



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**“INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL
CONVERTIDOR DE CUATRO CUADRANTES
PARA USO EN LABORATORIO DE
ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS”**

AUTOR

VÍCTOR ALFREDO SEPÚLVEDA JARA

SEMINARIO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN ELECTRICIDAD

CONCEPCIÓN – CHILE

AÑO 2015



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

“INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL CONVERTIDOR DE CUATRO CUADRANTES PARA USO EN LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS”

AUTOR

VÍCTOR ALFREDO SEPÚLVEDA JARA

DOCENTE PATROCINANTE: FABRICIO SALGADO DÍAZ

DOCENTES ADJUNTOS: JAVIER RIEDEMANN AROS

JUAN CARLOS DELGADO NAVARRO

INDICE

OBJETIVOS	1
RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPITULO 1: ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS	4
1. Introducción.....	4
2. Estructura de los accionamientos.....	4
CAPITULO 2: MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA.....	6
1. Introducción.....	6
2. Modelo representativo del motor de C.C.....	6
2.1. Circuito equivalente	6
2.2. Modelo de placa de terminales del motor de C.C.	7
3. Curva de magnetización de la máquina de C.C.....	8
4. Funcionamiento	9
5. Potencia máxima y Torque máximo	11
6. Flujo de potencia en motores de C.C.....	12
7. Modelo para el análisis transiente y dinámico.....	13
8. Clasificación de los motores de C.C.....	15
CAPITULO 3: CONTROL DE UN MOTOR C.C.	16
1. Introducción.....	16

2.	Control de velocidad en motores DC.....	16
2.1.	Motor de excitación independiente o separada.....	17
2.2.	Motor C.C. en derivación o Shunt	19
2.3.	Motor C.C. serie.....	20
2.4.	Motor C.C. compuesto.....	21
2.5.	Motor C.C. imanes permanentes.....	22
3.	Corriente de arranque en motores de C.C.	23
4.	Inversión del sentido de rotación de los motores de C.C.	24
5.	Frenado eléctrico de los motores C.C.	24
5.1.	Frenado regenerativo	24
5.2.	Frenado dinámico.....	25
5.3.	Frenado de contracorriente (Plugging)	26
6.	Control en cuatro cuadrantes	26
6.1.	Funcionamiento en cuatro cuadrantes.....	26
6.2.	Sistema Ward – Leonard.....	28

CAPITULO 4: CONVERSORES DE CORRIENTE ALTERNA (C.A.) A CORRIENTE CONTINUA (C.C.)29

1.	Introducción	29
2.	Fundamentos.....	29
3.	Rectificadores controlado C.A. C.C.	32
3.1.	Rectificación monofásica controlada.....	32
3.2.	Rectificación trifásica controlada	39

CAPITULO 5: SISTEMA DE CONTROL	47
1. Introducción	47
2. Sistema de Control.....	47
CAPITULO 6: APLICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN.....	48
1. Introducción	48
2. Aplicación	48
2.1. Introducción	48
2.2. Equipos	48
2.3. Funcionamiento.....	51
3. Implementación	52
3.1. Introducción	52
3.2. Atril de trabajo	52
3.3. Tableros de suministro eléctrico	54
3.4. Cubicación de materiales	57
CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	61
BIBLIOGRAFÍAS	62
ANEXO A: INSTRUCCIONES Y JUSTIFICACIONES.....	63
ANEXO B: DESCRIPCIÓN DEL CONVERTIDOR.....	70
ANEXO C: EXPERIENCIA DE LABORATORIO	79
ANEXO D: COTIZACIONES	85

OBJETIVO

El presente Seminario de Título tiene por objetivo implementar un banco de pruebas en el laboratorio Accionamientos Eléctricos para el control de un motor de corriente continua, por medio de un convertidor de cuatro cuadrantes, y así abordar en forma práctica los temas tratados en el ramo de accionamientos eléctricos, teoría de rectificadores en accionamientos de motores corriente continua.

RESUMEN

En el presente Seminario de Título se realizó un informe detallado para la implementación de un banco de pruebas para el laboratorio de Accionamientos Eléctricos para el control de un motor de corriente continua, por medio de un convertidor de cuatro cuadrantes. Este informe se divide en: marco teórico y aplicación e implementación.

El marco teórico es una síntesis de diferentes tópicos vistos en las asignaturas de Máquinas Eléctricas (Motor de corriente continua y su Control), Electrónica de Potencia (Convertidores de CA/CC) y Accionamientos Eléctricos (Sistemas de Control y Accionamientos de Motor DC). Y ordenados de forma armónica para la comprensión de un estudiante de la asignatura de “Accionamientos Eléctricos” como un apoyo al aprendizaje. Este contenido se puede ver en los cinco primeros capítulos.

La aplicación e implementación de este informe se encuentra en el capítulo 6 y en los anexos. Este tópico se desarrolló como un proyecto de construcción, ya que implícitamente posee un anteproyecto, proyecto, construcción y vida útil.

Los principales resultados de este informe son: el diagrama del circuito de funcionamiento, la cubicación de materiales, la experiencia de laboratorio, las cotizaciones entre otros.

Además de lo mencionado anteriormente, este seminario es parte del plan de modernización del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la universidad del Bío-Bío, y es una profundización del seminario, “ESTUDIO Y PUESTA EN SERVICIO DEL CONVERTIDOR DE CUATRO CUADRANTES PARA USO EN EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS”, realizado en 2013 por alumnos de la carrera.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la energía eléctrica es fundamental para el desarrollo de la sociedad, en donde, se necesitan cada vez más nuevas tecnologías, amistosas con el medio ambiente y menos contaminante. Es que en este contexto, los motores eléctricos son cada vez más utilizados en diferentes ámbitos, ya no tan solo en la clásica industria y en la generación eléctrica, sino que también en otras esferas, siendo una de las más importantes el transporte.

Los más utilizados en el sector del transporte dado a su potencia y tracción son los motores de corriente continua. Estos motores poseen un fácil control de velocidad, elevados torques de partidas y ofrecen la posibilidad de giro en ambos sentidos, estas propiedades los hacen ideales para esta aplicación, tales como en ascensores y trenes [1].

El estudio de los motores de corriente continua y el control de estos, son de vital importancia para la obtención de buenos profesionales. Esta es la principal razón de la realización de este seminario.

El Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (DIEE) de la Universidad del Bío-Bío está llevando a cabo un plan de modernización que le permitirá sostener en el tiempo esta ventaja comparativa con otras instituciones de educación superior.

El DIEE analizó cada uno de los temas tratados en el ramo de accionamientos eléctricos, y las experiencias de laboratorio que refuerzan esta formación. Como resultado del análisis, se observa que el contenido de teoría de rectificadores en accionamientos de motores DC no es abordado en las experiencias de laboratorio. Por lo tanto, este seminario tiene la finalidad de implementar un banco de pruebas en el Laboratorio de Accionamientos Eléctricos para el control de un motor de corriente continua, por medio de un convertidor de cuatro cuadrantes, y así abordar en forma práctica los temas antes mencionados.

Este seminario se divide en dos partes, una teórica (capítulos 1 al 5) que es necesaria para la comprensión de las fortalezas y limitaciones que tienen los equipos (convertidor y motor) para su posterior implementación, y otra de aplicación (capítulo 6 y anexos), en donde se le da vida al proyecto.

CAPITULO 1: ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS

1. Introducción

Por definición “Accionamientos Eléctricos” son un conjunto de elementos mecánicos, eléctricos (de potencia), y electrónicos (de control), que interconectados adecuadamente y alimentado desde un sistema eléctrico de potencia, con el fin de obtener una respuesta mecánica controlada tanto en sus parámetros cinemáticos (posición y velocidad) como en sus parámetros dinámico (fuerza, par o torque y potencia).

Los requerimientos que se le exigen al sistema mecánico son de índole dinámica (control de aceleración y tiempos de respuesta cortos) o de precisión (mantenimiento de velocidad constante, mantenimiento de par a bajas velocidades y parada en posición).

Además, la aplicación de un accionamiento presenta ventajas tanto en la parte eléctrica (menor intensidad de arranque en el motor, mayor par de arranque, ahorro de energía y control del factor de potencia) como en la parte mecánica (control rápido y continuo, y mando a distancia). [2]

2. Estructura de los accionamientos

Un sistema de accionamientos eléctricos se puede ver gráficamente (ver Figura 1.1) como un diagrama de bloque con realimentación. [2]

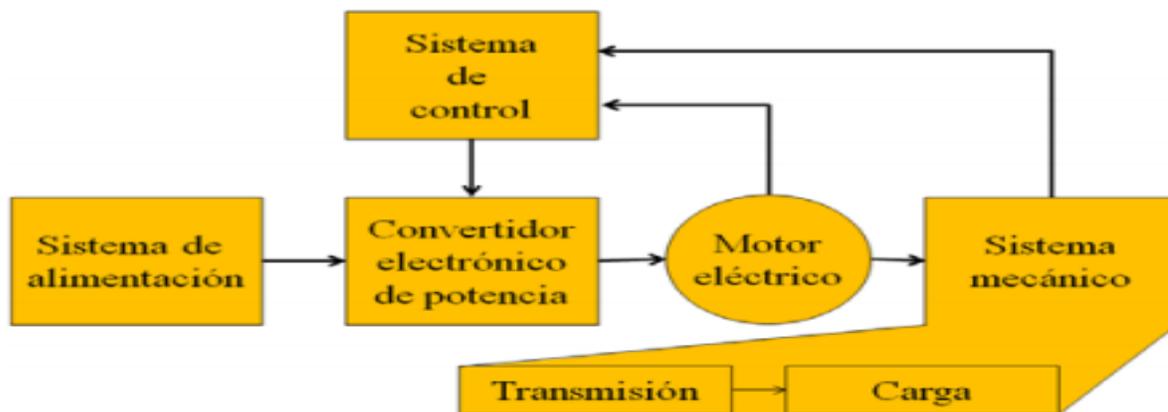


Figura 1.1 Estructura básica de un accionamiento eléctrico.

De la tabla 1.1 se estudiará en profundidad en los capítulos siguientes el motor eléctrico (ver Cap.2y Cap. 3), convertidor electrónico de potencia (ver Cap.4) y sistema de control (ver Cap.5).

Tabla 1.1 *Descripción de partes de la estructura básica de un accionamiento eléctrico.* [2]

Elemento	Descripción
Sistema de alimentación	Suministra la potencia eléctrica necesaria tanto para todos los elementos eléctricos y electrónicos del accionamiento. La alimentación puede estar disponible en C.C. o A.C. desde la red eléctrica, generadores aislados o baterías.
Motor eléctrico	Se encarga de poner en funcionamiento el sistema mecánico. Actualmente se puede usar cualquier motor industrial tanto de A.C. como de C.C.
Convertidor electrónico de potencia	Entrega al motor la energía eléctrica en la forma adecuada a la respuesta que se espera de éste. Su estructura en general es la de un convertidor electrónico que, según las características del motor y de la alimentación, puede ser A.C.-C.C., A.C.-A.C., C.C.-A.C. o C.C.-C.C. En muchos casos son reversibles (permiten que el motor devuelva energía a la red, como en el caso del frenado regenerativo del motor).
Transmisión	Es el elemento que transmite la energía mecánica del motor a la carga. Puede ser directa (hay un eje común al motor y a la carga, como en el caso de un taladro), o indirecta (el motor se conecta a la carga a través de engranajes, correas, bielas..., como en el caso de un montacargas)
Carga mecánica	Es el elemento contra el que se realiza la fuerza o el par para realizar el movimiento. Puede ser pasiva (la fuerza o el par resistente es opuesto a la velocidad, por ej. un taladro), o activa (la fuerza o el par resistente tiene un sentido concreto, independiente del sentido de la velocidad, por ej. un ascensor).
Sistema de control	Se encarga de generar y entregar las órdenes de funcionamiento del accionamiento a partir de la información recibida de los sensores y de las consignas (manuales o programadas) que se le hayan dado. Se implementa con circuitos electrónicos de baja potencia (microcontroladores, PLC, DSP,...).
Sensores	Miden los parámetros de salida y entregan la información al Sistema de control. Pueden ser eléctricos (transformadores de intensidad, sondas Hall,...), o mecánicos (tacómetros, finales de carrera,...). Pueden estar acoplados mecánicamente, o tomar la información a distancia (detector de proximidad, sensores optoelectrónicos,...), en cuyo caso le llaman observadores.

CAPITULO 2: MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

1. Introducción

Para conocer cómo se comporta un motor de corriente continua, se necesita representar por medio de diagramas o circuitos equivalentes para comprender de forma gráfica su funcionamiento. Además, por medio de curvas se analiza su comportamiento en sus diferentes formas en que conectemos el devanado de campo (velocidad versus torque).

2. Modelo representativo del motor de C.C

2.1. Circuito equivalente

El circuito equivalente de un motor dc representa el circuito del inducido por una fuente ideal de voltaje V_A y una resistencia R_A . Esta representación es el equivalente de Thevenin de la estructura del rotor, incluidas las bobinas del rotor, los interpolos y los devanados de compensación, si los hay. La caída de tensión en la escobilla está dada por una pequeña batería V_{esc} . opuesta en dirección al flujo de la corriente de la máquina. Las bobinas de campo que producen el flujo magnético en el generador están dadas por la inductancia L_f y la resistencia R_f . La resistencia separada R_{adj} representa la resistencia exterior variable, utilizada para controlar la cantidad de corriente en el circuito de campo. (Ver Figura 2.1a)

Existen algunas variantes y simplificaciones de este circuito equivalente básico. Con frecuencia, el voltaje de caída en la escobilla es solo una pequeña fracción del voltaje generado en una máquina. En casos en los cuales no es demasiado crítico, el voltaje de caída en la escobilla puede despreciarse o incluirse aproximadamente en el valor de R_A . a veces, la resistencia interna de las bobinas de campo también se agrupa con la resistencia variable y a este total se le llama R_f . (Ver Figura 2.1b) [3]

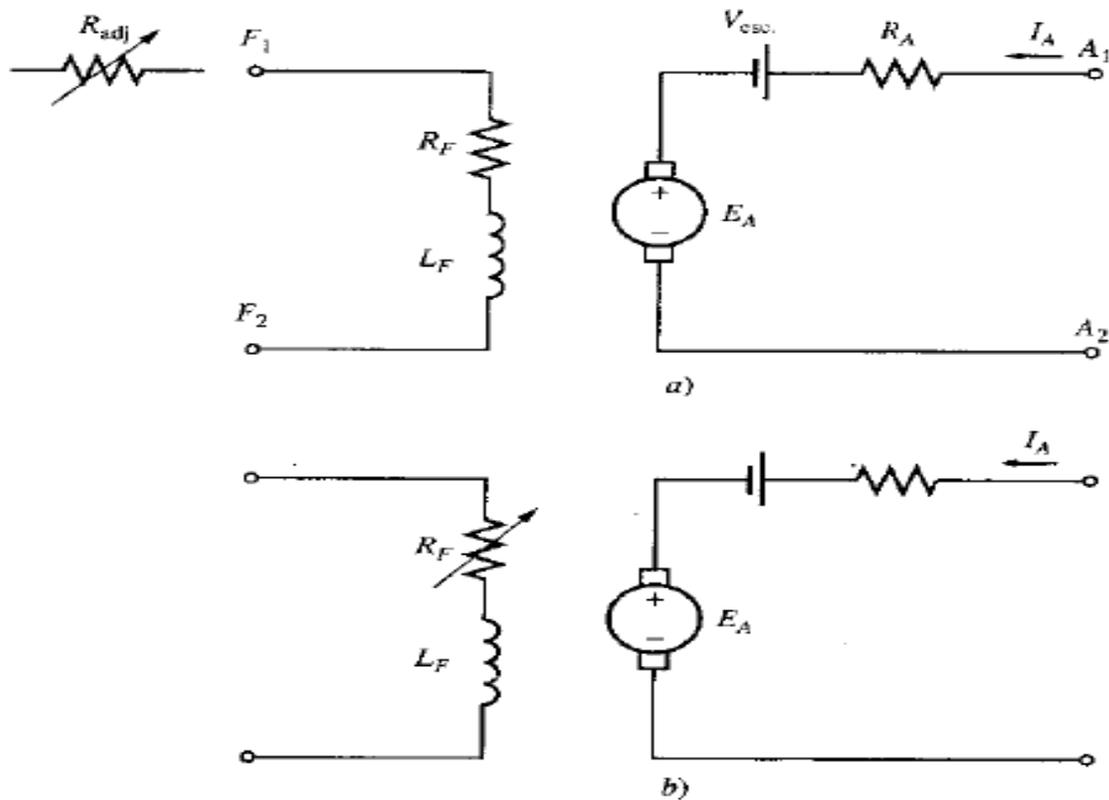


Figura 2.1 a) Circuito Equivalente de un motor DC. b) Circuito Equivalente simplificado de un motor DC.

2.2. Modelo de placa de terminales del motor de C.C.

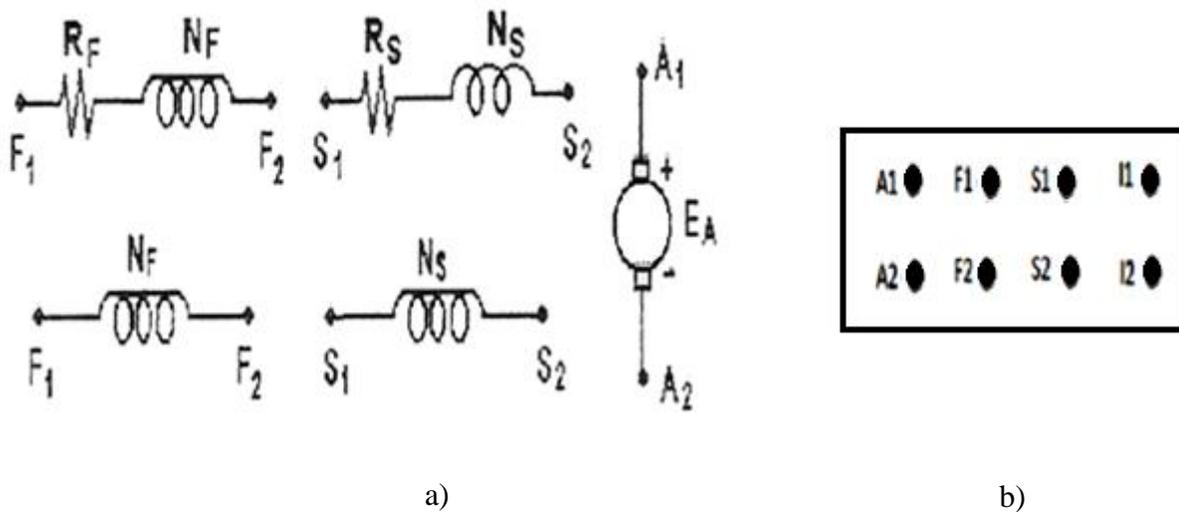


Figura 2.2 a) Representación de motor C.C por medio de resistencias e inductancias. b) Terminales de conexión de un motor C.C.

Tabla 2.1 *Terminales de un motor C.C.* [4]

Norma USA	Norma UE	Descripción
$F_1 - F_2$	C - D	Terminales del devanado de campo Shunt o paralelo. Es de baja corriente I_f ; muchas vueltas N_f y considerable resistencia R_f e inductancia L_f .
$S_1 - S_2$	E - F	Terminales del devanado de campo serie. Es de alta corriente I_a ; pocas vueltas N_s y considerable resistencia R_s e inductancia L_s .
$A_1 - A_2$	A - B	Terminales de la armadura. Incluye al devanado de inducido (I_a , R_a , E_a); y la caída de voltaje en las escobillas ($V_{BD} \approx 2\text{VOLT}$).
$I_1 - I_2$	G - G	Terminales del devanado de los interpolos.

3. Curva de magnetización de la máquina de C.C.

Muestra la relación entre la corriente de campo I_f y la tensión inducida en vacío E_a , para una velocidad ω constante. También se le denomina *característica de vacío*. [4]

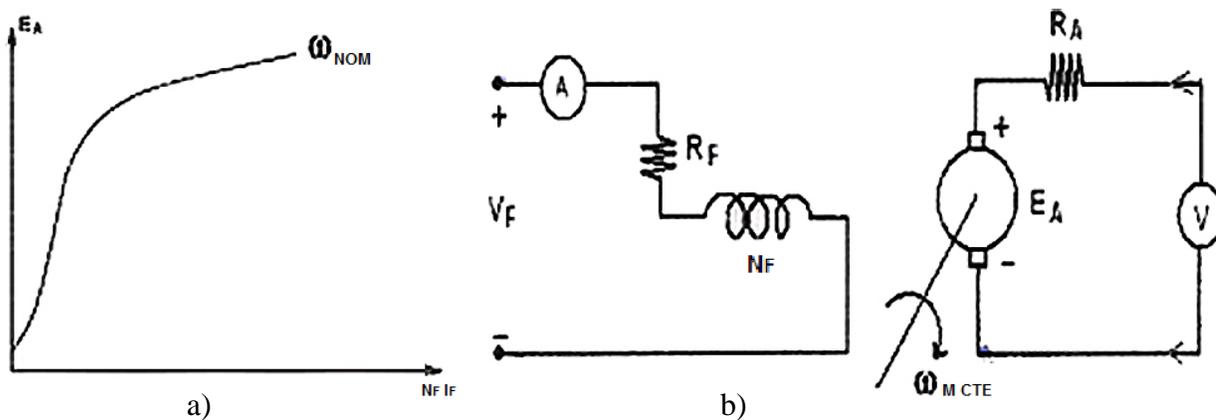


Figura 2.3 a) Curva de magnetización b) Motor C.C. trabajando sin carga.

