				
AT RATED VOLTAGE	4160	164.0	255.9	1858.5

[Signature]
TESTED BY

[Signature]
APPROV

[Signature]
APPROV

02/13/97

DATE

SN - 282002189 SO - 2820237

MR - 12 p - 200.42 = 416.0 V / 530 RPM

NO LOAD SATURATION WAVE EXC CURRENT

KW
AMPS

TOTAL NO LOAD LOSSES = 7.05 KW
 FRICTION/WINDAGE LOSSES = 1.25 KW
 N.L. I²R = 1.10 KW
 CORE LOSSES = 4.70 KW

10 20

TOTAL EXC. CURRENT = 18.3 A

18.3 A

75 15

○ KW
 x AMPS

5 10

416.0 V

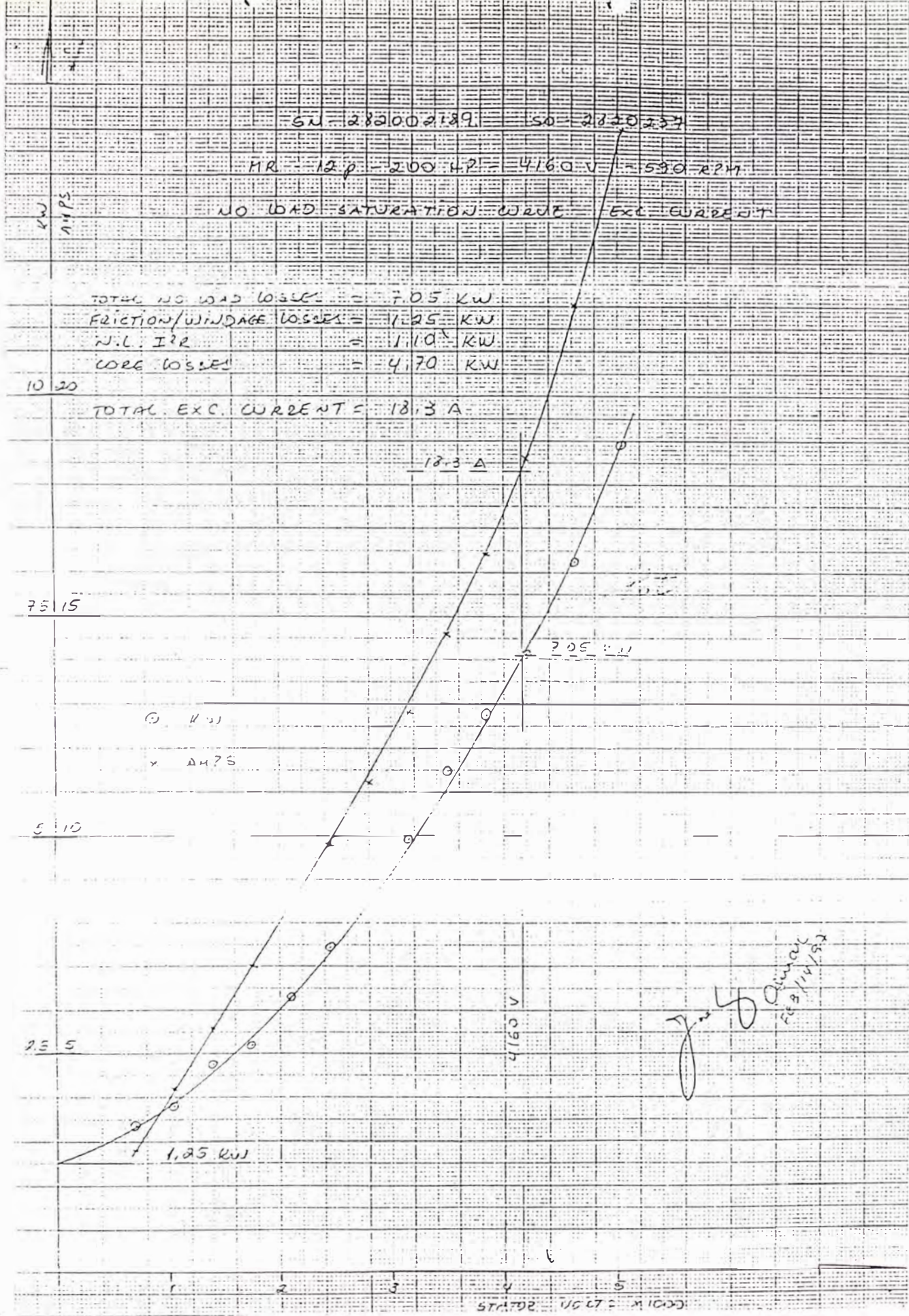
1.25 KW

Handwritten signature and date:
 J. S. ...
 FEB 14 1952

25 5

1 2 3 4 5

STATOR VOLT = 1100



ANEXO 6



Industrial Power Resistors

Total Ohms	Style Number	Cont. Amps	Total No. of Grids	Ohms Per Grid	No. of Steps	Grids Per Step	Wt. Lbs.
18" Unit Frame							
.146	44A6400G01	160	14	.0104	7	2	29
.187	44A6401G01	145	18	.0104	9	2	30
.196	44A6400G02	140	14	.014	7	2	26
.274	44A6400G03	118	14	.0196	7	2	23
.320	44A6401G02	127	20	.014	10	2	31
.39	44A6401G03	107	20	.0196	10	2	26
.51	44A6403G01	94	20	.0254	10	2	29
.64	44A6403G02	84	20	.0318	10	2	28
.71	44A6402G01	83	28	.0254	7	4	35
.89	44A6402G02	74	28	.0318	7	4	31
.93	44A6403G03	70	20	.0462	10	2	23
1.33	44A6402G03	61	30	.0462	7	4&6	27
1.50	44A6405G01	54	20	.078	10	2	25
2.18	44A6405G02	45	20	.109	10	2	22
2.34	44A6404G01	47	30	.078	7	4&6	30
3.1	44A6405G03	38	20	.155	10	2	20