Obtención experimental

Con una máquina motriz externa se impulsa el inducido a la velocidad nominal ω constante. Se aumenta paulatinamente I_f (sin retroceder) y se mide cada valor de I_f y el respectivo valor de E_a , hasta observar saturación. El procedimiento se repite con I_f descendiente.

La curva interpolada entre la ascendente y descendente es la Curva de Magnetización.

Para una determinada I_f , y su correspondiente Φ_f :

$$\text{A la velocidad } \omega \quad : E_a = K \cdot \omega \cdot \Phi_f \quad (2.1)$$

$$\text{A otra velocidad } \omega' \quad : E_a' = K \cdot \omega' \cdot \Phi_f \quad (2.2)$$

$$\text{De lo anterior se obtiene} \quad : E_a' / E_a = \omega' / \omega \quad (2.3)$$

Es decir, para una determinada corriente de campo I_f la razón entre dos velocidades ω y ω' es igual a la razón entre las corrientes F.E.M.S. inducidas E_a y E_a' . [4]

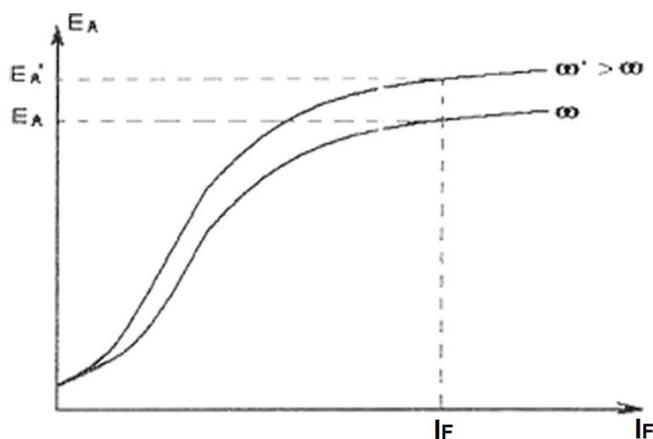


Figura 2.4 Curva de magnetización, muestra tomada con I_f de manera ascendente y luego descendente.

$$\text{Relación válida para generador o motor:} \quad \frac{E_a'}{E_a} = \frac{\omega'}{\omega} = \frac{n'}{n} \quad (2.4)$$

4. Funcionamiento

Primero se alimenta el campo (V_f, I_f) y después el inducido (V_T, I_a) estableciéndose en este el torque (T_{ind}) que lo hace rotar. [4]

$$T_{ind} = k \cdot \Phi \cdot I_a \quad (2.5)$$

Al rotar el inducido, también se genera en él una F.e.m.:

$$E_a = k \cdot \Phi \cdot \omega \quad (2.6)$$

En estado estacionario, aplicando LVK en el inducido:

$$V_T = E_a + I_a \cdot R_a \quad (2.7)$$

De las ecuaciones anteriores se tiene la característica Velocidad - Torque: $\omega = f(T_{ind})$

$$V_T = (k \cdot \phi \cdot \omega) + \left(\frac{T_{ind}}{k \cdot \phi}\right) \cdot R_a \quad (2.8)$$

$$\omega = \frac{V_T}{k \cdot \phi} - \frac{R_a}{(k \cdot \phi)^2} \cdot T_{ind} \quad (2.9)$$

Si V_T y ϕ constante, entonces la ecuación anterior es la ecuación de una recta.

Si la máquina no tiene devanado de compensación, la desmagnetización producida por la R.A., aumenta la velocidad de carga. [4]

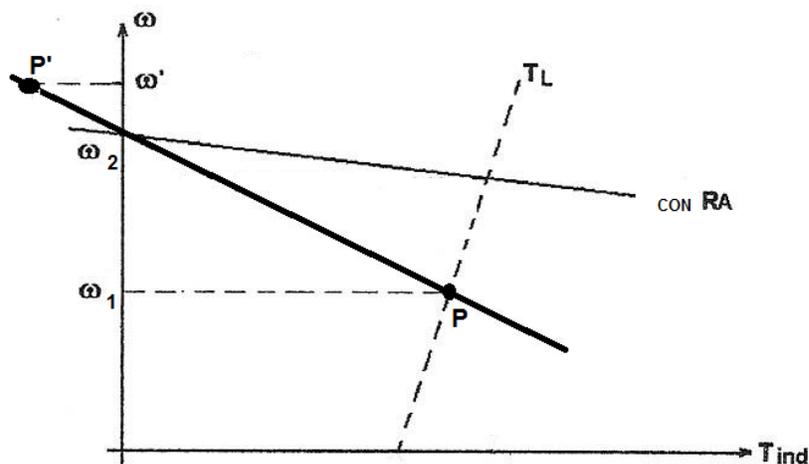


Figura 2.5 Curva característica de Velocidad (ω) v/s Torque (T_{ind}) de un motor C.C.

Observaciones:

- T_L es la característica de una carga mecánica el motor girara a la velocidad ω_L .
- $\omega_0 = \frac{V_T}{k \cdot \phi}$ Es la velocidad sin carga mecánica.
- Puntos en el 2º cuadrante (P') ocurren con T_L y T_{ind} negativos, es decir, cuando la carga impulsa al motor por sobre la velocidad sin carga (ω_0).

En esta situación $E_a > V_T$ por lo que I_a cambia de sentido y la máquina funciona como generador (o frenado regenerativo).

5. Potencia máxima y Torque máximo ($P_{m\acute{a}x}$ y $T_{m\acute{a}x}$)

Ya que los valores nominales de corriente de campo (I_f) y voltaje de armadura (V_a) no se deben sobrepasar, en los métodos de control de velocidad, I_f y V_a resultan ser directamente proporcionales. [4]

Al disminuir I_f o V_a ¿qué valores máximos de potencia y torque se pueden obtener?

Para $0 < \omega < \omega_{nom}$: Se reduce $0 < V_a < V_{a\ m\acute{a}x}$. Considerando I_f e I_a en sus valores máximos (nominales), en este intervalo de velocidad, se tiene que:

$$T_{m\acute{a}x} = k \cdot \phi_{m\acute{a}x} \cdot I_{a\ m\acute{a}x} \quad (2.10)$$

Es decir, el torque máximo es constante (no depende de V_a).

$$P_{m\acute{a}x} = T_{m\acute{a}x} \cdot \omega \quad (2.11)$$

$$P_{m\acute{a}x} = V_a \cdot I_{a\ m\acute{a}x} \quad (2.12)$$

Es decir, la potencia máxima disminuye linealmente con V_a .

Para $\omega > \omega_{nom}$: Se reduce $I_f < I_{f\ nom}$. Considerando V_a e I_a en sus valores máximos (nominales), en este intervalo de velocidad. Se tiene:

$$P_{m\acute{a}x} = V_{a\ m\acute{a}x} \cdot I_{a\ m\acute{a}x} \quad (2.13)$$

Es decir, la potencia máxima es constante (no depende de I_f). [4]

$$T_{m\acute{a}x} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{\omega} \quad (2.14)$$

El torque máximo varía en forma hiperbólica.

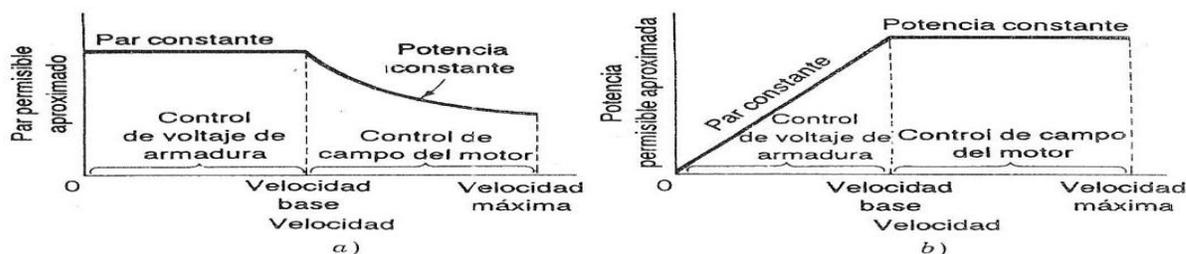


Figura 2.6 Curvas Torque (T_{ind}) v/s Velocidad (ω), las limitaciones de a) par y b) potencia de los métodos combinados de control de velocidad mediante voltaje de armadura y réostato de campo.

6. Flujo de potencia en motores de C.C. [4]

- Potencia eléctrica de entrada:

$$P_{ENT} = V_T \cdot I_L \quad (2.15)$$

- Pérdidas eléctrica en los devanados y escobillas:

Ejemplos: Pérdidas en el devanado de armadura ($I_A^2 \cdot R_A$), pérdidas en el devanado de campo ($I_F^2 \cdot R_F$), pérdidas en las escobillas ($I_S^2 \cdot R_S$ ó $V_{BD} \cdot I_A$).

- Potencia convertida:

$$P_{CONV} = E_A \cdot I_A = T_{ind} \cdot \omega_M \quad (2.16)$$

- Pérdidas rotacionales:

- Pérdidas en el núcleo (histéresis y corrientes parasitas).
- Pérdidas mecánicas (roce en cojinetes, roce en las escobillas y ventilación).

- Pérdidas adicionales:

- Las pérdidas adicionales son todas aquellas pérdidas imponderables que no se pueden asignar a ninguna de las clasificaciones conocidas. Por convención se asume que son el 1% de la potencia de salida (nominal).

$$P_{ADIC} = 0.01 \cdot P_{SAL} \quad (2.17)$$

- Potencia de salida:

$$P_{SAL} = T_L \cdot \omega_M \quad (2.18)$$

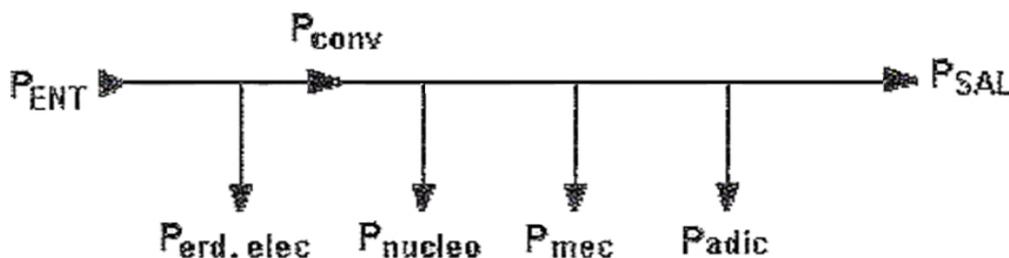


Figura 2.7 Diagrama de Flujo de Potencia de un Motor.

$$P_{ENTRADA} \rightarrow P_{ELECTRICA}$$

$$P_{SALIDA} \rightarrow P_{MECANICA}$$

Rendimiento η :

$$\eta = \frac{P_{SAL}}{P_{ENT}} \cdot 100\% \quad (2.19)$$

7. Modelo para el análisis transiente y dinámico

Para el análisis transitorio de las máquinas de C.C. las ecuaciones de equilibrio (LVK), deben considerar las inductancias de los devanados, además de las respectivas resistencias.

Para el análisis dinámico, la ecuación de equilibrio corresponde a la 2° Ley de Newton de la dinámica de rotación ($\sum \mathbf{T} = \mathbf{J}\alpha$). [4]

Ejemplo: Motor con excitación separada.

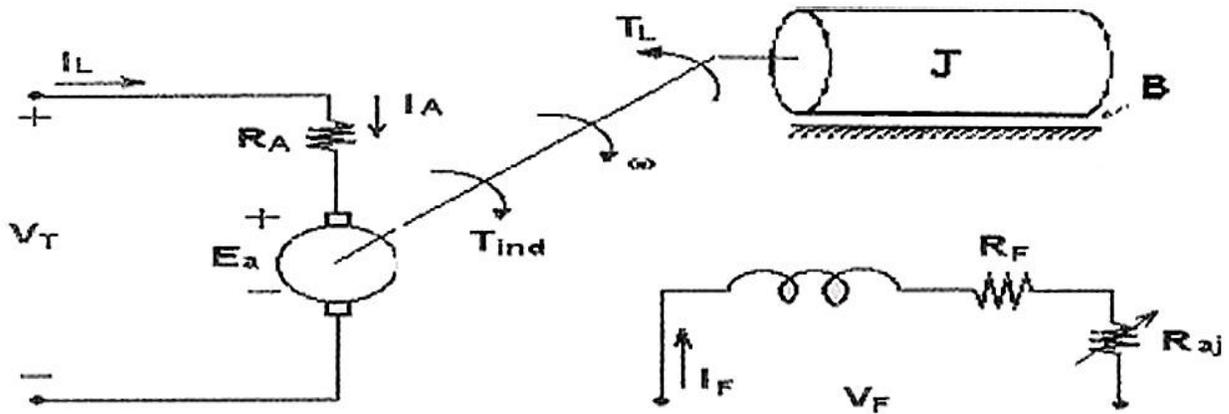


Figura 2.8 Modelo de análisis.

F.E.M. generada: $E_a = k \cdot \phi \cdot \omega \quad (2.20)$

Torque producido: $T_{ind} = k \cdot \phi \cdot I_a \quad (2.21)$

LVK en el campo: $V_F = R_F \cdot I_F + L_F \cdot (di_F/dt) \quad (2.22)$

LVK en el inducido: $V_T = E_a + R_a \cdot I_a + L_a \cdot (di_a/dt) \quad (2.23)$

Ley de Newton: $T_{ind} - T_L = J \cdot (d\omega/dt) \quad (2.24)$

Dónde: $T_L = T_{roce} + T_W \quad (2.25)$

Se supone que el eje es perfectamente rígido, por lo que no se ha considerado el torque debido a la elasticidad del eje. [4]

$J \cdot (d\omega/dt)$: Torque requerido para acelerar las partes rotatorias [Nm];

$(d\omega/dt) = 0$: Aceleración angular [rad/s²];

J : Momento de inercia de las partes rotarias del sistema (motor y carga) [Kgr m²].

$T_{roce} = B \cdot \omega$: Torque de roce viscoso [Nm];

B : Constante de roce viscoso [Nm s].

T_W : Torque de carga, que produce trabajo mecánico [Nm].

Clasificación típica de las cargas $T_W = f(\omega)$

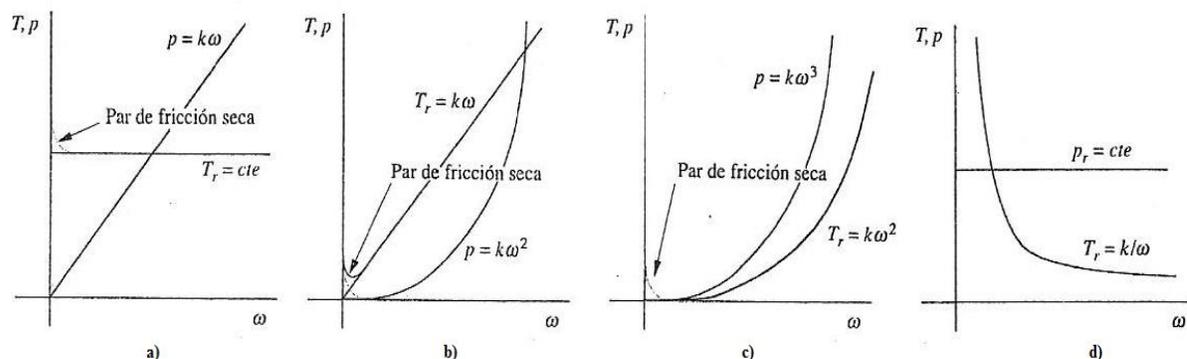


Figura 2.9 Curvas de Torque v/s Velocidad, proceder de un motor C.C. según su carga.

a) $T_W = k$ (2.26)

Ejemplos: Constante, compresores, ascensores, grúas, correas transportadoras.

b) $T_W = k \cdot \omega$ (2.27)

Ejemplos: Roce o fricción, generador excitación separada.

c) $T_W = k \cdot \omega^2$ (2.28)

Ejemplos: Ventiladores, hélices, bombas centrifugas.

d) $T_W = k/\omega$ (2.29)

Ejemplos: Bobinadoras, maquinas papeleras.

8. Clasificación de los motores de C.C. [4]

Según sea la alimentación del devanado de campo, los motores C.C. se clasifican en:

1) Motor de excitación independiente o separada. (Ver Figura 3.1)

El devanado de campo N_f es alimentado por una fuente V_f externa a la máquina.

2) Motor Shunt o derivación. (Ver Figura 3.5)

N_f es alimentado por la misma tensión del inducido V_T .

3) Motor serie. (Ver Figura 3.7)

El devanado de campo serie N_s se conecta en serie con el inducido, para ser alimentado por la corriente I_a o I_L .

4) Motor compound o compuesta. (Ver Figuras 3.9 y 3.11)

Se utiliza ambos devanados de campo, N_f y N_s simultáneamente.

5) Motor de imanes permanente.

No tiene un circuito de campo.

En el caso de las conexiones 2, 3, 4 se dice que la máquina es autoexcitada.

CAPITULO 3: CONTROL DE UN MOTOR C.C.

1. Introducción

Los motores de corriente continua tienen diferentes aplicaciones, como por ejemplo en sistemas de transportes (ferrocarriles, metro, trolebuses, camiones, etc.) y en sistemas que requieren un control riguroso de velocidad. Por lo tanto, debemos conocer todo respecto al control de este motor, esto es, su arranque, modificación de su velocidad y torque, frenado e inversión de giro. Al mismo tiempo de sus variadas formas de conectarse al sistema de alimentación eléctrica.

2. Control de velocidad en motores de C.C

El control de velocidad en motores de corriente continua está definido según como sea alimentado el devanado de campo.

Tabla 3.1 *Control de velocidad en motores C.C.*

Tipo de conexión Motor DC	Control por Voltaje de armadura $V_a (= V_T)$	Control por Corriente de campo I_f	Control por Variación de Resistencia R_a
Excitación separada o independiente	✓	✓	✓
Derivación o Shunt	✓	✓	X
Serie	✓	X	✓
Compuesto (Acumulativo y Diferencial)	✓	✓	X
Imanes permanentes	✓	X	✓

2.1. Motor de excitación independiente o separada

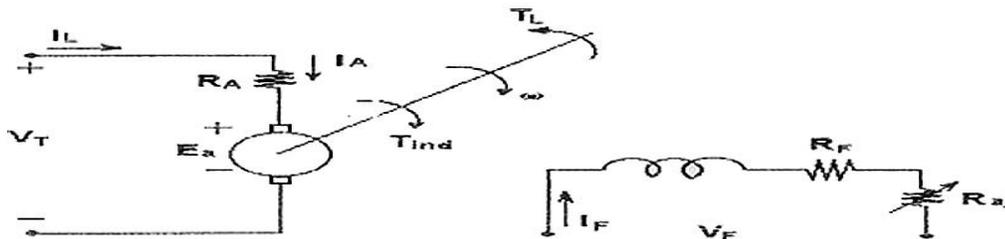


Figura 3.1 Circuito equivalente de un motor C.C. en conexión independiente.

El control de velocidad en motores de corriente continua en conexión de excitación separada, se puede realizar por tres métodos:

1. Control por corriente de campo (I_f, ϕ)
2. Control por voltaje de armadura ($V_a = V_T$)
3. Control por variación de R_a .

Supongamos un motor excitación separada funcionando con valores nominales de V_T, I_f, I_a, ω . [4]

2.1.1. Control por corriente de campo I_f

Si I_f está en su valor nominal, solo se puede disminuir, por lo que disminuye ϕ .

Con esto aumenta $\omega_0 (= V_T/k \cdot \phi)$ y la pendiente de la recta, se hace más negativa.

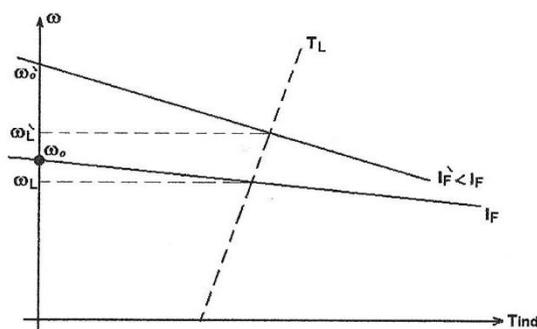


Figura 3.2 Curva Velocidad v/s Torque, variando la corriente de campo.

Este método se utiliza para aumentar ω sobre el valor nominal: $\omega_L' > \omega_L$.

Observación: Si $I_f \rightarrow 0 \Rightarrow \omega \rightarrow \infty$.

Por ejemplo, cuando se desconecta (o se abre) la rama de campo. [4]

2.1.2. Control por voltaje de armadura V_a

Si $V_a (= V_T)$ está en su valor nominal, solo se puede disminuir. Con esto baja ω_0 .

La pendiente se mantiene constante.

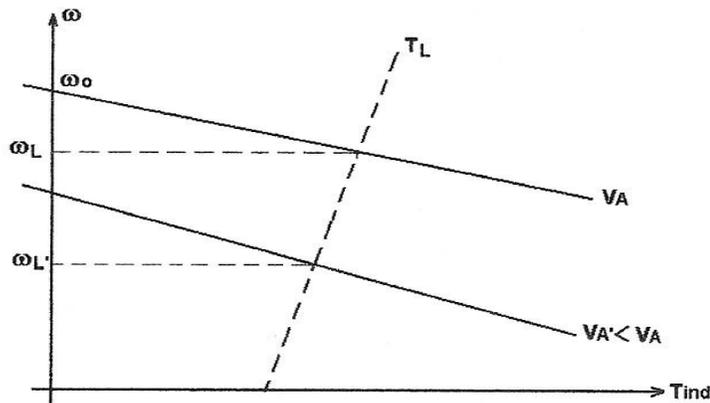


Figura 3.3 Curva Velocidad v/s Torque, variando la tensión de armadura.