3.3	44A6404G02	40	30	.109	7	4&6	27
4.0	44A6407G01	33	20	.20	10	2	22
4.7	44A6404G03	33	30	.155	7	4&6	23
6.0	44A6406G01	29	30	.20	7	4&6	25
6.0	44A6407G02	27	20	.30	10	2	19
8.0	44A6407G03	23	20	.40	10	2	18
9.0	44A6406G02	24	30	.30	7	4&6	22
12.3	44A6406G03	20	32	.40	8	4	20
25 1/2" Unit Frames							
.250	44A6408G01	160	24	.0104	12	2	45
.33	44A6409G01	145	32	.0104	16	2	54
.34	44A6408G02	140	24	.014	12	2	39
.45	44A6409G02	127	32	.014	16	2	45
.51	44A6408G03	118	26	.0196	13	2	35
.67	44A6409G03	107	34	.0196	17	2	39
.81	44A6410G01	94	32	.0254	16	2	43
1.1	44A6410G02	84	34	.0318	17	2	39
1.17	44A6411G01	83	46	.0254	11	4&6	53
1.53	44A6411G02	74	40	.0318	12	4	47
1.6	44A6410G03	70	34	.0462	17	2	33
2.31	44A6411G03	61	50	.0462	12	4&6	39
2.67	44A6413G01	54	34	.078	17	2	37
3.7	44A6413G02	45	34	.109	17	2	32
3.9	44A6412G01	47	50	.078	12	4&6	50
5.5	44A6412G02	40	50	.109	12	4&6	38
5.6	44A6413G03	38	36	.155	18	2	29
6.5	44A6414G01	33	34	.20	17	2	31
6.1	44A6412G03	33	52	.155	13	4	33
10.0	44A6415G01	29	50	.20	12	4&6	36
10.2	44A6414G02	27	34	.30	17	2	27
14.4	44A6414G03	23	36	.40	18	2	26
15.6	44A6415G02	24	52	.30	13	4	31
20.3	44A6415G03	20	52	.40	13	4	23

Based on 375°F rise.

More than two terminal clamps including hardware per frame - add \$5.00 per tap. Supplied only when ordered with unit frames.

Grids in 40' step only.