Este método se utiliza para disminuir la velocidad bajo el valor nominal: $\omega_L' < \omega_L$.

2.1.3. Control por variación de resistencia adicional R_a

Se agrega en serie con el inducido una resistencia adicional R_{AD} . Con esto la pendiente. $(R_a + R_{AD}) / (k \cdot \phi)^2$, se hace más negativa, reduciéndose la ω .

ω_0 se mantiene constante.

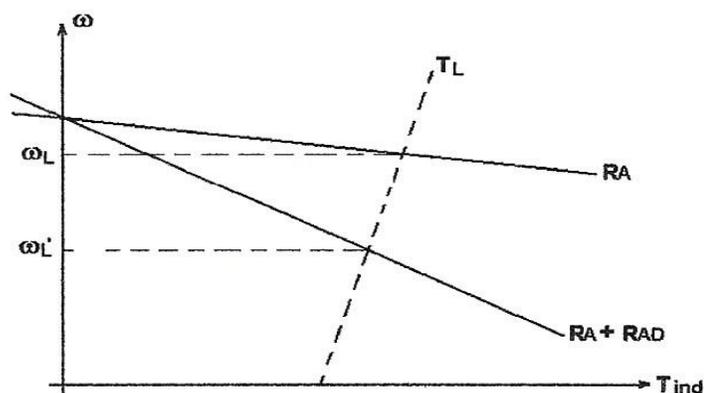


Figura 3.4 Curva Velocidad v/s Torque, variando una resistencia adicional.

$$\omega_L' < \omega_L$$

En R_{AD} se producen importantes pérdidas de energía. [4]

2.2. Motor C.C. en derivación o Shunt

En el motor derivación, el inducido y el campo, se alimentan desde la misma fuente. [4]

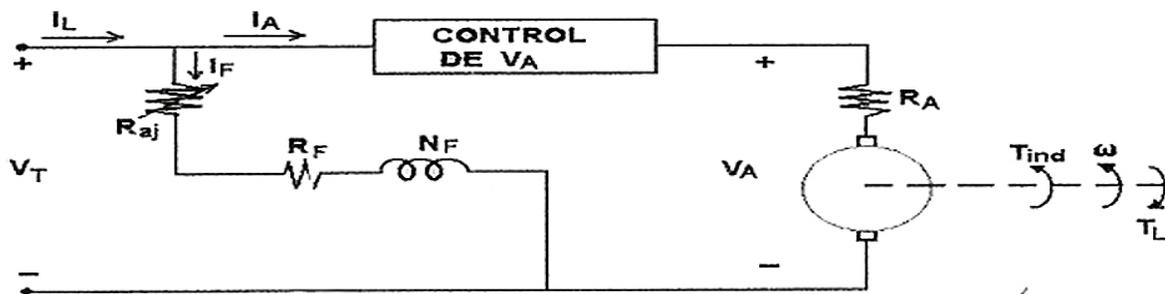


Figura 3.5 Circuito equivalente de un motor C.C. en conexión Shunt.

$$T_{ind} = k \cdot \phi \cdot I_a \quad (3.1)$$

$$V_T = (k \cdot \phi \cdot \omega) + I_a \cdot R_a \quad (3.2)$$

De las dos ecuaciones anteriores, se tiene:

$$\omega = \frac{V_a}{k \cdot \phi} - \frac{R_a}{(k \cdot \phi)^2} \cdot T_{ind} \quad (3.3)$$

En el campo se tiene:

$$I_f = \frac{V_f}{R_f + R_{AJ}} \quad (3.4)$$

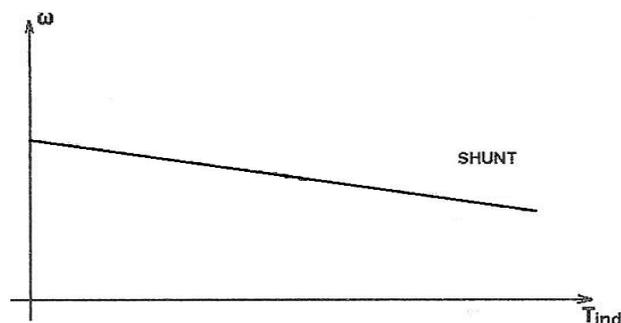


Figura 3.6 Curva Velocidad v/s Torque.

Para el control de velocidad del motor Shunt, se obtiene mediante el mismo comportamiento que el del motor excitación separada, mediante los métodos:

1. Control por tensión de armadura V_a (con I_f constante).
2. Control por corriente de campo I_f (con V_a constante).

2.3. Motor C.C. serie

En el motor serie, el campo se conecta en serie con el inducido.

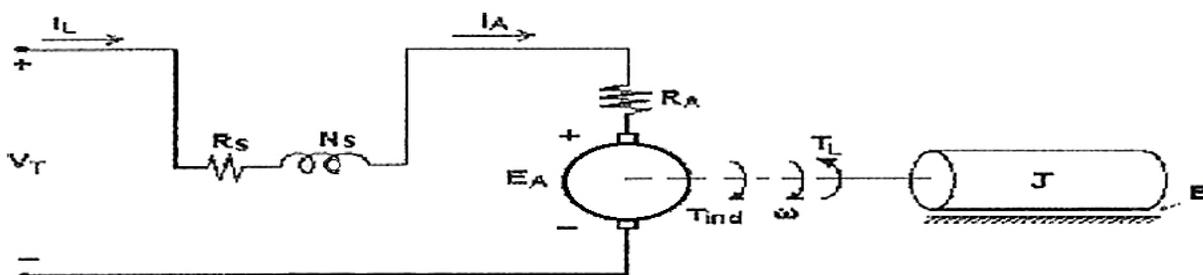


Figura 3.7 Circuito equivalente de un motor C.C. en conexión serie.

El ϕ es producido por I_a .

Consideremos: $\phi = c \cdot I_a$ con $c = \text{constate de proporcionalidad}$ (3.5)

Fem.: $E_a = k \cdot \phi \cdot \omega = k \cdot c \cdot I_a \cdot \omega$ (3.6)

Torque: $T_{ind} = k \cdot \phi \cdot I_a = k \cdot c \cdot (I_a)^2$ (3.7)

LVK: $V_T = E_a + (R_a + R_s) \cdot I_a$ (3.8)

Reemplazamos en esta última ecuación, las ecuaciones de F.e.m. y torque anteriores:

$$\omega = \frac{V_T}{\sqrt{k \cdot c \cdot T_{ind}}} - \frac{(R_a + R_s)}{k \cdot c} \tag{3.9}$$

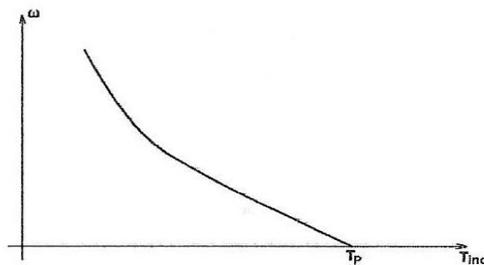


Figura 3.8 Curva Velocidad v/s Torque, variando la carga.

Al disminuir la carga aumenta fuertemente la velocidad, llegando al embalamiento si la carga se quita.

La carga debe acoplarse mediante engranajes o en forma directa, pero nunca mediante correas o poleas que se puedan romper. [4]

2.4. Motor C.C. compuesto

2.4.1. Motor compuesto acumulativo

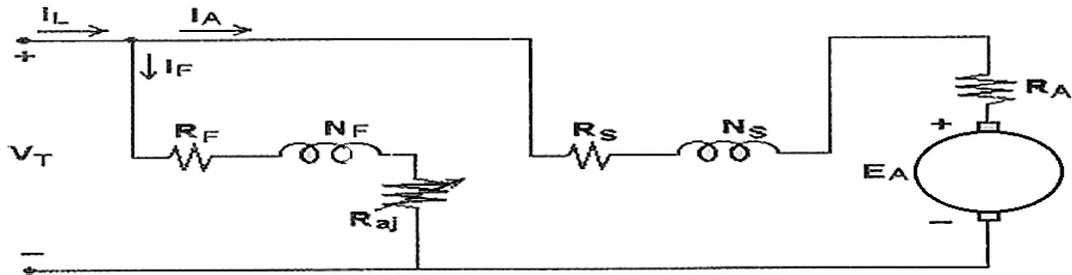


Figura 3.9 Circuito equivalente de un motor C.C. en conexión compuesto acumulativo.

$$\Phi = \Phi_f + \Phi_s \quad (3.10)$$

$$F_{\text{neta}} = N_f \cdot I_f + N_s \cdot I_s (-F_{ra}) \quad (3.11)$$

$$E_a = k \cdot \Phi \cdot \omega \quad (3.12)$$

$$T_{\text{ind}} = k \cdot \Phi \cdot I_a \quad (3.13)$$

$$V_T = E_a + (R_a + R_s) \cdot I_a \quad (3.14)$$

Su característica $\omega - T_{\text{ind}}$ es intermedia entre la del motor derivación y del serie:

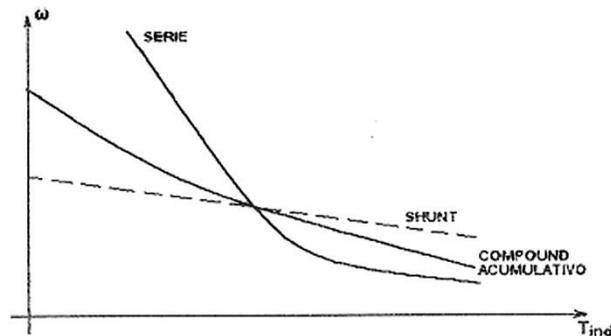


Figura 3.10 Curva Velocidad v/s Torque.

- Sin carga Φ_s tiene poco efecto, por lo que el motor se comporta como el motor derivación (no se embala).
- Cuando la carga es grande, Φ_s influye fuertemente, por esto la característica se parece a la del motor serie.

El control de velocidad es el mismo del motor derivación. [4]

2.4.2. Motor compuesto diferencial

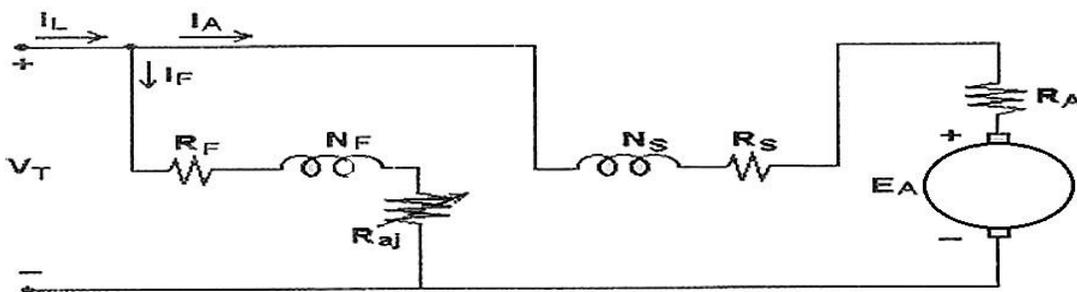


Figura 3.11 Circuito equivalente de un motor C.C. en conexión compuesto diferencial.

$$\phi = \phi_f - \phi_s \quad (3.15)$$

$$F_{\text{neta}} = N_f \cdot I_f - N_s \cdot I_s (-F_{ra}) \quad (3.16)$$

No se usa debido a:

- a) Tiende a embalsarse cuando aumenta la carga I_a .
Aumenta $I_a \Rightarrow$ Aumenta $I_s \Rightarrow \phi = \phi_f - \phi_s \rightarrow 0 \Rightarrow \omega \rightarrow \infty$
- b) Tiende a partir en sentido inverso al de rotación normal. Debido a la menor resistencia e inductancia de la armadura. I_a se establece primero que $I_f \Rightarrow$ inicialmente predomina ϕ_s .

2.5. Motor C.C. imanes permanentes

El motor de imanes permanentes es cuyas caras polares están hechas de imanes permanentes, es decir, no tienen un circuito de campo. Estos motores son comunes en potencia fraccionales y subfraccionales debido que la densidad de flujo producido por los imanes es bajo, por lo que el motor tendrá un par inducido menor. [5]

2.5.1. Control de velocidad

Los métodos de control de velocidad del motor imanes permanentes son prácticamente los mismo que el motor C.C. excitación independiente, excepto que el flujo desarrollado por el motor de imanes permanentes es fijo, por lo tanto no es posible controlar la velocidad por medio de la variación de la corriente de campo. [5]

Los dos métodos de control de velocidad son:

1. Control por tensión de armadura V_a .
2. Control por variación de R_a .

Estos dos métodos se deducen de las siguientes expresiones:

$$T_{\text{ind}} = k \cdot I_a \quad (3.17)$$

$$V_T = E_a + R_a \cdot I_a \quad (3.18)$$

$$E_a = k \cdot \omega \quad (3.19)$$

La ecuación para la corriente de armadura está determinada:

$$I_a = \frac{V_T - k \cdot \omega}{R_a} \quad (3.20)$$

Según las ecuaciones anteriores la velocidad viene dada por:

$$\omega = \frac{V_T}{k} - \frac{R_a}{k} \cdot T_{\text{ind}} \quad (3.21)$$

3. Corriente de arranque en motores de C.C.

Para cualquiera de los motores C.C. se cumple:

$$V_T = E_a + R_{a \text{ total}} \cdot I_a \quad (3.22)$$

Dónde: $R_{a \text{ total}} = R_a + R_{\text{serie}} + R_{\text{interpolos}} + \dots + R_{\text{etc.}} \quad (3.23)$

Al arranque: $\omega = 0 \Rightarrow E_a = 0$

Así: $I_{\text{arranque}} = \frac{V_T}{R_{a \text{ total}}} \quad (3.24)$

$R_{a \text{ total}}$ es siempre de bajo valor por lo que I_{arranque} es de elevado valor.

Alternativas para limitar la corriente de arranque

1. Reducir el voltaje aplicado al inducido en el momento del arranque.
2. Insertar en serie con el inducido resistencia adicional (reóstatos de arranque).

En los siguientes esquemas se muestra un “arrancador manual” y un “arrancador automático” para eliminar el resistor de arranque. [4]

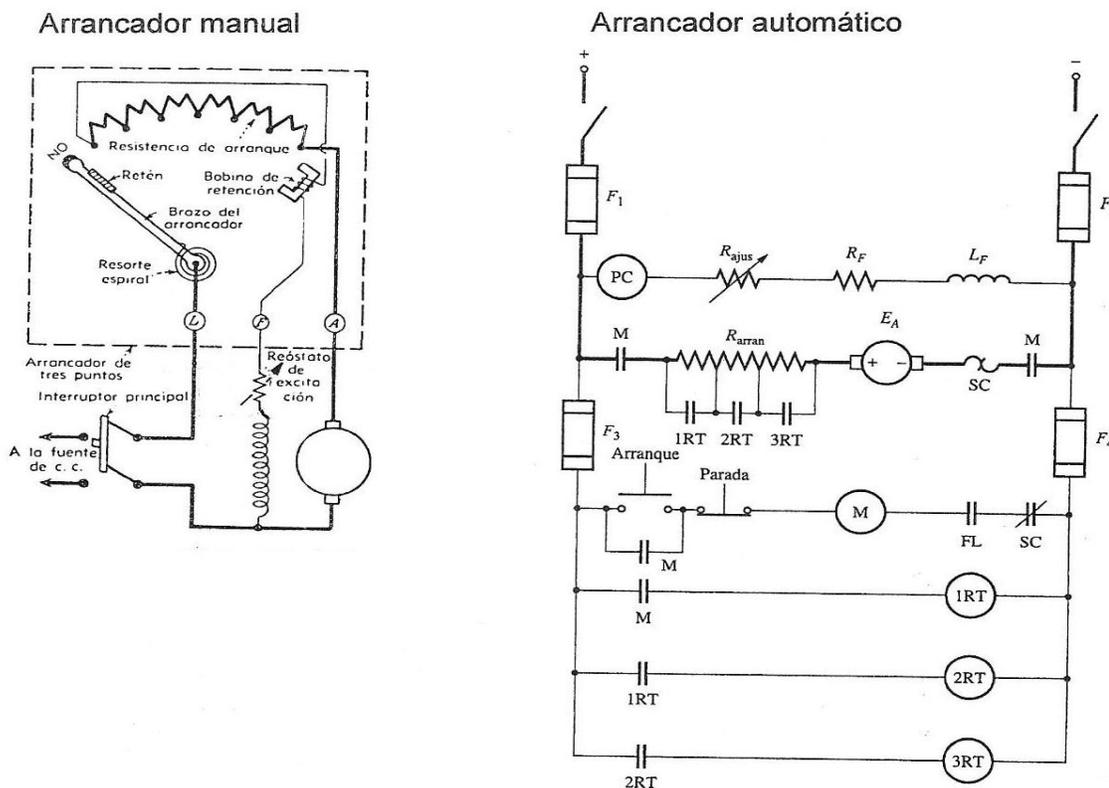


Figura 3.12 Arrancador de un motor C.C. manual y automático.

4. Inversión del sentido de rotación de los motores de C.C.

Alternativas:

1. Invertir el sentido de la corriente en el inducido (con interpolos incluidos).
2. Invertir el sentido de la corriente en los devanados de campo.

En el caso del motor compuesto, debe invertirse la corriente en ambos campo sino pasara de acumulativo a diferencial. [4]

5. Frenado eléctrico de los motores C.C.

5.1. Frenado regenerativo

En este caso, la inercia de la carga mecánica impulsa al motor a una velocidad por sobre la velocidad sin carga. Así $V_T < E_a$ con lo que I_a cambia de sentido originando un torque en sentido inverso al de rotación (torque de frenado). [4]

Ejemplos:

- a) Un ferrocarril que marcha cuesta abajo.
- b) Un ascensor en descenso.
- c) Cuando se reduce abruptamente V_a .

Para el caso c), se muestra gráficamente la reducción de velocidad ($\omega \rightarrow \omega'$) de un motor de excitación separada, al reducir V_T a V_T' . [4]

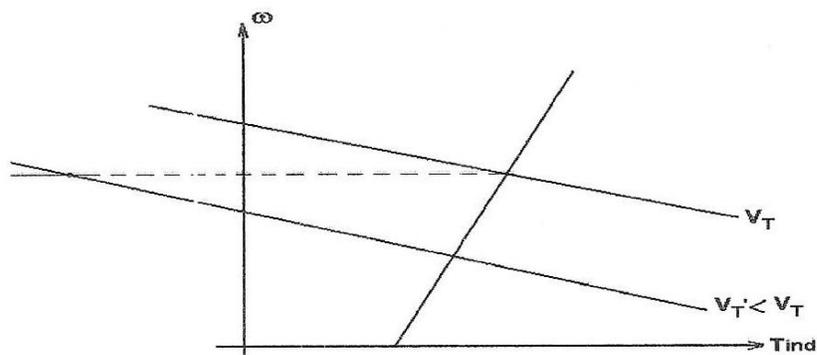
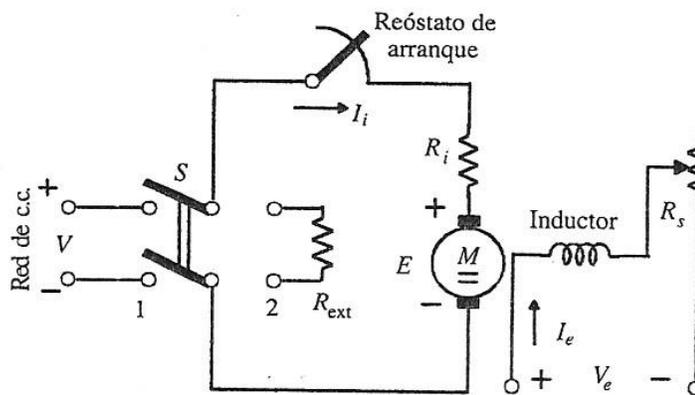


Figura 3.13 Curva de Velocidad versus Torque inducido de un freno regenerativo.

5.2. Frenado dinámico

Manteniendo excitado el devanado de campo, se desconecta el inducido de alimentación y es conectado a una resistencia ($R_{ext.}$). Debido a la inercia, la maquina funciona como generador originando el torque de frenado. [4]



Motor con excitación independiente

Figura 3.14 Diagramas de circuito para realizar un frenado dinámico.

5.3. Frenado de contracorriente (Plugging)

Se invierte la tensión aplicada al inducido manteniendo sin alteración el devanado de campo. Con esto se invierte el torque, lo que lleva al rotor rápidamente al reposo y, si no se desconecta, iniciara la marcha en el otro sentido. [4]

En el momento que se invierte la tensión aplicada debe conectarse en serie con el inducido una resistencia limitadora de corriente (aproximadamente $R_{frenado} \geq 1.85 R_{arranque}$).

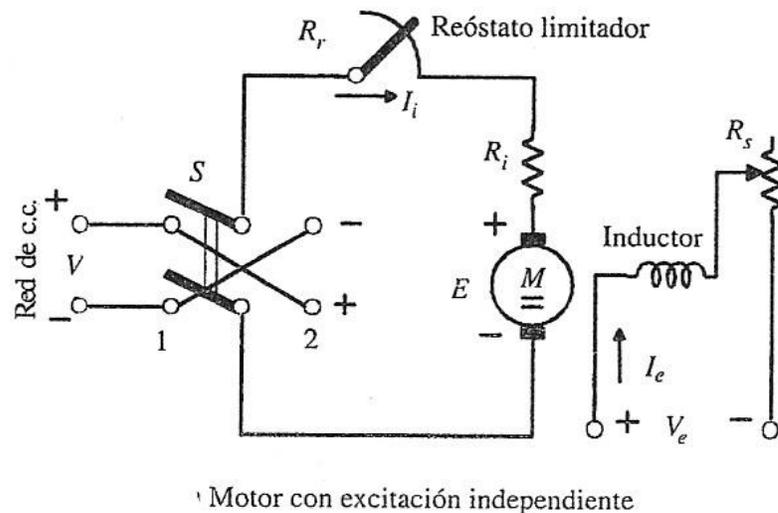


Figura 3.15 Diagramas de circuito para realizar un frenado de contracorriente.

6. Control en cuatro cuadrantes

6.1. Funcionamiento en cuatro cuadrantes

Para un motor de excitación separada [4]:

Primer cuadrante: Motor en sentido directo (forward).

$$\omega > 0, T > 0 \Rightarrow P_{mec} > 0 \text{ (Máquina suministra } P_{mec}\text{).}$$

$$V > 0, I > 0 \Rightarrow P_{elec} > 0 \text{ (Máquina absorbe } P_{elec}\text{).}$$

Segundo cuadrante: Frenado regenerativo o dinámico.

$$\omega > 0, T < 0 \Rightarrow P_{mec} < 0 \text{ (Máquina absorbe } P_{mec}\text{).}$$

$$V > 0, I < 0 \Rightarrow P_{elec} < 0 \text{ (Máquina suministra } P_{elec}\text{).}$$

Tercer cuadrante: Motor en sentido inverso (reverse).

$$\omega < 0, T < 0 \Rightarrow P_{mec} > 0 \text{ (Máquina suministra } P_{mec}\text{)}.$$

$$V < 0, I > 0 \Rightarrow P_{elec} > 0 \text{ (Máquina suministra } P_{elec}\text{)}.$$

Cuarto cuadrante: Frenado regenerativo o dinámico.

$$\omega < 0, T > 0 \Rightarrow P_{mec} < 0 \text{ (Máquina absorbe } P_{mec}\text{)}.$$

$$V < 0, I > 0 \Rightarrow P_{elec} < 0 \text{ (Máquina suministra } P_{elec}\text{)}.$$

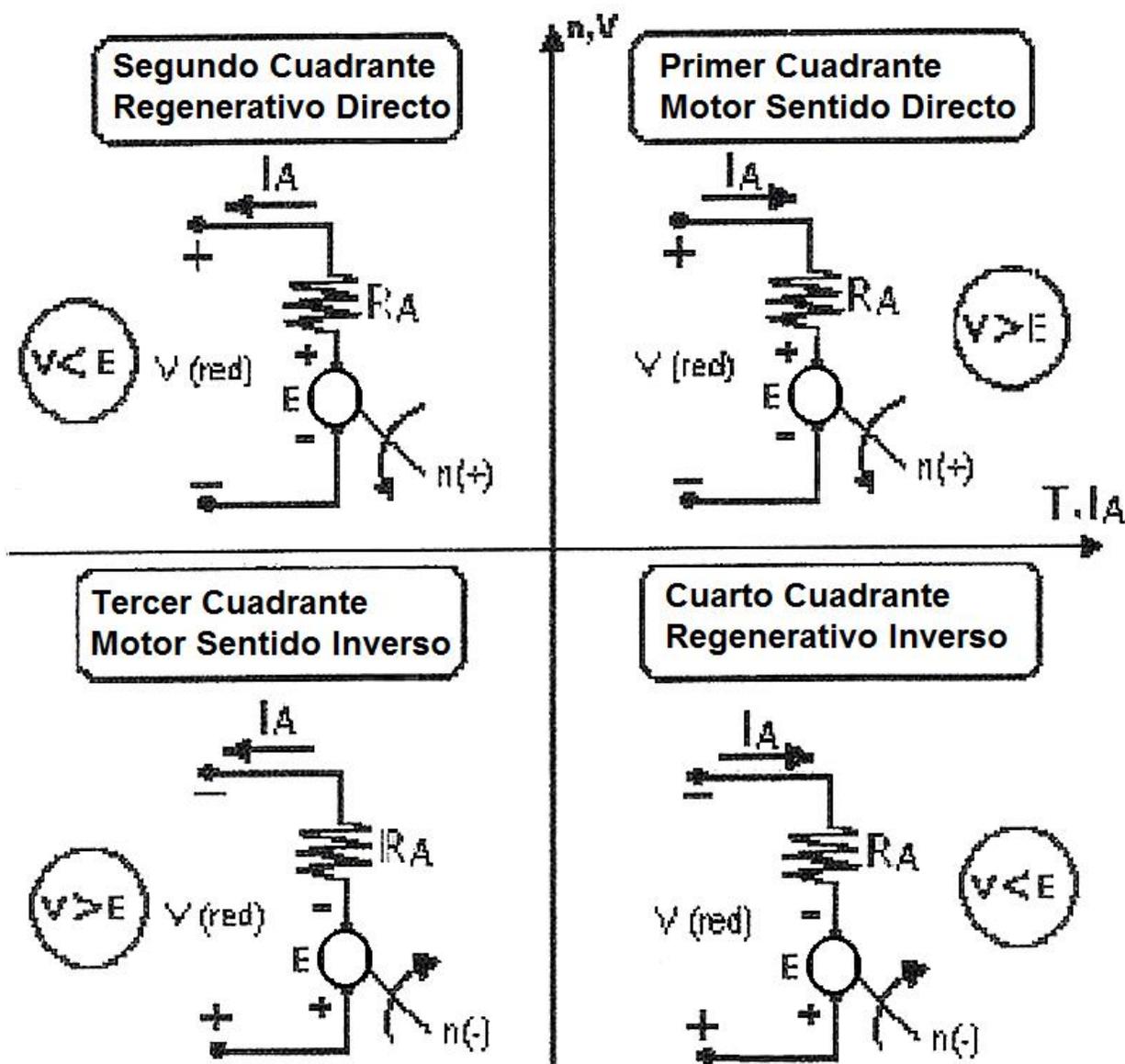


Figura 3.16 Funcionamiento de motor C.C. en los cuatro cuadrantes.

6.2. Sistema Ward – Leonard

Permite obtener un amplio rango de variación de velocidad, en cualquier sentido de rotación, para un motor excitación separada.

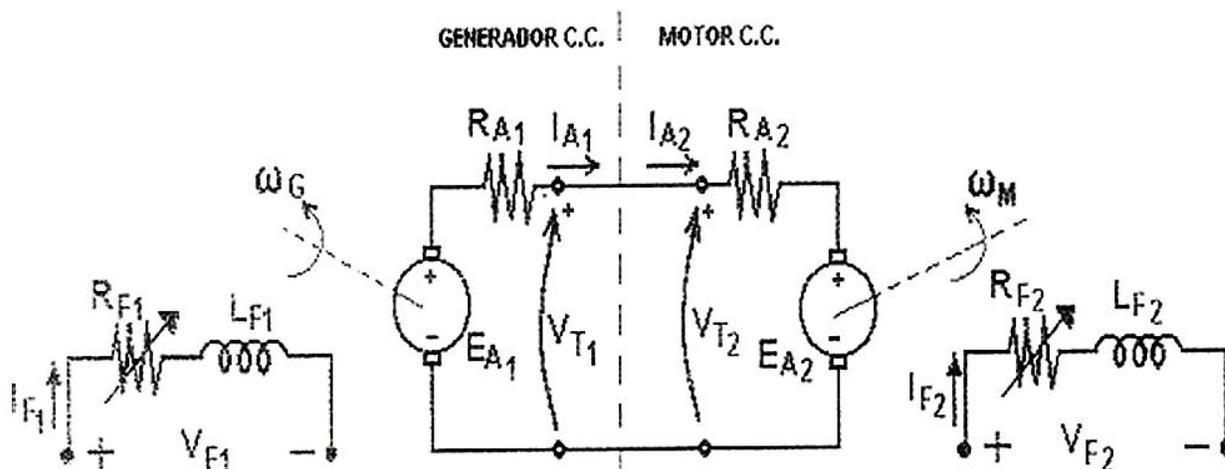


Figura 3.17 Diagrama del Sistema Ward-Leonard para su funcionamiento en 4 cuadrantes.

El generador C.C. es impulsado a velocidad constante ω_G , por una tercera máquina no mostrada en el esquema.

Para disminuir la velocidad del motor ω_M : se disminuye V_T (disminuir I_{F1}).

Para aumentar la velocidad del motor ω_M : se disminuye I_{F2} .

Para invertir el sentido de rotación de ω_M : se invierte el sentido de I_{F1} o de I_{F2} .

Las desventajas de un sistema Ward – Leonard son que requieren tres máquinas, que tienen un bajo rendimiento, además de un alto costo. Sin embargo en la actualidad existen Sistemas Ward – Leonard en base a convertidores estáticos que suministran una tensión variable tanto para alimentar el inducido como el campo, eliminando el generador C.C. y su máquina motriz. [4]

CAPITULO 4: CONVERSORES DE CORRIENTE ALTERNA (C.A.) A CORRIENTE CONTINUA (C.C.)

1. Introducción

Con los adelantos en la conversión de energía, las técnicas de control y los microprocesadores, los accionamientos con motores C.A. se vuelven cada vez más competitivos en relación con los accionamientos con motores C.C.

No obstante, los accionamientos de C.C. se utilizan actualmente en variadas industrias, y tal vez pasen unas cuantas décadas antes de que los accionamientos de C.C. sean totalmente reemplazados por los accionamientos CA.

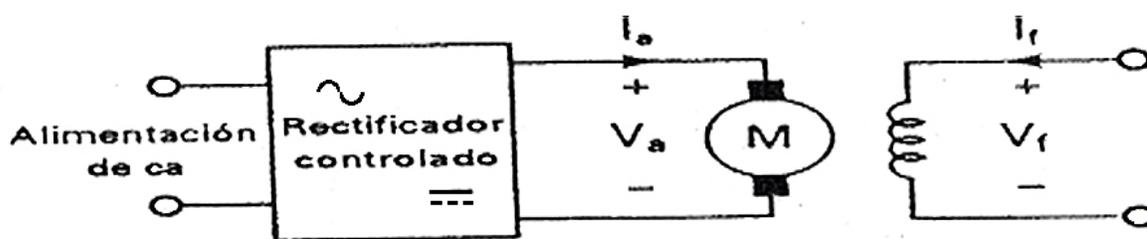


Figura 4.1 Diagrama del accionamiento de un motor C.C.

Para definir las características del control, el motor CC representa mediante un circuito equivalente. Este control lo realizamos por medio de un rectificador controlado (convertor C.A. C.C.), que es alimentado por suministro eléctrico local de corriente alterna.

2. Fundamentos

Los convertidores C.A. – C.C. son conocidos comúnmente como “rectificadores” o “convertidores”, en donde la salida resulta ser un voltaje C.C. fijo o variable.

La calidad del procesamiento de energía de un rectificador requiere de la determinación del contenido armónico de la corriente de entrada, del voltaje de salida y de la corriente de salida.

Un procedimiento para determinar las componentes armónicas de tensión y corriente es emplear las expansiones en serie de Fourier.

Existen distintos tipos de circuitos rectificadores y los rendimientos de un rectificador se evalúan normalmente en función de los siguientes parámetros:

- El valor promedio del voltaje de salida: V_{cc}
- El valor promedio de la corriente de salida: I_{cc}
- La potencia de salida en C.C.: $P_{cc} = V_{cc} \cdot I_{cc}$ (4.1)
- El valor rms del voltaje de salida: V_{rms}
- El valor rms de la corriente de salida: I_{rms}
- La potencia de salida en C.A.: $P_{rms} = V_{rms} \cdot I_{rms}$ (4.2)

Se requiere para el análisis de expansión en serie de Fourier:

- Forma de onda.
- Fourier (orden armónico y magnitud del armónico).
- Determinar índices de méritos.

Los convertidores se clasifican:

1. Rectificación No Controlada (Diodos).
2. Rectificación Semi – controlada (SCR y Diodos).
3. Rectificación Controlada (SCR).

Además de su clasificación según la red de suministro:

1. Monofásica.
2. Trifásica.

Empleando los parámetros anteriormente mencionados es posible definir las siguientes cifras de mérito:

- **Eficiencia de un rectificador:** También conocida como relación de rectificación y permite comparar la efectividad del convertidor, se define como:

$$\eta = P_{cc}/P_{CA} \quad (4.3)$$

- **Valor efectivo C.A. de la tensión de salida:** El voltaje de salida se puede determinar considerando dos componentes: (1) el valor C.C. y (2) la componente de C.A. u ondulatoria. Así, el valor (rms) de la componente C.A. del voltaje de salida es:

$$V_{CA} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{cc}^2} \quad (4.4)$$

- **El factor de forma:** Es una medida de la forma de la forma del voltaje de salida respecto de la componente ideal sin ondulación y viene dada por:

$$FF = V_{rms}/V_{cc} \quad (4.5)$$

- **El factor de componente ondulatoria:** Es una medida del contenido de la componente ondulatoria, se define como:

$$RF = V_{CA}/V_{cc} = \sqrt{\left[V_{rms}/V_{cc} \right]^2 - 1} = \sqrt{FF^2 - 1} \quad (4.6)$$

- **El factor de utilización del transformador:** Es una medida de la potencia suministrada en continua respecto de proporcionada a partir de magnitudes C.A., y viene define por:

$$TUF = P_{cc}/V_S \cdot I_S \quad (4.7)$$

- **El factor armónico:** Es una medida de la distorsión de la forma de onda y también se conoce como distorsión armónica total (THD). Así, el factor armónico de la corriente de entrada se define como:

$$HF = \sqrt{\frac{I_S^2 - I_{S1}^2}{I_{S1}^2}} = \sqrt{\left(\frac{I_S}{I_{S1}}\right)^2 - 1} \quad (4.8)$$

- **El factor de potencia de entrada:** Si ϕ es el ángulo entre las componentes fundamentales de la corriente y el voltaje de entrada, el factor de potencia de entrada se define como:

$$PF = \frac{V_S \cdot I_{S1}}{V_S \cdot I_S} \cdot \cos \phi = \frac{I_{S1}}{I_S} \cdot \cos \phi \quad (4.9)$$

- **El factor de cresta:** Es un factor que relaciona la corriente de entrada máxima I_{SMAX} y su valor rms I_{Srms} , a fin de establecer las especificaciones de la corriente máxima de dispositivos y componentes. El factor de cresta se define como:

$$CF = \frac{I_{SMAX}}{I_{Srms}} \quad (4.10)$$

En virtud de los antecedentes anteriores, un rectificador ideal debería tener $\eta = 100\%$, $V_{CA} = 0$, $RF = 0$, $TUF = 1$, $HF = 0$ y $PF = 1$.

Los diodos son usados en circuitos de electrónica de potencia para la conversión de energía eléctrica. De especial importancia es la aplicación de los diodos en convertidores CA – CC, conocidos comúnmente como rectificadores, en donde la salida resulta ser un voltaje fijo CC.

Para obtener voltajes de salida controlado, se utilizan tiristores de control de fase. En estas condiciones es posible modificar el voltaje de salida de los rectificadores a tiristores controlando el ángulo de disparo de los mismos.

Los rectificadores controlados poseen una eficiencia superior al 95% y se utilizan en forma extensa en aplicaciones industriales en el control de velocidad de máquinas eléctricas y aplicaciones de HVDC.

Para analizar el rendimiento de los convertidores CA – CC con carga RL se puede aplicar el método de serie de Fourier.

A fin de simplificar el análisis, se puede suponer que la inductancia de carga es lo suficientemente alta como para que la corriente de la carga se considere continua con una componente ondulatoria despreciable. [6]

3. Rectificadores controlados C.A. C.C.

3.1. Rectificación monofásica controlada

3.1.1. Rectificador monofásico opera en el primer cuadrante

Durante el medio ciclo positivo del voltaje de alimentación, el voltaje ánodo cátodo del SCR (tiristor, “T”) es positivo, por lo que se dice que el SCR tiene polarización directa.

Cuando el SCR se dispara, en $\omega t = \alpha$ comienza a conducir, apareciendo a través de la carga el voltaje de entrada. Y si este voltaje empieza a ser negativo en $\omega t = \pi$, el voltaje ánodo cátodo del SCR es negativo y se dice que el tiristor tiene polarización negativa.

El tiempo desde que el voltaje de entrada empieza a hacerse positivo hasta que se dispara el tiristor en $\omega t = \alpha$ se llama ángulo de retraso o de disparo α .

La tensión y corriente en la carga son siempre positivas por lo que el rectificador opera en el primer cuadrante.

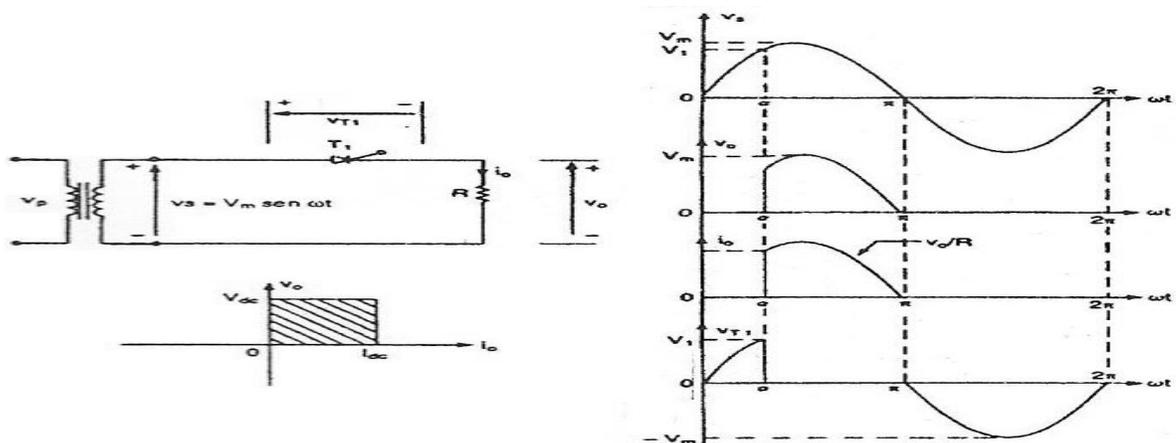


Figura 4.2 Rectificador monofásico opera en el primer cuadrante.

El voltaje medio y rms de salida son:

$$V_{CC} = \frac{1}{T} \int_0^T V_L(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin \omega t dt = \frac{V_m}{2\pi} [1 + \cos \alpha] \quad (4.11)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_L^2(t) dt} \equiv \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \frac{V_m}{2} \sqrt{\left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]} \quad (4.12)$$

Para un $\alpha = \pi/2$, la eficiencia es 20.27%, un factor de forma 222.1%, un factor de componente ondulatoria 198.3% con un factor de utilización de 0.1014.

El rendimiento del convertidor se degrada con el ángulo de disparo. [6]

3.1.2. Rectificador monofásico semicontrolado

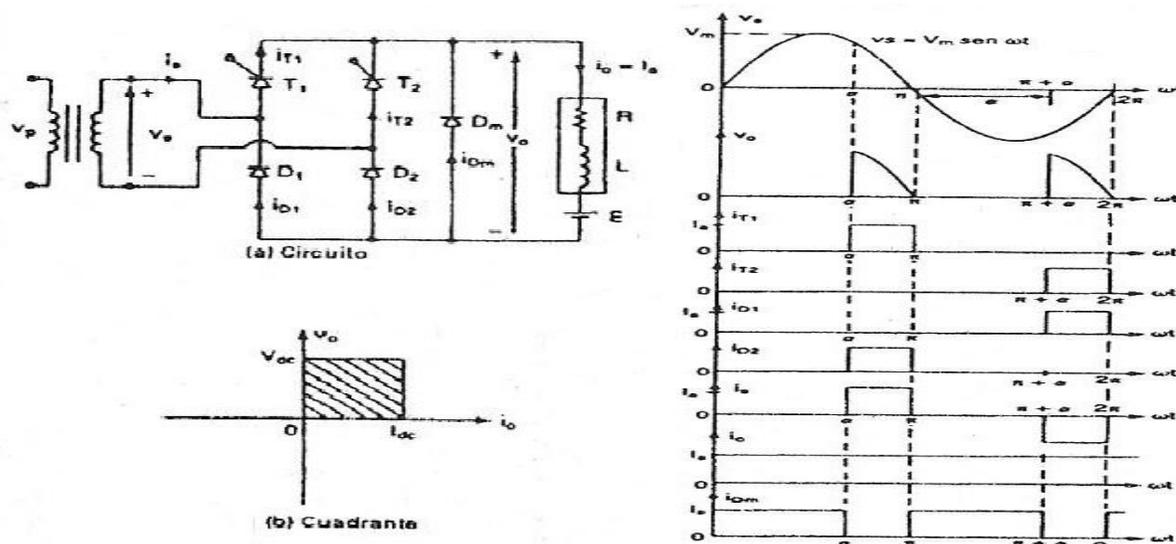


Figura 4.3 Rectificador monofásico semicontrolado.

Durante el medio ciclo positivo: $\alpha \leq \omega t \leq \pi$. T_1 tiene polarización directa y la carga se conecta vía T_1 y D_2 (Tiristor 1 y Diodo 2).

Entre $\pi \leq \omega t \leq \alpha + \pi$, el voltaje de entrada es negativo y el diodo D_m tiene polarización directa.

La corriente de carga se transfiere de T_1 y D_2 a D_m y el tiristor y diodo se desactivan.

Durante el medio ciclo negativo: el disparo de T_2 en $\omega t = \alpha + \pi$, invierte la polaridad de D_m .

El diodo se desactiva y la carga se conecta a través de T_2 y D_1 . La tensión y corriente en la carga son siempre positivas por lo que el rectificador opera en el primer cuadrante.