Industrial Power Resistors

Total Ohms	Ampere Rating ⁽¹⁾ For AC and DC Applications							1 min^2 $\frac{1}{2} \text{ min}^2$ $\frac{1}{4} \text{ min}^2$ $\frac{1}{16} \text{ min}^2$				Cont. KW Rating ⁽²⁾
	Continuous	Class 170	Class 150	Class 150	Class 140	Class 130	Class 110	60 Sec.	30 Sec.	15 Sec.	10 Sec.	
18 Inch Unit Frames												
.146	160	225	270	300	350	400	560	365	510	715	870	3.74
.167	145	195	240	270	320	360	500	365	510	715	870	3.93
.196	140	195	230	260	310	350	490	270	385	515	630	3.84
274	116	165	195	220	260	295	415	300	275	340	420	3.64
280	127	170	205	230	280	315	445	270	385	515	630	4.52
.39	107	142	175	200	235	265	275	200	275	340	420	4.49
.51	94	125	155	175	215	235	330	190	265	380	465	4.51
.64	84	110	137	155	185	210	295	153	220	305	370	4.48
.71	83	100	122	150	185	208	290	180	265	380	465	4.89
.89	74	100	118	132	163	185	260	153	220	305	370	4.87
.93	70	93	115	127	155	174	245	105	145	208	255	4.53
1.39	61	83	98	110	135	153	215	105	145	208	255	5.17
1.56	54	72	86	100	120	135	190	90	128	180	220	4.55
2.18	45	61	75	82	100	112	157	65	92	130	158	4.41
2.34	47	64	75	85	103	117	165	90	128	180	220	5.17
3.1	38	50	62	70	83	95	133	45	65	91	110	4.48
3.5	40	54	64	72	88	100	140	65	92	130	158	5.23
4.0	33	45	55	60	72	82	115	45	63	90	110	4.46
4.7	30	45	54	60	72	82	115	45	65	91	110	5.06
6.0	29	40	50	52	63	72	103	45	63	90	110	5.06
6.0	21	36	45	50	59	67	94	32	45	65	75	4.37
8.0	23	31	39	42	48	57	80	23	32	45	52	4.23
9.0	24	32	36	43	52	60	84	32	45	65	75	5.18
12.8	20	28	33	36	44	50	70	23	32	45	52	5.12
26 1/2 Inch Unit Frames												
250	160	225	270	300	350	400	560	365	510	715	870	6.40
33	145	195	240	270	320	360	500	365	510	715	870	7.00
34	140	195	230	260	310	350	490	270	385	515	630	6.59
45	127	170	205	230	290	315	445	270	385	515	630	7.26
.51	118	165	195	220	260	295	415	200	275	340	420	7.10
67	107	142	175	200	235	265	275	200	275	340	420	7.64
81	94	125	155	175	215	235	330	190	265	380	465	7.17
1.08	84	110	137	155	185	210	295	153	220	305	370	7.62
1.17	83	100	122	150	185	208	290	180	265	380	465	8.06
1.53	74	100	118	132	163	185	250	153	220	305	370	8.38
1.57	70	93	115	127	155	174	245	105	145	208	255	7.69
2.31	61	83	98	110	135	153	215	105	145	208	255	9.60
2.67	54	72	86	100	120	135	190	90	128	180	220	7.79
3.7	45	61	75	82	100	112	157	65	92	130	158	7.49
3.9	47	64	75	85	103	117	165	90	128	180	220	8.62
5.5	40	54	64	72	88	100	140	65	92	130	158	8.72
5.6	38	50	62	70	83	95	133	45	65	91	110	8.04
6.8	33	45	55	60	72	82	115	45	63	90	110	7.41
8.1	35	45	54	60	72	82	115	45	65	91	110	8.77
10.0	29	40	47	52	63	72	103	45	63	90	110	8.21
10.2	27	36	45	50	59	67	94	32	45	65	75	7.44
14.4	23	31	39	42	48	57	80	23	32	45	52	7.62
15.6	24	32	36	43	52	60	84	32	45	65	75	9.99
20.8	20	28	33	36	44	50	70	23	32	45	52	6.32

(1) Based on 375°C use.