El voltaje promedio y rms de salida se puede encontrar a partir de:

$$V_{CC} = \frac{1}{T} \int_0^T V_L(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin \omega t dt = \frac{2}{2\pi} \int_\alpha^\pi V_m \sin \omega t d\omega t = \frac{V_m}{\pi} [1 + \cos \alpha] \quad (4.13)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_L^2(t) dt} = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_\alpha^\pi V_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]} \quad (4.14)$$

La corriente de entrada puede expresarse como:

$$i_s(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega t + \phi_n) \quad (4.15)$$

$$I_n = \frac{2\sqrt{2}}{n\pi} I_a \cos\left(\frac{n\alpha}{2}\right) \quad (4.16)$$

$$\phi_n = -\left(\frac{n\alpha}{2}\right) \quad (4.17)$$

El valor rms de la corriente de entrada resulta ser:

$$I_{s1} = \frac{2\sqrt{2} I_a}{\pi} \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (4.18)$$

$$I_s = \sqrt{\sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} I_n^2} = I_a \sqrt{\left(1 - \frac{\alpha}{\pi}\right)} \quad (4.19)$$

Para un $\alpha = \pi/2$, el factor armónico de entrada HF es 48.35% y el factor de potencia es 0.6366 en atraso. Cabe destacar que los parámetros de rendimientos dependen del ángulo de disparo. [6]

3.1.3. Rectificador monofásico opera en dos cuadrantes

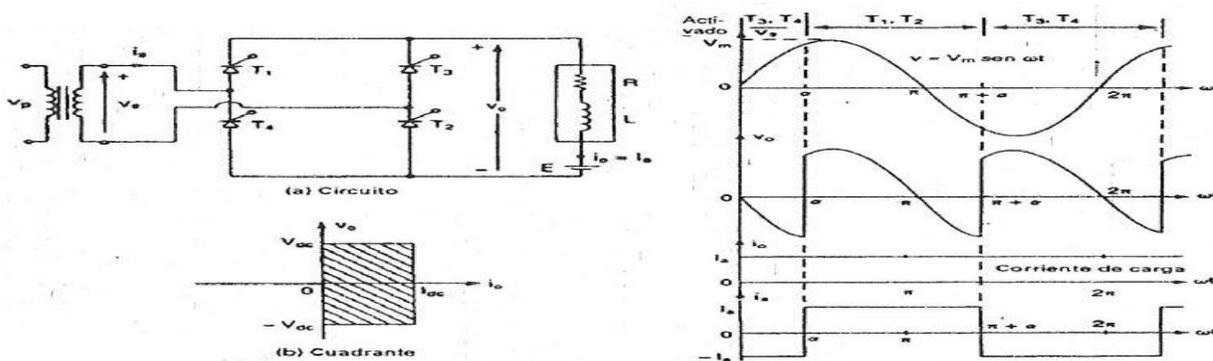


Figura 4.4 Rectificador monofásico opera en dos cuadrantes.

Durante el medio ciclo positivo: T_1 y T_2 tienen polarización directa y en $\omega t = \alpha$ se disparan simultáneamente. Así, la carga se conecta vía T_1 y T_2 .

Para carga inductiva, T_1 y T_2 seguirán conduciendo más allá de $\omega t = \pi$, aun cuando el voltaje sea negativo.

Durante el medio ciclo negativo: Activados T_3 y T_4 debido a la conmutación natural o de línea, T_1 y T_2 se desactivarán y la corriente de cargas será transferida a T_3 y T_4 .

Para $\alpha \leq \omega t \leq \pi$ el voltaje y la corriente son positivas.

Para $\pi \leq \omega t \leq \alpha + \pi$ el voltaje es negativo y la corriente es positiva.

Las magnitudes del voltaje de salida:

$$V_{CC} = \frac{1}{T} \int_0^T V_L(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin \omega t dt = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin \omega t d\omega t = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha \quad (4.20)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_L^2(t) dt} = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = V_s \quad (4.21)$$

La corriente de entrada viene dada:

$$i_s(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega t + \phi_n) \quad (4.22)$$

$$I_n = \frac{2\sqrt{2}}{n\pi} I_a \quad (4.23)$$

$$\phi_n = -n\alpha \quad (4.24)$$

El valor rms de la corriente de entrada:

$$I_{s1} = \frac{2\sqrt{2}I_a}{\pi} \quad (4.25)$$

$$I_s = \sqrt{\sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} I_n^2} = I_a \quad (4.26)$$

La componente fundamental es siempre 90.03% de I_a y HF es constante 48.34%. Solo algunos parámetros de rendimiento dependen del ángulo de disparo. [6]

3.1.4. Rectificador monofásico opera en los cuatro cuadrantes

Si bien el convertidor puente monofásico solo permite la operación en dos cuadrantes, si se conectan dos de estos convertidores, se pueden invertir tanto el voltaje de salida como la corriente de carga. El sistema permitirá una operación en cuatro cuadrantes: *Convertidor Dual*.

Existen dos tipos de convertidores duales, de corriente circulante y sin corriente circulante.

El convertidor con corriente circulante hace funcionar ambos rectificadores a la vez, lo cual produce una circulación de corriente, la que es necesaria limitar a través de una impedancia.

En cambio el convertidor dual sin corriente circulante hace funcionar solo un rectificador a la vez (mientras uno conduce, el otro está bloqueado).

3.1.4.1. Convertidor dual con corriente circulante

Si α_1 y α_2 son los ángulos de disparo de los convertidores 1 y 2 respectivamente, los voltajes promedios de salida correspondientes son V_{CC1} y V_{CC2} .

Los ángulos α_1 y α_2 se controlan de tal forma que un convertidor funciona como rectificador y el otro funciona con inversor, pero ambos convertidores producen el mismo voltaje medio de salida.

Los voltajes medios de salida de cada rectificador puente, se tiene:

$$V_{CC1} = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha_1 \quad (4.27)$$

$$V_{CC2} = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha_2 \quad (4.28)$$

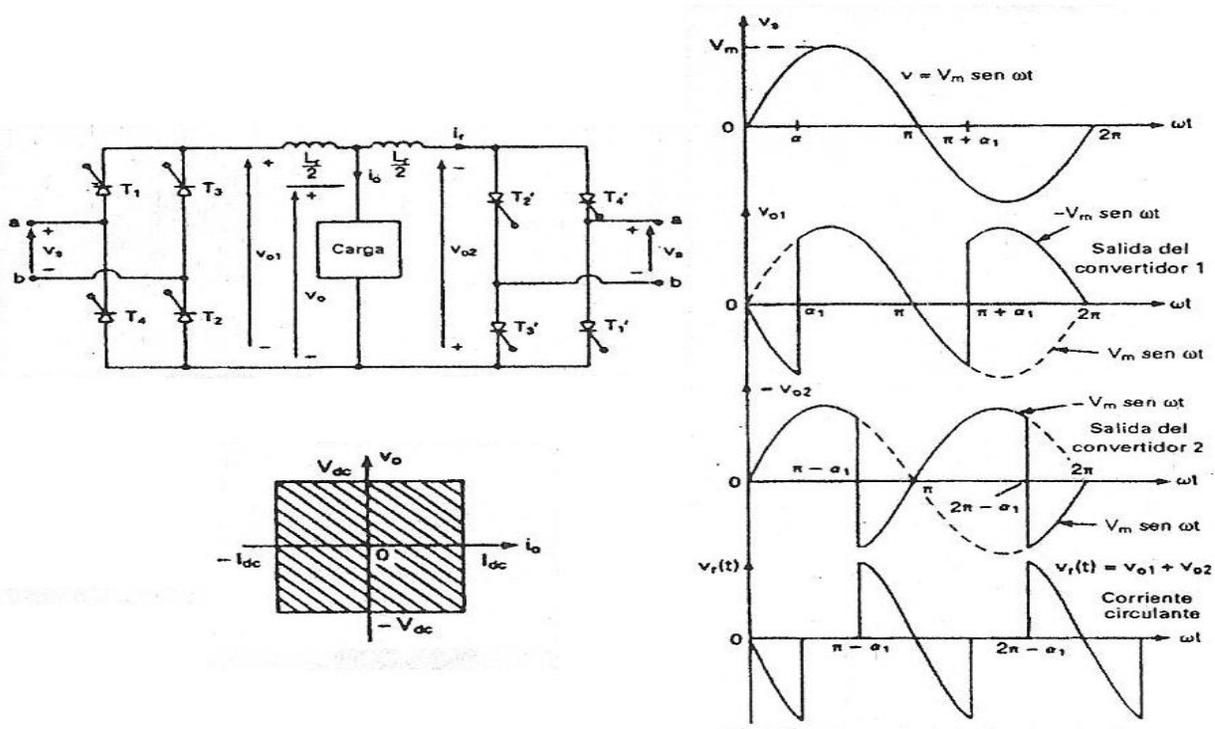


Figura 4.5 Convertidor dual monofásico con corriente circulante.

Se debe cumplir que:

$$V_{CC1} = -V_{CC2} \quad (4.29)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \pi \quad (4.30)$$

Los voltajes instantáneos de salida de los convertidores están afuera de fase.

Existe una diferencia instantánea de voltaje que dará como resultado una corriente circulante entre ambos convertidores.

La corriente circulante no fluirá a través de la carga y estará limitada por un reactor de corriente circulante L_R .

La corriente circulante depende del ángulo de disparo y para una corriente de carga I_p , la corriente en el convertidor será $I_p + 2V_m/X_L$.

Los convertidores duales pueden operar con o sin corriente circulante.

En caso de operar sin corriente circulante, solo opera un convertidor a la vez. [6]

Sin embargo, la operación con corriente circulante presenta las siguientes ventajas:

- Conducción continua en ambos convertidores, sobre todo el rango de control, independiente de la carga.
- Dado que ambos convertidores están en conducción continua, es más rápido el tiempo de respuesta para pasar de una operación de un cuadrante a otro.

3.1.4.2. Convertidor dual sin corriente circulante

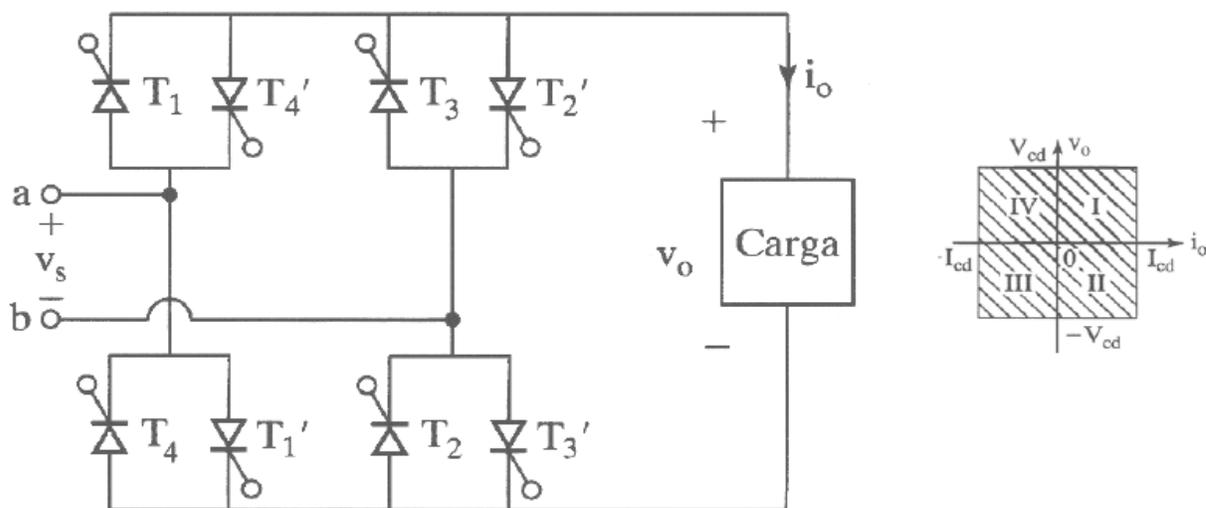


Figura 4.6 Convertidor dual monofásico sin corriente circulante.

En esta topología sólo conduce simultáneamente uno de los dos convertidores en puente, o el convertidor DIRECTO (T1, T2, T3 y T4) o el convertidor INVERSO (T1', T2', T3' y T4'). Mientras uno conduce, el otro está bloqueado.

Cada uno de los dos tiristores en antiparalelo (T1-T4', T3-T2', etc.) reciben el disparo en el mismo instante, pero sólo conducirá uno de ellos en función del instante en el que éste se produzca.

Se toma como referencia del ángulo de disparo el convertidor DIRECTO.

En un puente convencional, los disparos de T1 y T2 se aplican en $wt = \alpha$, y los de T3 y T4 se retrasan hasta $wt = \alpha + \pi$. En este caso, los disparos de T1-T4' y T2-T3' se aplican en $wt = \alpha$, y los de T3-T2' y T4-T1' se retrasan hasta $wt = \alpha + \pi$. [7]

Los sentidos de las tensiones y corrientes en función del ángulo de disparo son los siguientes:

$0 \leq \alpha < 90^\circ \Rightarrow$ 1er Cuadrante (Trabaja: convertidor DIRECTO).

$90 \leq \alpha < 180^\circ \Rightarrow$ 2º Cuadrante (Trabaja: convertidor DIRECTO).

$180 \leq \alpha < 270^\circ \Rightarrow$ 3er Cuadrante (Trabaja: convertidor INVERSO).

$270 \leq \alpha < 360^\circ \Rightarrow$ 4º Cuadrante (Trabaja: convertidor INVERSO).

3.2. Rectificación trifásica controlada

Los rectificadores trifásicos suministran un voltaje de salida más alto con menores componentes ondulatorias.

3.2.1. Rectificador trifásico media onda opera en dos cuadrantes

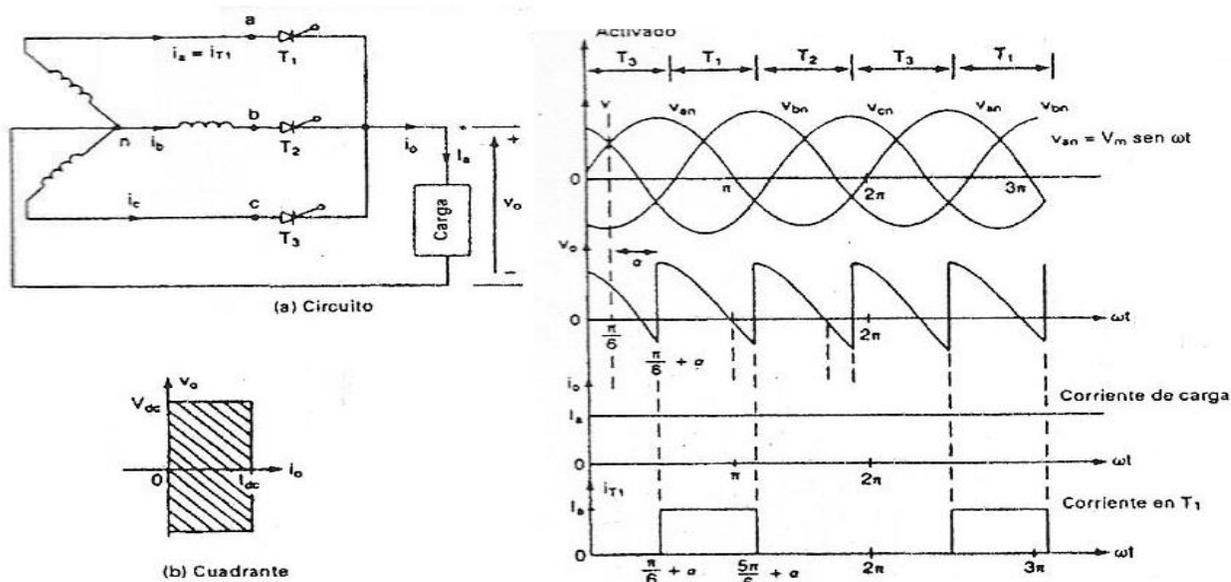


Figura 4.7 Rectificador trifásico media onda opera en dos cuadrantes.

En el convertidor trifásico de media onda:

T_1 se dispara en $\omega t = \pi/6 + \alpha$, el voltaje de salida es v_{an} .

Al disparar T_2 , T_1 se desactiva, el voltaje de salida es v_{bn} .

Al disparar T_3 , T_2 se desactiva, el voltaje de salida es v_{cn} .

Para carga resistiva y $\alpha > \pi/6$, la corriente de carga será discontinua. [6]

Las magnitudes del voltaje de salida son:

$$V_{CC} = \frac{1}{T} \int_0^T V_L(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin \omega t dt = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{5\pi/6+\alpha} V_m \sin \omega t d\omega t = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} \cos \alpha \quad (4.31)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_L^2(t) dt} = \sqrt{\frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{5\pi/6+\alpha} V_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \sqrt{2} V_m \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{\sqrt{3}}{8\pi} \cos 2\alpha} \quad (4.32)$$

3.2.2. Rectificador trifásico semicontrolado opera en dos cuadrantes

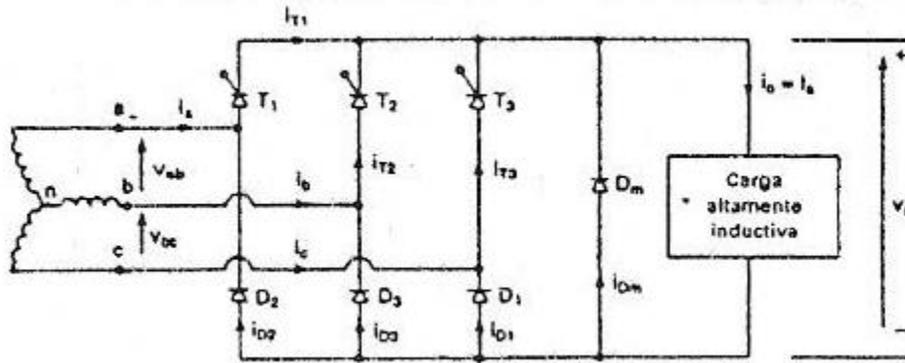


Figura 4.8 Rectificador trifásico semicontrolado opera en dos cuadrantes.

Como alternativa a los rectificadores trifásicos de media onda, es posible encontrar los rectificadores trifásicos semicontrolados.

Existen distintas formas de onda en función del ángulo de disparo respecto de $\alpha = \pi/3$.

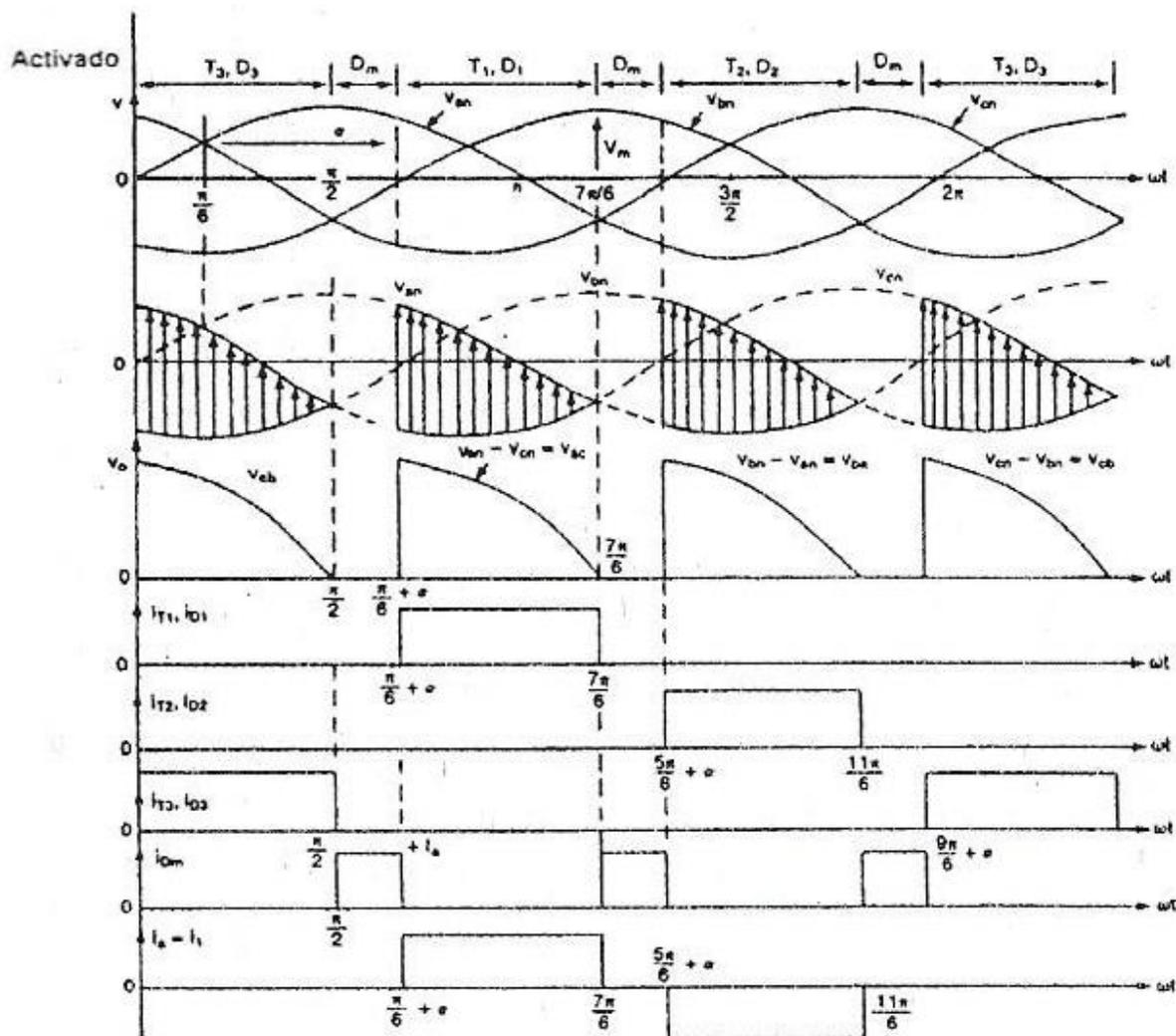
El voltaje de salida será continuo o discontinuo dependiendo el valor del ángulo de disparo.[6]

3.2.2.1. Voltaje de salida discontinuo: Para $\alpha \geq \pi/3$

Para $\alpha \geq \pi/3$ las magnitudes del voltaje de salida:

$$V_{CC} = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{7\pi/6+\alpha} v_{ac} \sin \omega t d\omega t = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{7\pi/6+\alpha} \sqrt{3} V_m \sin \left(\omega t - \frac{1}{6} \right) d\omega t = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (4.33)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{7\pi/6+\alpha} V_m^2 \sin^2 \left(\omega t - \frac{1}{6} \right) d\omega t} = \sqrt{3} V_m \sqrt{\frac{3}{4\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right)} \quad (4.34)$$


 Figura 4.9 Voltaje de salida discontinuo: Para $\alpha \geq \pi/3$.

3.2.2.2. Voltaje de salida continuo: Para $\alpha \leq \pi/3$

Si $\alpha \leq \pi/3$, cada tiristor y cada diodo conducen durante un intervalo de $2\pi/3$ y el diodo volante no cumple ninguna función (nunca conduce). [6]

Considerando $\alpha \leq \pi/3$ el voltaje medio y rms de salida se determina a partir:

$$V_{CC} = \frac{3}{2\pi} \left[\int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2} v_{ab} d\omega t + \int_{\pi/2}^{5\pi/6+\alpha} v_{ac} d\omega t \right] = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (4.35)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{3}{2\pi} \left[\int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2} v_{ab}^2 d\omega t + \int_{\pi/2}^{5\pi/6+\alpha} v_{ac}^2 d\omega t \right]} = \sqrt{3}V_m \sqrt{\frac{3}{4\pi} \left(\frac{2\pi}{3} + \sqrt{3} \cos^2 \alpha \right)} \quad (4.36)$$

Por otro lado, el valor efectivo de la tensión media de salida es:

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} 3V_m^2 \sin^2 \left(\omega t + \frac{1}{6} \right) d\omega t} = \sqrt{3} V_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos \alpha} \quad (4.38)$$

Con referencia a las formas de onda para $\alpha > \pi/3$, el voltaje instantáneo de salida tendrá una parte negativa.

Esta situación puede eliminarse si se incluye un diodo volante.

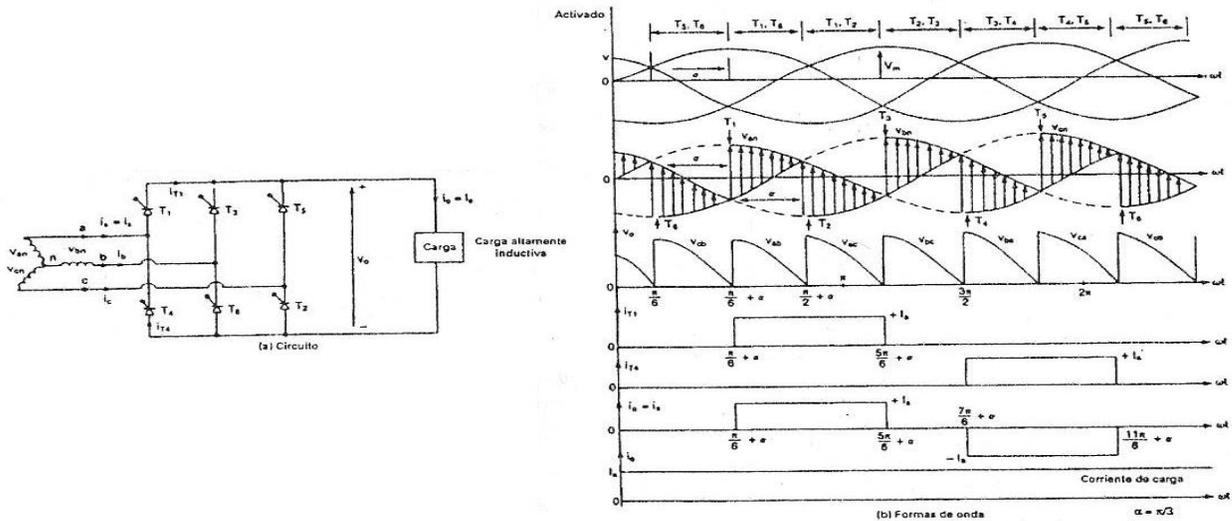


Figura 4.11 Rectificador trifásico de onda completa opera en dos cuadrantes.

Considerando la forma de onda de la corriente de entrada, la expansión en serie de Fourier se tiene:

$$i_s(t) = \sum_{n=1,5,7,\dots}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega t + \phi_n) \quad (4.39)$$

$$I_n = \frac{4I_a}{n\pi} \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right) \quad (4.40)$$

$$\phi_n = -n\alpha \quad (4.41)$$

En estas condiciones, el valor rms fundamental y total de la corriente de entrada resulta ser:

$$I_{s1} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_a = 0.779 I_a \quad (4.42)$$

$$I_s = \sqrt{\sum_{n=1,5,\dots}^{\infty} I_n^2} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_a = 0.816 I_a \quad (4.43)$$

La componente fundamental de la corriente de entrada es siempre un 77.90% de I_a . El valor rms un 81.60% de I_a .

El factor armónico de entrada HF se mantiene constante en 31.08%.

El factor de potencia dependiendo del ángulo de disparo según:

$$PF = (3/\pi) \cos \alpha \quad (4.44)$$

3.2.4. Rectificador trifásico opera en los cuatro cuadrantes

Un puente trifásico origina un voltaje de salida de seis pulsos.

Para aplicaciones de alta potencia, tales como la transmisión de CC de alto se requiere una salida de 12 pulsos para reducir las componentes ondulatorias de salida y para aumentar la frecuencia de las mismas.

3.2.4.1. Convertidor dual con corriente circulante

Para producir una salida efectiva de 12 pulsos se puede combinar dos puentes de seis pulsos en serie o paralelo.

Así, mediante la conexión de uno de los secundarios en estrella y el otro en delta es posible establecer un desplazamiento de fase de 30° en los devanados secundarios.

Esto se traduce en una cancelación armónica equivalente a una multiplicación de fases. [6]

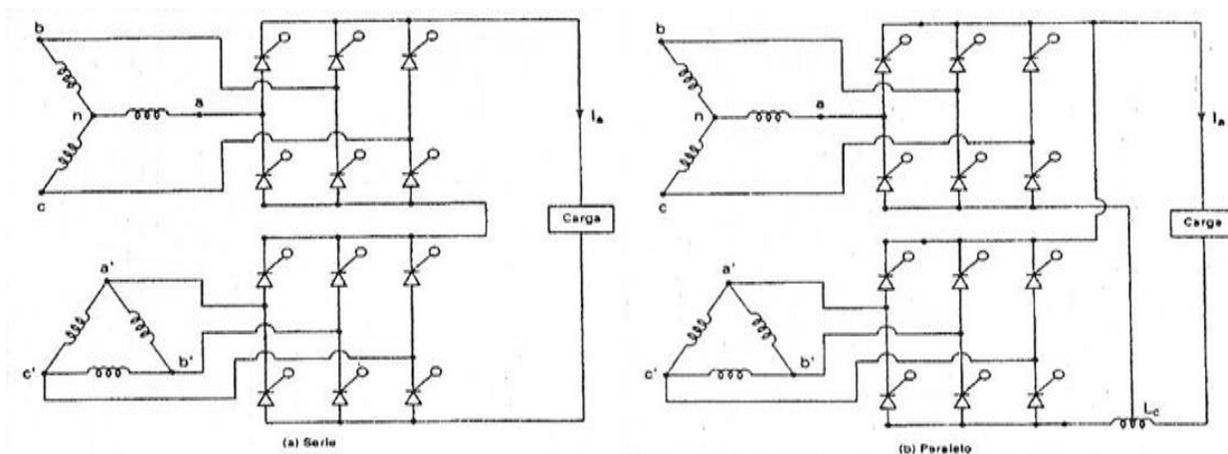


Figura 4.12 Rectificador trifásico opera en los cuatro cuadrantes.

Para una operación en cuatro cuadrantes, se utilizan convertidores trifásicos duales.

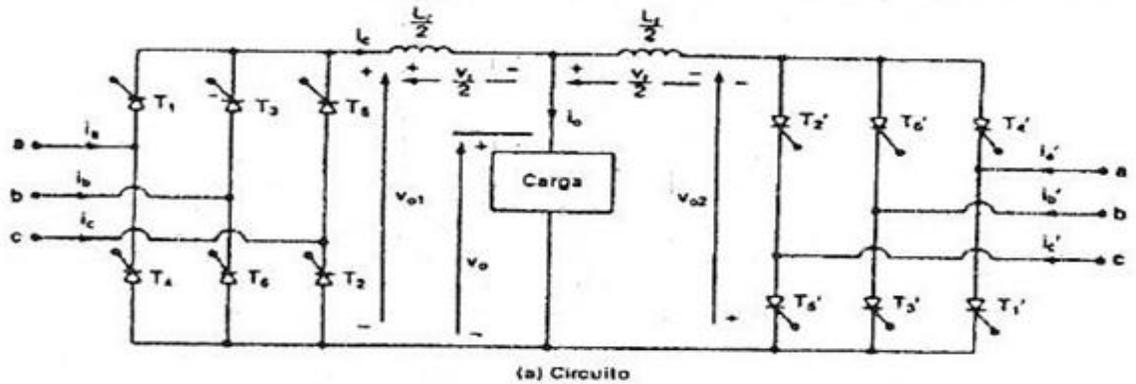


Figura 4.13 Convertidor dual trifásico con corriente circulante.

Los dos convertidores 1 y 2 están controlados de tal forma que $\alpha_1 + \alpha_2 = \pi$.

La operación de cada convertidor es idéntica a la de un convertidor trifásico controlado tipo puente.

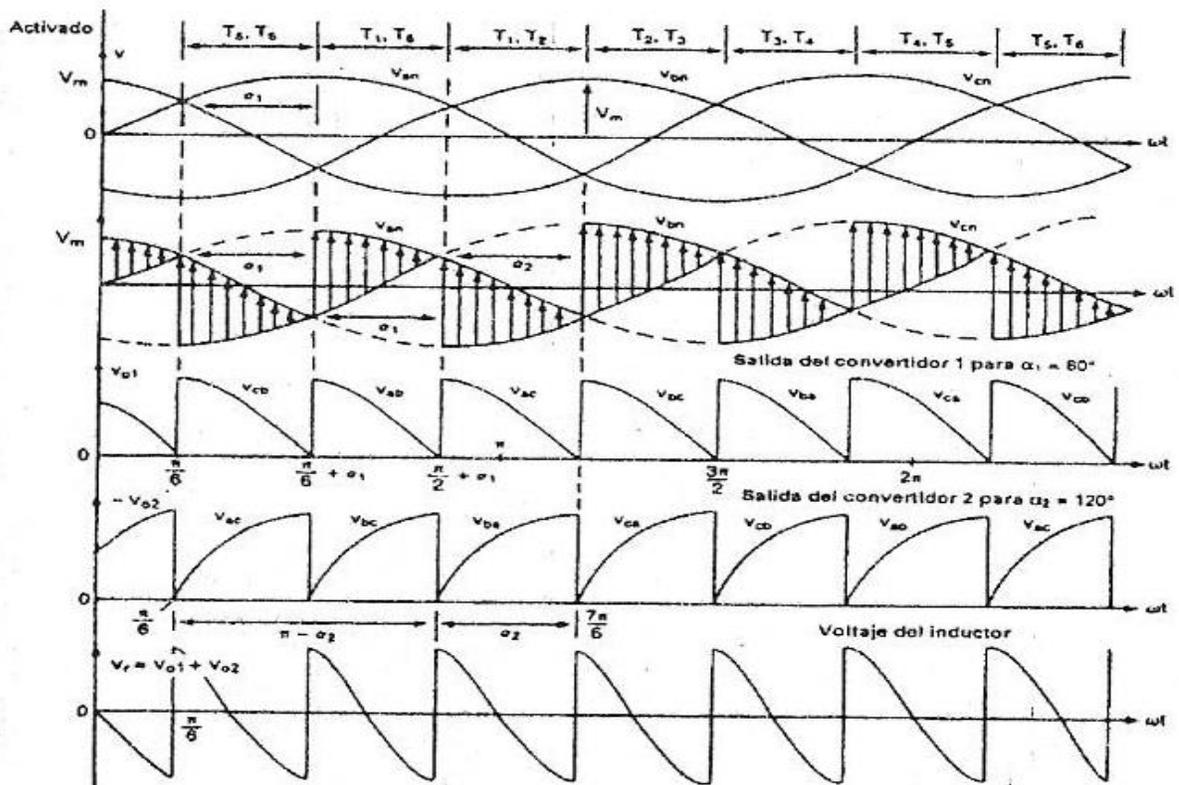


Figura 4.14 Formas de ondas de rectificador trifásico que opera en los cuatro cuadrantes.

Durante $\pi/6 + \alpha_1 \leq \omega t \leq \pi/2 + \alpha_1$, el voltaje de línea a línea v_{ab} aparece a través del convertidor 1 y v_{bc} aparece a través del convertidor 2. [6]

La corriente circulante estará limitada por el reactor y si v_{c1} y v_{c2} son los voltajes de salida, el voltaje instantáneo en el inductor será:

$$v_r = v_{c1} + v_{c2} = v_{ab} - v_{bc} = 3V_m \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right) \quad (4.45)$$

3.2.4.2. Convertidor dual sin corriente circulante

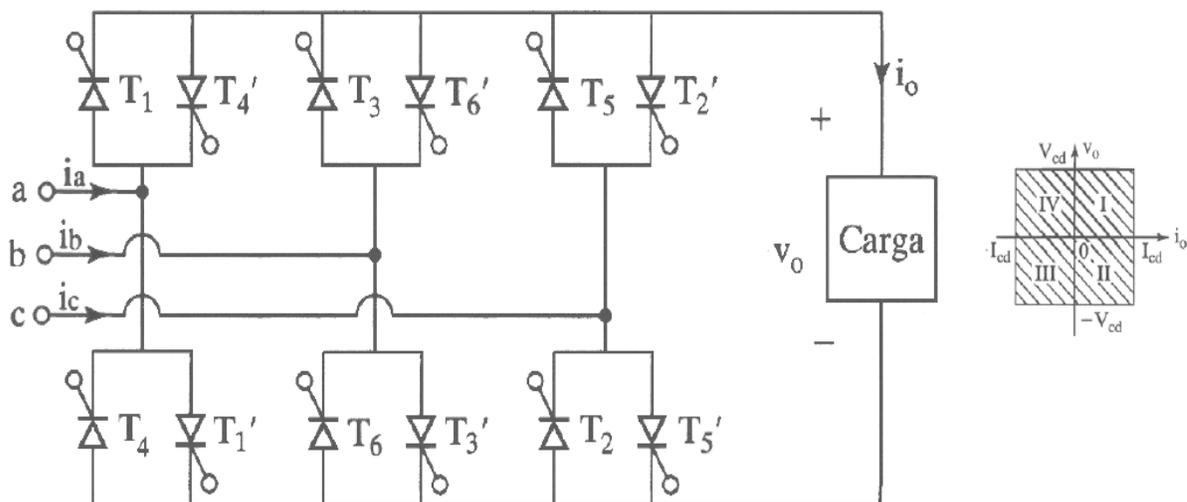


Figura 4.15 Convertidor dual trifásico sin corriente circulante.

Se pueden distinguir en el convertidor dos puentes:

- Puente directo: T1 – T2 – T3 – T4 – T5 – T6.
- Puente inverso: T1' – T2' – T3' – T4' – T5' – T6'.

El disparo se aplica simultáneamente a cada pareja de tiristores (T1 – T4', T3 – T6', etc.).

Conducirá uno u otro en función del ángulo α aplicado:

- Si $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$: Conduce el puente directo y el inverso está bloqueado ($i_o \rightarrow$ positiva).
- Si $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$: Conduce el puente inverso y el directo está bloqueado ($i_o \rightarrow$ negativa).

Cada puente por separado puede ofrecer a la carga tensiones positivas o negativas con lo que se puede trabajar en los cuatro cuadrantes. [7]

CAPITULO 5: SISTEMA DE CONTROL

1. Introducción

Existen diferentes métodos para controlar la velocidad del motor C.C. que ya hemos estudiado (Cap.3), siendo las más usadas la variación de voltaje de armadura (velocidad bajo la nominal del motor) y de la corriente de campo (velocidad sobre la nominal del motor). [4]

2. Sistema de Control

El sistema de control en este caso se hace por medio del control de velocidad, en donde se utiliza un sistema de realimentación o lazo cerrado, permitiéndonos un mayor control de velocidad sobre el motor C.C. [5]

Los controladores típicamente utilizados tienen un esquema de control en cascada (lazos anidados). Los lazos anidados están compuestos por un lazo interno de corriente y un lazo externo de velocidad. En donde los controladores típicamente son PI.

Este tipo de control se pueden diseñar (diseño “por cancelación” y de “2° orden”). Cuando se utiliza un esquema de control en cascada, los lazos se diseñan en forma independiente.[8]

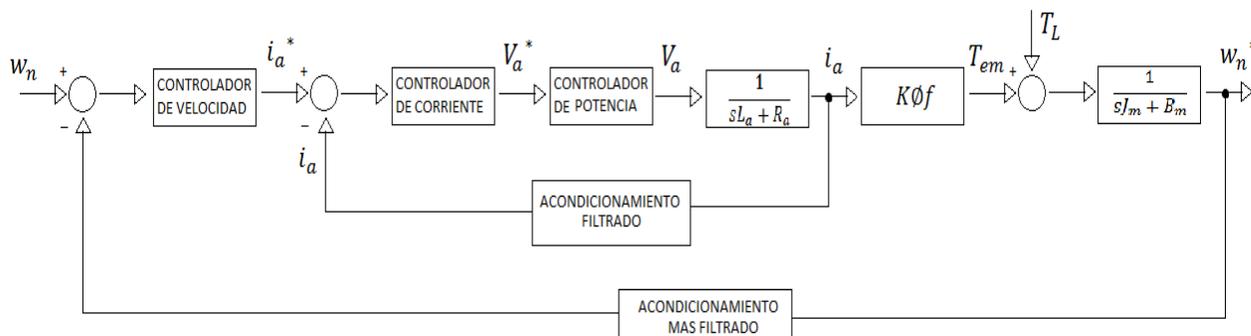


Figura 5.1 Diagrama de Bloques.

Este sistema requiere saber los datos (1°) “Referencia de velocidad” y (2°) Velocidad de funcionamiento, con esta información el controlador realiza una comparación enviando una señal de error que se aplica a un controlador de velocidad y luego esta señal pasa a un controlador de corriente que compara esta señal con la de corriente que está entrando al sistema de control del motor, con esto se genera una nueva señal que se utiliza para generar los pulsos de disparo que ajustan el ángulo de disparo para los semiconductores, los responsables de hacer efectivo el control en la zona de potencia (controlador de potencia). [5][8]

CAPITULO 6: APLICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN

1. Introducción

Se ha estudiado los “Accionamientos Eléctricos” (Cap.1), además de sus elementos más importantes, tales como, el motor eléctrico (“Motor C.C” (Cap.2) y “Control de un motor C.C.” (Cap. 3)), convertidor electrónico de potencia (“Conversor de corriente alterna (C.A.) a corriente continua (C.C.)” (Cap.4)) y su sistema de control (“Sistema de Control” (Cap.5)). Y en este capítulo aplicaremos lo desarrollado de forma particular, ahora colectivamente.

2. Aplicación

2.1. Introducción

Para aplicar lo estudiado en los capítulos anteriores de este seminario debemos mencionar y describir los equipos existentes en el departamento que utilizaremos.

2.2. Equipos

2.2.1. Motor C.C.

Es un motor de corriente continua con sus bornes de conexión disponibles al instalador, esto nos permite desarrollar cualquier tipo de conexión para su control (ver Cap.2 y Cap.3) (a excepción del motor C.C. de imanes permanentes, que es otro tipo de máquina C.C. que la universidad no tiene).

KW	F.L. RPM	F.L. AMPS.	VOLTS
3	1750	23	125
MODEL N°	M-253AS-DBP		
SERIAL N°	370-093-222	253A	F FRAME
TYPE	M-1607	1.0	SERVICE FACTOR
ENCLOSURE	OPEN	0.76	FIELD AMPS.
°C RISE	60	125	FIELD VOLTS
TIME DUTY		6209-2 RS	BEARING SHAFT END
AMB °C	40	6207-2 RS	BEARING FRONT END
TAMPER			
D.C. MOTOR			

Figura 6.1 Placa de datos del motor C.C. de laboratorio, *TAMPER D.C. MOTOR*

2.2.2. Conversor de cuatro cuadrantes

Es un equipo constituido por una serie de elementos eléctricos y electrónicos (electrónica de potencia), que acepta una variedad de corrientes y tensiones trifásicas de alimentación, y es adecuado para la alimentación de motores de corriente continua en conexión independiente, derivación y de motores C.C. de imanes permanentes. Proporcionando, un sistema de control en la tensión de armadura y de campo del motor C.C. (Ver Cap. 3, Cap.4 y Cap.5).