Industrial Power Resistors

Style Number Crossover Index

Old Style Number	New Style Number	Unit Frame Size
1775 145	44A6400G01	18
1778 146	44A6400G02	18
1778 147	44A6400G03	18
1776 148	44A6401G03	18
1776 149	44A6403G01	18
1778 150	44A6403G02	18
1775 155	44A6403G03	18
1776 156	44A6405G01	18
1775 157	44A6405G02	18
1775 158	44A6405G03	18
1776 159	44A6406G03	18
1778 160	44A6407G01	18
1776 161	44A6407G02	18
1778 162	44A6407G03	18
1776 163	44A6408G01	26
1776 164	44A6408G02	26
1776 165	44A6408G03	26
1778 166	44A6409G03	26
1776 167	44A6410G01	26
1778 168	44A6410G02	26
1770 169	44A6410G03	26
1776 170	44A6412G03	26
1776 173	44A6413G01	26
1776 180	44A6413G02	26
1776 181	44A6413G03	26
1776 182	44A6414G01	26
1776 183	44A6414G02	26
1776 184	44A6414G03	26
1776 185	44A6415G03	26
1777 564	44A6401G01	18
1777 565	44A6401G02	18
1777 566	44A6402G01	18
1777 567	44A6402G02	18
1777 568	44A6402G03	18
1777 569	44A6403G01	18
1777 570	44A6404G02	18
1777 571	44A6404G03	18
1777 572	44A6406G01	18
1777 573	44A6406G02	18
1777 574	44A6403G01	26
1777 575	44A6409G03	26
1777 576	44A6411G01	26
1777 577	44A6411G02	26
1777 578	44A6411G03	26
1777 579	44A6412G01	26
1777 580	44A6412G02	26
1777 581	44A6415G01	26
1777 582	44A6415G02	26

Ordering Information

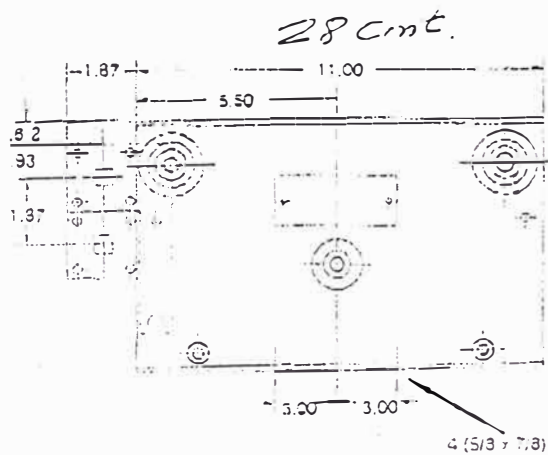
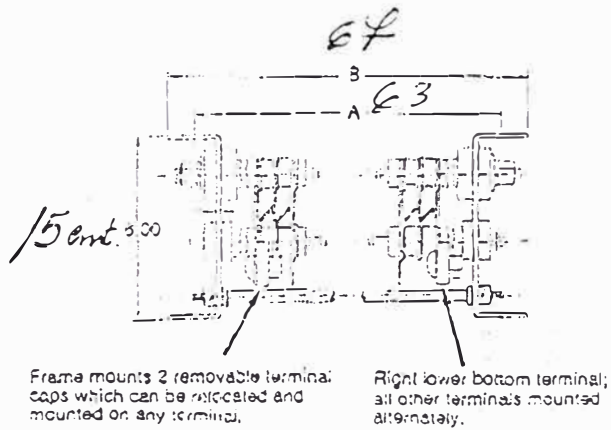
Order by style number.

Dimensions

In inches: Not to be used for construction purposes unless approved.

18 and 26 1/2 Inch Type LG Frames

Frame Size	Dimensions, Inches	
	A	B
18"	16 1/2	13
26 1/2"	25	25 1/2



ANEXO 7

ITEMCANT.DESCRIPCION

01 01 SISTEMA DE ARRANQUE POR CONMUTACION DE RESISTENCIAS ROTORICAS WINCHA 200HP, 2300 VOLTS, 600 RPM, 3Ø, 60HZ, VOLTAGE SECUNDARIO 220 VOLTS AC, ROTOR BOBINADO MOTOR GENERAL ELECTRIC BRASIL

EL ARRANCADOR COMPONE DE LOS SIGUIENTES EQUIPOS:

- 21 Resistencias de acero inoxidable GENERAL ELECTRIC U.S.A. Estos son apropiados para operar en situaciones de vibración severa y muy resistentes a atmósferas contaminantes, así mismo son apropiados para sistemas de arranque de motores de rotor bobinado. El banco de resistencias compone de 21 resistencias (7 por fase) montados sobre cajas de 7 resistencias por fase que conmutarán mediante el accionamiento de los contactores de paso.
CAT. RESISTENCIAS: IC9141A001A101.
- 7 Contactores de Conmutación (7 pagos) GENERAL ELECTRIC U.S.A., LINE 300 SIZE 4, 150 A. 2 NO - 2 NC Bob. de control 110 VAC. CAT.: CR305G002.
- Transformador de control GENERAL ELECTRIC U.S.A. 250VA, 450/110 VOLTS. CAT.: CR308XT504A
- Relés de control HEAVY-DUTY GENERAL ELECTRIC
- Panel mimico en caseta del operador con indicadores luminosos de las resistencias conmutadas GENERAL ELECTRIC U.S.A. HEAVY-DUTY. CAT.: CR104PLG32R.
- Master Switch GENERAL ELECTRIC U.S.A. Para aplicaciones severas y atmósferas contaminantes, encerramiento NEMA 4, 12 circuitos, contactos mantenidos. CAT.: IC3012N423M12AL07AGO.
- 3 Gabinetes autosoportados tipo abierto, fabricado con planchas de 2mm., y estructura angular, acabado en pintura apòxica y tratamiento anticorrosivo para ambientes contaminantes como mo observado en AMBIENTES DE MINA, cada gabinete contendrá las 7 resistencias por faser requerida por el motor, debidamente instalados.
- Instalación y puesta en servicio en campo con la presencia de 02 Ingenieros de nuestra Compañia a sus instalaciones de COMPAÑIA MINERA YAULI S.A.

PRECIO UNITARIO : US\$ 28.500.00

CARACTERISTICAS TECNICAS DEL EQUIPAMIENTO DE FUERZA Y CONTROL.

ITEM	CANT.	DESCRIPCION
1	18	RESISTENCIAS DE ACERO INOXIDABLE. GENERAL ELECTRIC USA RESISTENTES A VIBRACION Y ATMOSFERAS CONTAMINANTES. CAT.: IC9141 PRECIO UNITARIO : US\$ 750.00
2	06	CONTACTORES GENERAL ELECTRIC USA NEMA LINE 300, HEAVY DUTY, 150 AMP, 2NO-2NC. CONTROL 110VOL. CAT.: CR305G002 PRECIO UNITARIO : US\$ 800.00
3	01	TRANSFORMADOR DE CONTROL GENERAL ELECTRIC USA 250 VA, 460/120 VOLTS AC CAT.: CR308XT5040 PRECIO UNITARIO : US\$150.00
4	06	TEMPORIZADORES ELECTRONICOS KLOCKNER MOELIER / GERMANY HEAVY DUTY CAT.: TE-11-30 A PRECIO UNITARIO : US\$ 60.00
5	01	PANEL MIMICO EN CASETA DE OPERADOR CON INDICADORES LUMINOSOS (12 PILOTOS / 6 DE SUBIDA / 6 DE BAJADA) Y 03 PULSADORES LUMINOSOS "SUBIDA" - "STOP" - "BAJADA". GENERAL ELECTRIC USA. PRECIO UNITARIO : US\$950.00
6	03	GABINETES AUTOSOPORTADOS TIPO ABIERTO FABRICADO CON PLANCHAS DE 2mm DE ESPESOR Y ESTRUCTURA ANGULAR, ACABADO EN PINTURA EPOXICA ANTICORROSIVA PARA AMBIENTES CONTAMINANTES. PRECIO UNITARIO : US\$ 750.00
7	01	GABINETE AUTOSOPORTADO TIPO CERRADO 1P 55 FABRICADO EN PLANCHA DE 2mm DE ESPESOR Y ESTRUCTURA ANGULAR, ACABADO EN PINTURA EPOXICA ANTICORROSIVA PARA AMBIENTES CONTAMINANTES. PRECIO UNITARIO : US\$750.00
		PRECIO TOTAL : US\$22,760.00

PLANOS

Plano 1: Esquema eléctrico funcional del winche de Izaje actual.