Figura 6.2 Placa de datos del convertidor de cuatro cuadrantes de laboratorio, *INTEGRATOR DC 590+ SERIES 2*.

Este conversor alimenta los circuitos de campo y armadura del motor a través de los rectificadores. En donde, el control del circuito de campo del motor se realiza por un rectificador semicontrolado monofásico, debido a que este nos proporciona un funcionamiento solo en el primer cuadrante, entregando voltaje o corriente fija, no participando en el control de velocidad del motor. El control del circuito de armadura es proporcionado por dos rectificadores controlados trifásicos, conectados en antiparalelo o también llamado convertidor dual sin corriente circulante, permitiéndonos el funcionamiento en los cuatro cuadrantes, y de esta forma realizar el control de la velocidad del motor, en donde modificamos el ángulo de disparo de los semiconductores del rectificador para variar la tensión de armadura del motor.

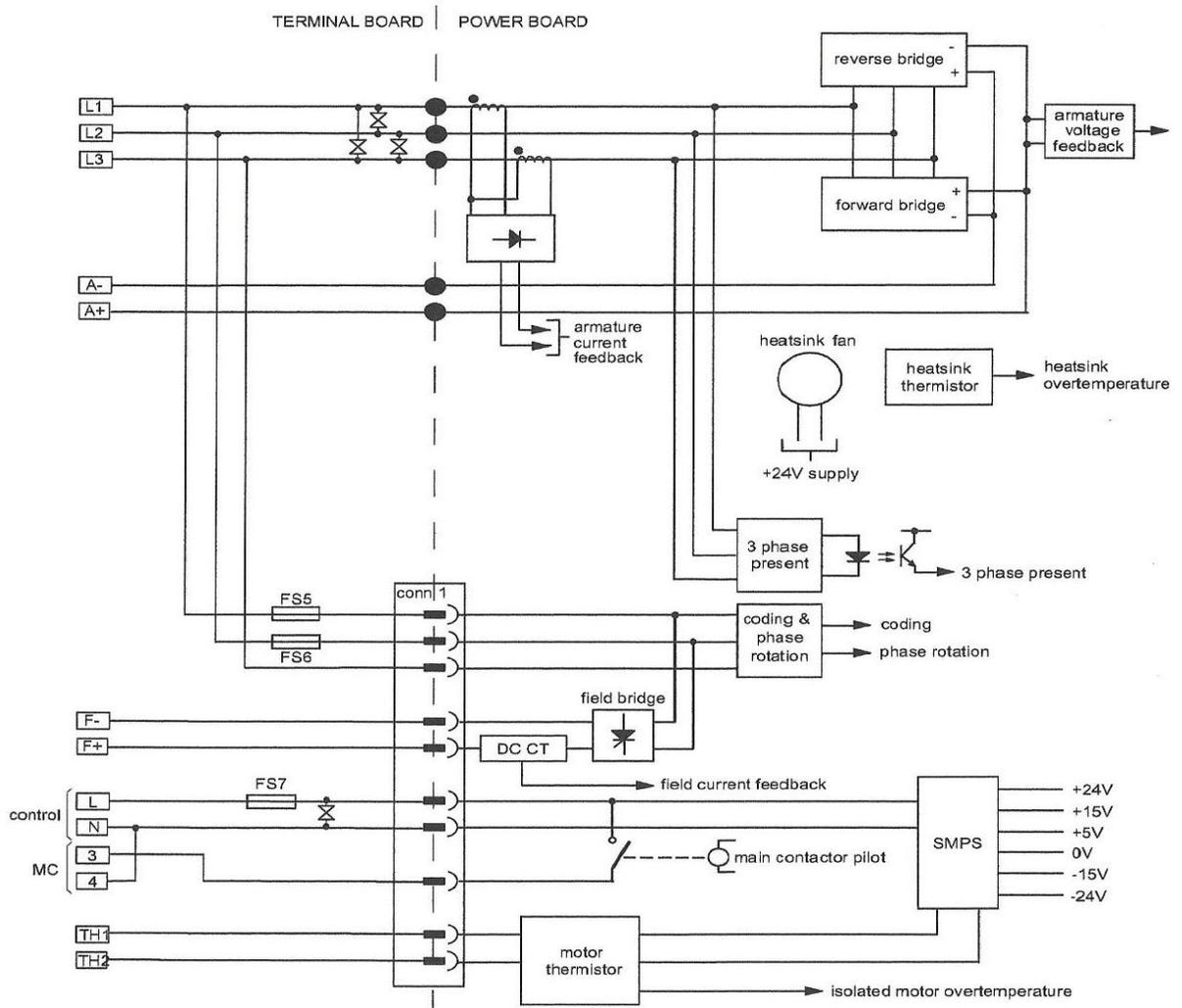


Figura 6.3 Diagrama de conexión para el tablero de energía y de la tarjeta de terminales.

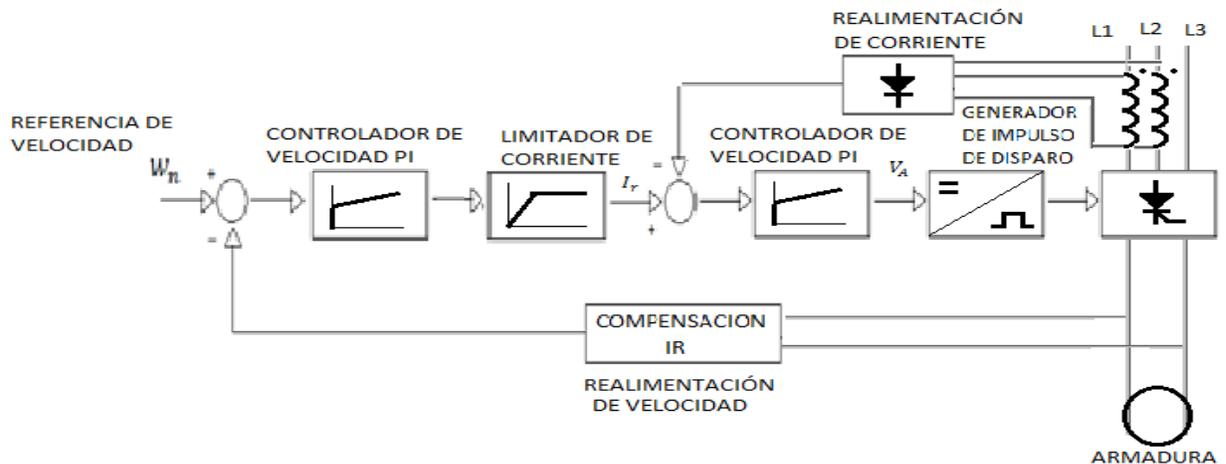


Figura 6.4 Esquema de control.

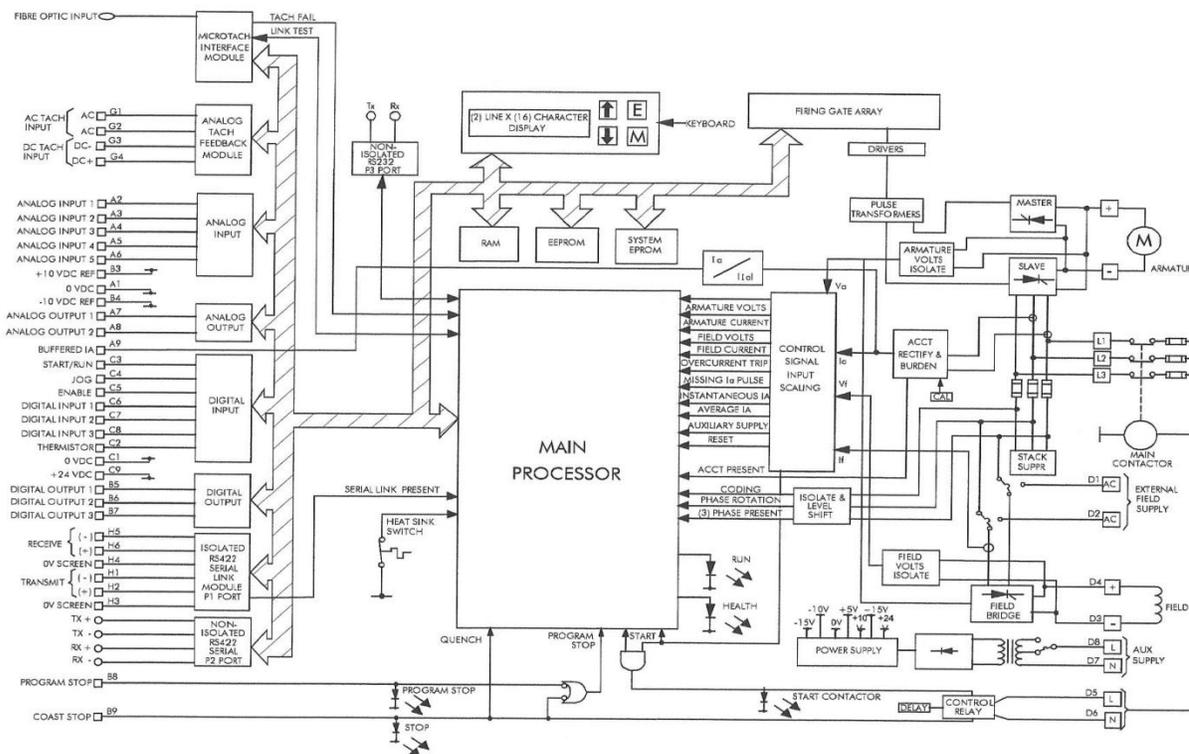


Figura 6.5 Diagrama de bloques funcional, terminales de fuerza y control.

2.3. Funcionamiento

Nuestro accionamiento eléctrico se puede graficar (ver fig. 1.1) y entender de forma sencilla como un sistema en cascada con realimentación, esto lo hace un sistema totalmente controlado.

En donde, la alimentación eléctrica proviene de la red trifásica (380V, L1, L2 y L3) existente en el laboratorio de accionamientos eléctricos, con esto suministraremos el equipo de conversión de cuatro cuadrantes de forma trifásica, el cual por medio de sus rectificadores alimentará los circuitos de campo y armadura del motor de corriente continua con conexión de excitación independiente, haciéndolo girar según sea su control. El controlador que posee el equipo convertidor permite un amplio control del motor, ya que este es capaz de sensor en forma continua las corrientes y tensiones de armadura y de campo del motor C.C., permitiendo controlar el sentido de giro, la velocidad de giro, el torque y el frenado del motor y esto se puede realizar modificando el ángulo de disparo de los semiconductores del convertidor dual sin corriente circulante del equipo convertidor. A continuación veremos de forma gráfica lo descrito anteriormente.

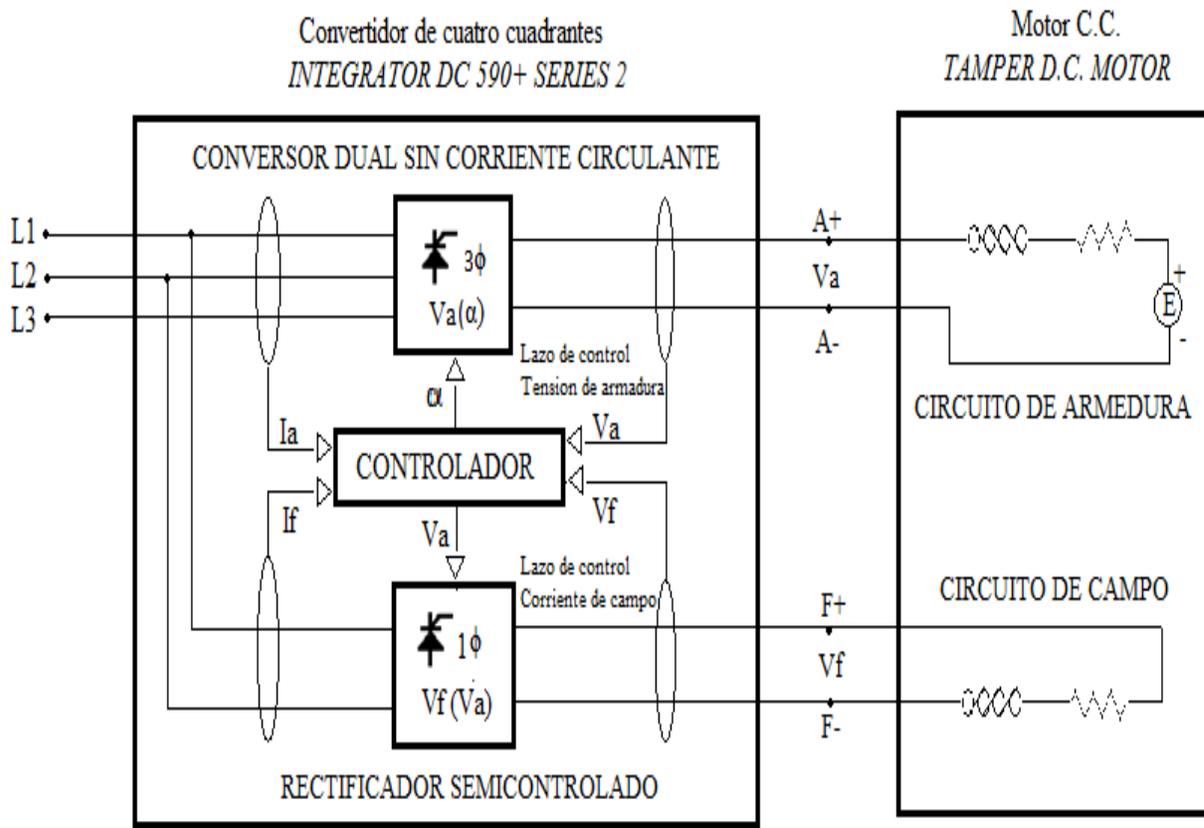


Figura 6.6 Diagrama de circuito de funcionamiento.

3. Implementación

3.1. Introducción

El objetivo de es Seminario de Título es “implementar un banco de pruebas en el laboratorio Accionamientos Eléctricos para el control de un motor de corriente continua, por medio de un convertidor de cuatro cuadrantes”. A continuación se detallara el paso a paso para realizar de forma óptima este banco de pruebas.

3.2. Atril de trabajo

El banco de pruebas a implementar en el laboratorio será móvil, por lo tanto, se construirá una estructura de metal que sea capaz de resistir al equipo de conversión además de los tableros de suministro eléctrico del equipo como para el motor.

A continuación se mostrara de forma gráfica como debe ser construida esta estructura metálica para que sea segura, además de mostrar sus dimensiones milimétricamente.

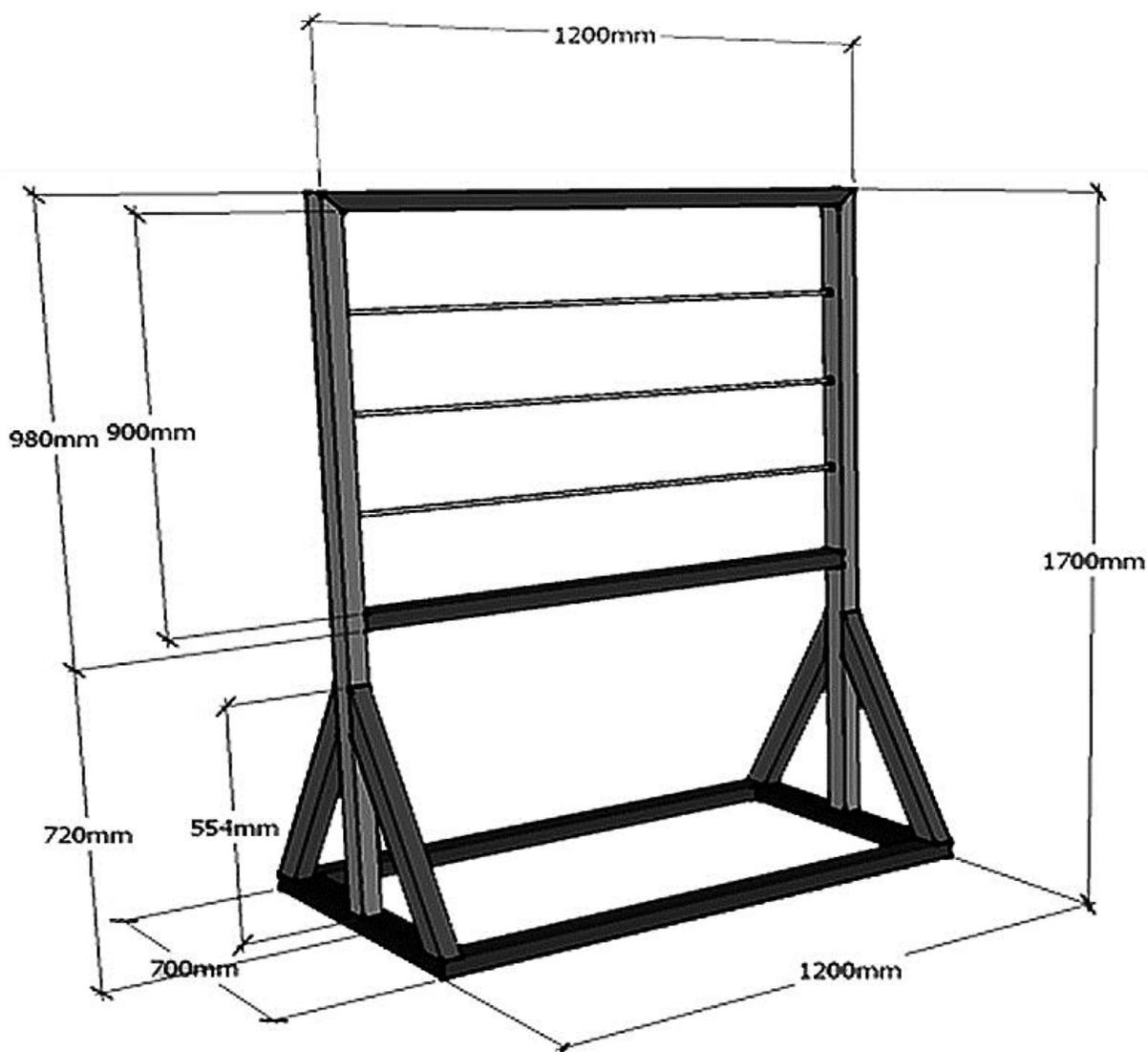


Figura 6.7 Estructura metálica móvil.

La estructura metálica debe ser construida con fierro tipo perfil rectangular de 60x40x2mm con tres barras de soporte posterior fierro tipo cuadrado 10x10mm. Se debe agregar una tapa de melamina de 15mm blanca de 1120x900mm insertado en la estructura, en donde estarán montados los tableros de suministro eléctrico y el equipo de conversión. Además las cuatro ruedas deben soportar una carga de a lo menos 40Kgr. cada una, y tendrán el trabajo de resistir el banco de prueba o atril de trabajo.

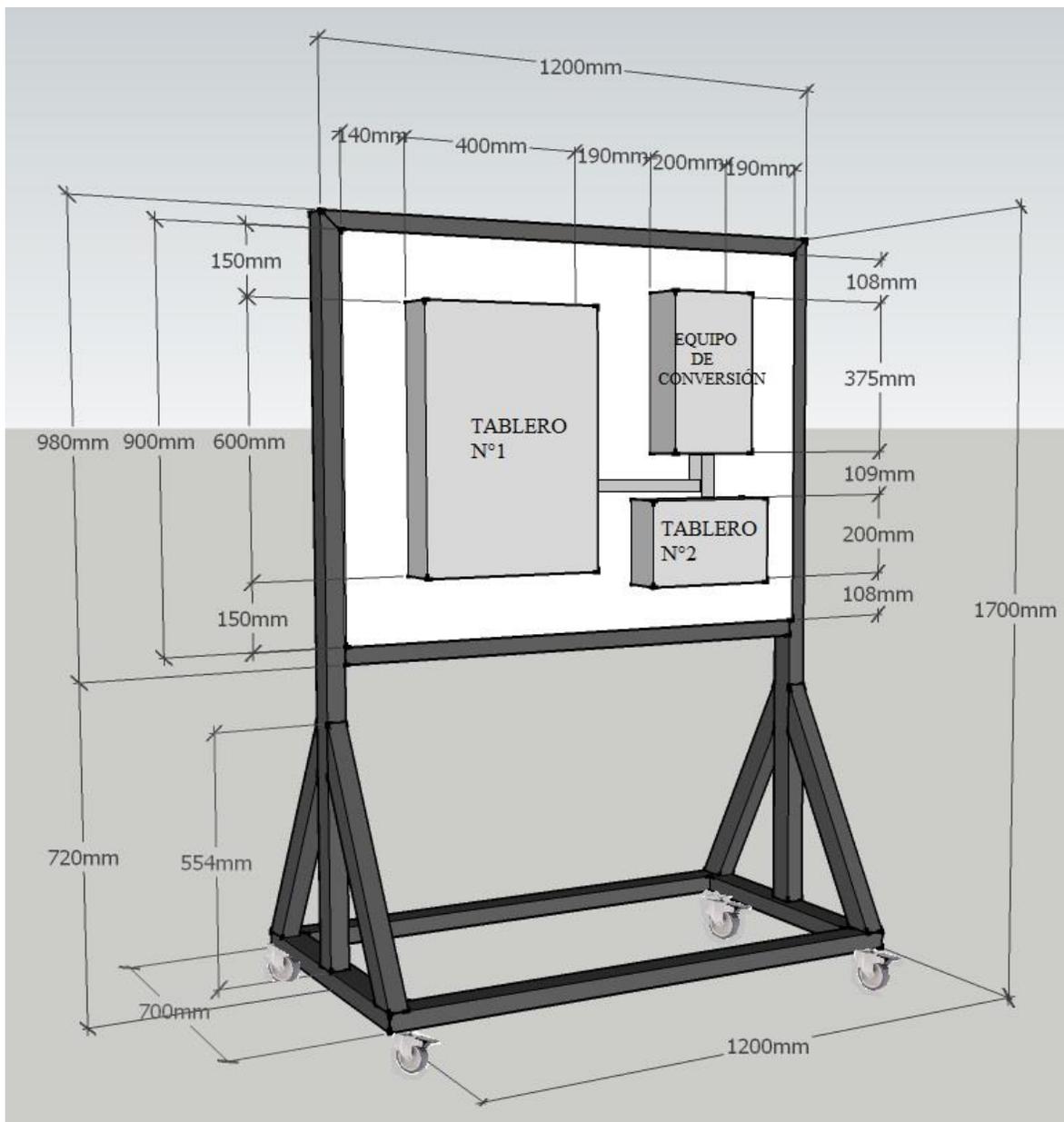


Figura 6.8 Atril de trabajo.

3.3. Tableros de suministro eléctrico

Como ya se ha mencionado se tendrá un tablero que suministra eléctricamente al equipo de conversión (Tablero N°1) y otro que suministrara al motor (Tablero N°2).

El tablero N°1 contendrá la unidad de fuerza y de control remoto del equipo de conversión (ver Figura 6.10), por lo tanto contiene las protecciones debidas (fusibles, disyuntores, contactor y reactor de línea) y los elementos necesarios para el control remoto (luces pilotos, seccionadores, pulsadores y potenciómetros).

El tablero N°2 contendrá los bornes de fuerza de conexión del equipo de conversión al motor, es decir, los de armadura (A+ y A-), los de campo (F+ y F-), los del termistor del motor (TH1 y TH2) y el borne de tierra de protección. En el caso del motor de laboratorio no posee termistor, por lo que se realiza una conexión directa entre TH1 y TH2 (ver Figura 6.9).

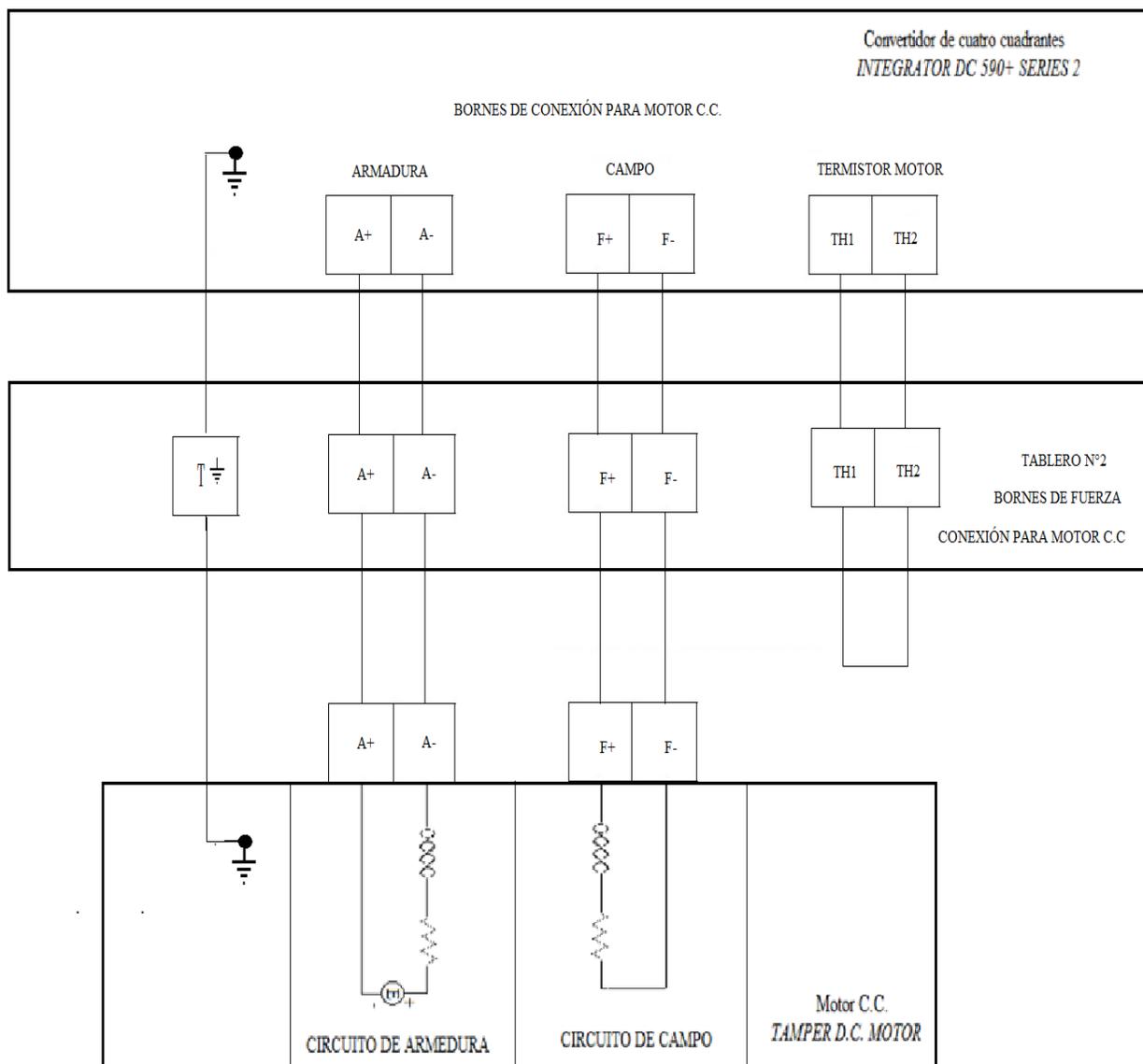


Figura 6.8 Conexión e instalación del circuito de fuerza del motor.

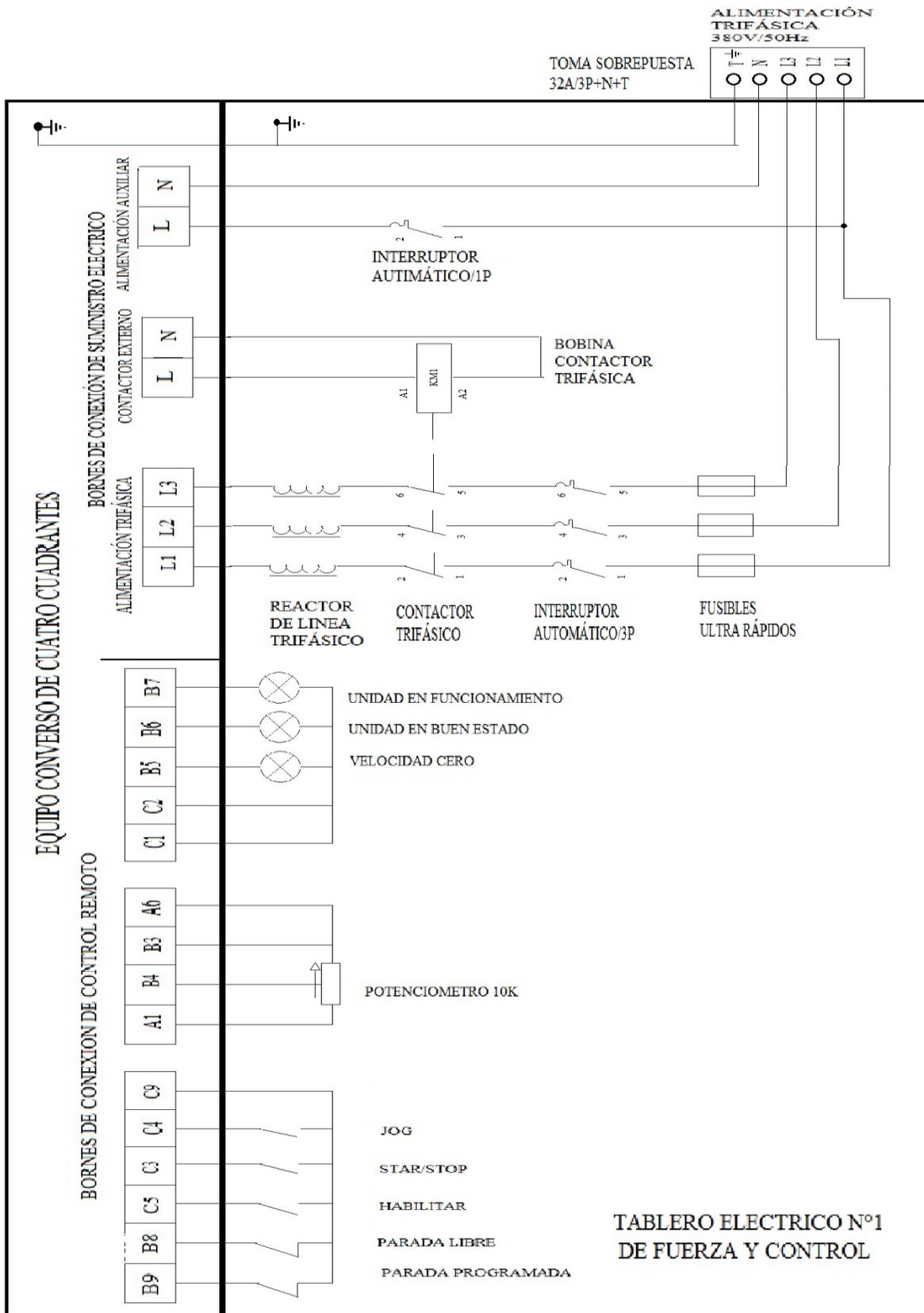


Figura 6.10 Conexión e instalación del circuito de control y de poder.

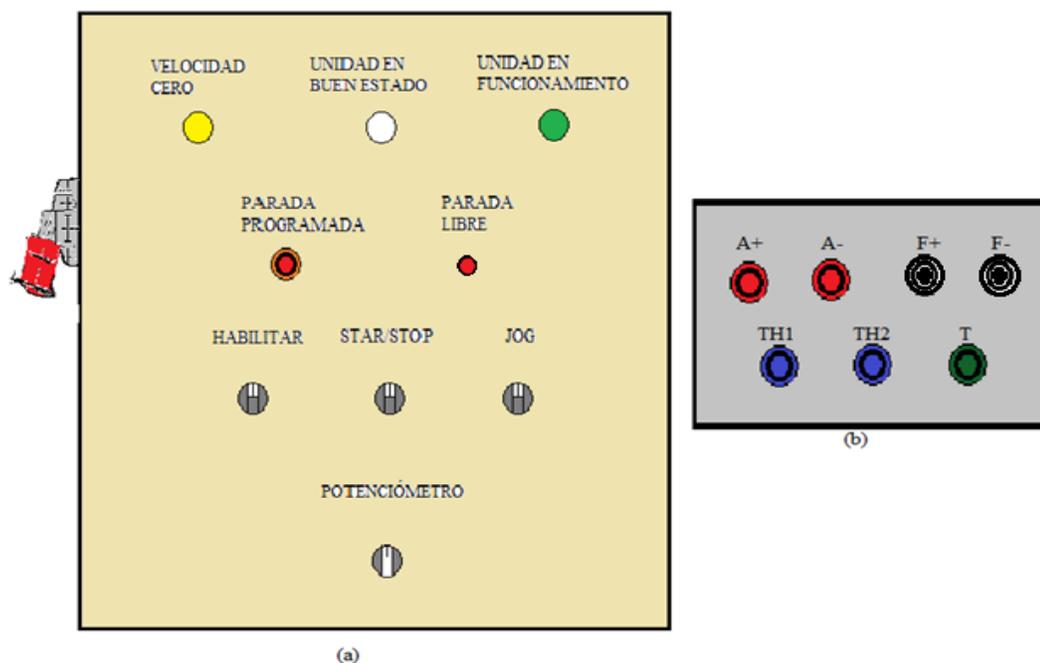


Figura 6.11 Distribución frontal de los tableros de suministro, a) Tablero N°1 y b) Tablero N°2.

3.4. Cubicación de materiales

En este ítem señalaremos todos los elementos necesarios para la elaboración del banco de pruebas, incluyendo los ya mencionado a través del seminario.

Los materiales a utilizar los separaremos en tres grandes grupos:

1. **Equipos:** estos son el motor de corriente continua “TAMPER D.C. MOTOR” y el convertor de cuatro cuadrantes “INTEGRATOR DC 590+ SERIES 2”, que son propiedad del DIEE, lo que implica un no gasto a realizar en este ítem.
2. **Atril de trabajo:** este ha sido diseñado (ver cap. 6.3.2) para que responda al objetivo planteado en este seminario. Lo contamos como un solo elemento (atril de trabajo), y este no lo posee el DIEE, por lo tanto es una inversión a realizar.
3. **Montaje eléctrico:** este ítem corresponde a todos los elementos necesarios (no mencionados en los ítems 1 y 2) para la elaboración completa, segura y correcta del banco de pruebas para el laboratorio de accionamientos eléctricos.

A continuación detallaremos en la tabla 6.1 el listado de materiales a adquirir por el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Bío Bío. La justificación de algunos elementos (protecciones, conductores, etc.) se puede ver en el anexo A.

Tabla 6.1 *Listado de materiales*

Grupo	N°	Descripción	Cant.	Referencia catalogo	Marca y año catalogo
2	1	Atril de trabajo	1	-	-
	2	Rueda de goma gris 2" giratoria con freno Sofbal	4	2053101	Sodimac
3	3	Tablero armario metálico 600X400X200 c/panel c/puerta	1	35504	Legrand 2014/2015
	4	Caja industrial metálica rectangular 300X200X120mm	1	35607	Legrand 2014/2015
	5	Enchufe hembra sobreponer inclinado P17 3P+N+T 32A/380V	1	55578	Legrand 2014/2015
	6	Interruptor magneto térmico tripolar 32A , 10KA curva C	1	407862	Legrand 2014/2015
	7	Interruptor magneto térmico unipolar 4A, 10KA curva C	1	407665	Legrand 2014/2015
	8	Portafusibles seccionables SP51 tripolar, 32A/500V 14X51mm	1	21504	Legrand 2014/2015
	9	Fusible industrial cilíndrico tipo gG (rápido) 14X51mm APR, 40A/500V	6	14340	Legrand 2014/2015
	10	Contactador con mando manual bobina 230V tripolar 400V/40A, 3NA	1	412549	Legrand 2014/2015
	11	Riel Din simétrico 15mm de profundidad , 2metros	1	37407	Legrand 2014/2015
	12	Bornes de repartición sobre soporte, 8 salidas verde	1	4832	Legrand 2014/2015
	13	Bornes de repartición sobre soporte, 8 salidas azul	2	4842	Legrand 2014/2015

14	Borne de conexión con soporte de paso, 1 conexión – 1 entrada/1 salida 4mm2 gris	3	37260	Legrand 2014/2015
15	Borne de conexión con soporte de paso, 1 conexión – 1 entrada/2 salida 4mm2 azul	1	37244	Legrand 2014/2015
16	Borne de conexión con soporte de paso, 1 conexión – 1 entrada/2 salida 4mm2 naranja	1	37242	Legrand 2014/2015
17	Canaleta Lina 25 PVC azul 40x25x2000mm	2	36205	Legrand 2014/2015
18	Moldura 40x16 blanca 2,1m Legrand	2	286745	Sodimac
19	Botón saliente pulsador rojo con retorno 1NC	1	23715	Legrand 2014/2015
20	Botón giratorio selector maneta 2 posiciones fijo 1NA	3	23730	Legrand 2014/2015
21	Botón parada de emergencia pulsador con retorno 1NC	1	23720	Legrand 2014/2015
22	Luz piloto 24VCC verde	1	24122	Legrand 2014/2015
23	Luz piloto 24VCC blanco	1	24120	Legrand 2014/2015
24	Luz piloto 24VCC amarillo	1	24124	Legrand 2014/2015
25	Inductancias de líneas trifásica (3P) 380/500V 50/60Hz 30A 1mH 6Kg.	1	VW3A4554	Schneider 2012/2013
26	Potenciómetro metálico de una vuelta de 10kohms	1	-	-
27	Perilla dial para potenciómetro metálico	1	-	-
28	Cable THHN 14 AWG negro, metro lineal	10	649422	Sodimac
29	Cable THHN 12 AWG negro, metro lineal	10	649953	Sodimac
30	Cable THHN 8 AWG negro, metro lineal	10	199184	Sodimac

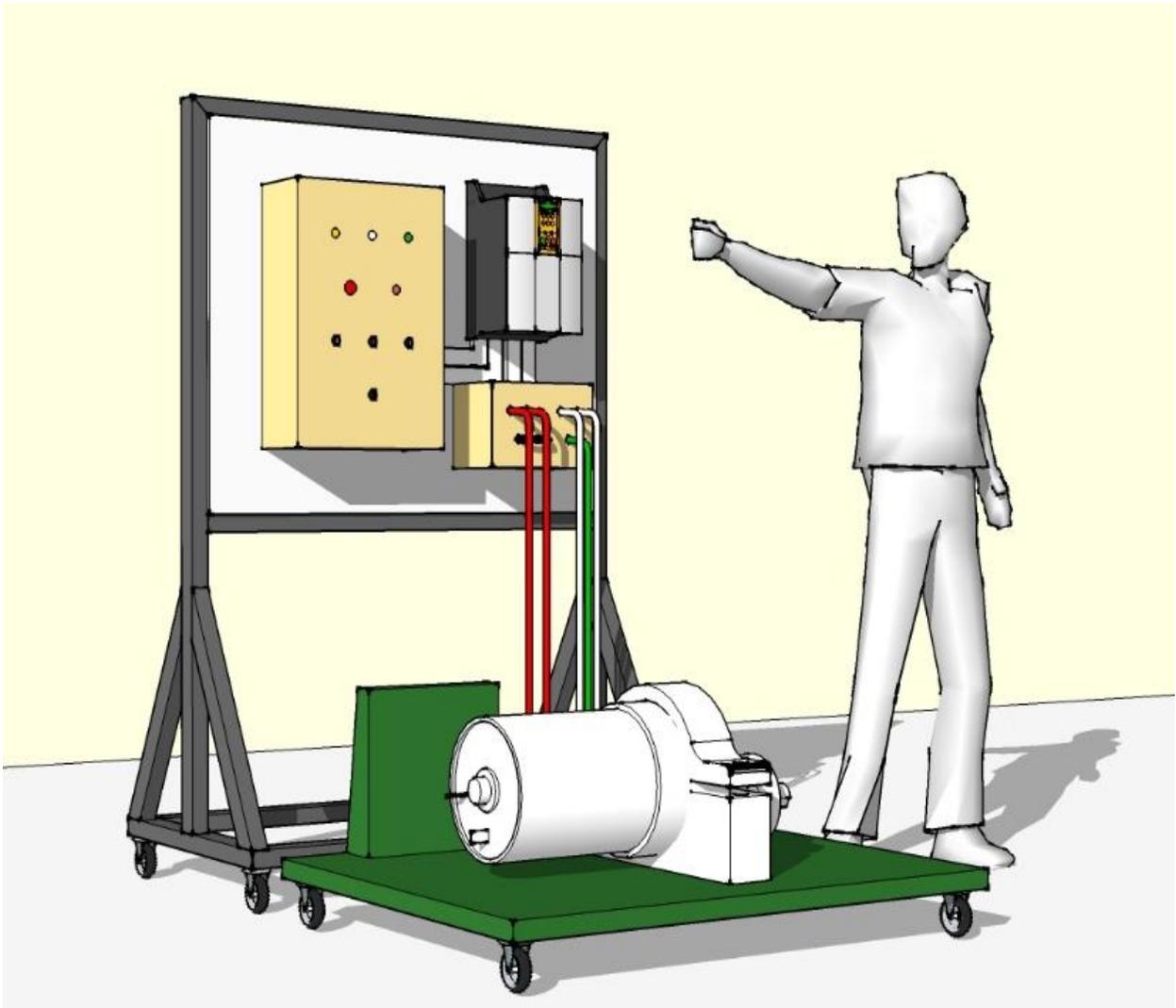


Figura 6.12 Banco de pruebas, laboratorio Accionamientos Eléctricos.

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

A lo largo de este seminario se han expuesto diferentes tópicos acerca del accionamiento eléctrico de un motor de corriente continua y su control por medio de un convertidor de cuatro cuadrantes, este marco teórico es amplio y beneficioso para el estudiante, y sería más provechoso si se pudiera complementar con una práctica.

Este informe ha demostrado la factibilidad de ejecutar este banco de pruebas para el laboratorio de accionamientos eléctricos, por medio de planos (atril de trabajo y diagramas eléctricos de conexión), descripción del montaje, cubicación de materiales y cotizaciones para llevar a cabo la instalación de este banco de pruebas.

Se recomienda tomar en cuenta este Seminario de Titulación por el avance y la profundidad con que se realizó, siendo útil en cuatro aspectos:

- 1) Como material de apoyo a los estudiantes de asignatura de “Accionamientos Eléctricos”.
- 2) Propuesta de experiencia de laboratorio para los estudiantes del “Laboratorio de Accionamientos Eléctricos”.
- 3) En la utilización de los planos, cubicación de materiales y cotizaciones realizadas para la instalación.
- 4) Como un incentivo en la ejecución de este banco de pruebas para el laboratorio de accionamientos eléctricos por tener este un beneficio mayor para toda la comunidad educativa (profesores, estudiantes y en la competitividad como institución).

BIBLIOGRAFÍAS

- [1] Wildi, Theodore. (2007). Máquinas eléctricas y sistemas de potencia. Capítulo 5 (Motores de corriente directa). México: Pearson Educación. Sexta edición.
- [2] Álvarez García, Alfredo. (2013/2014). Libro/apunte de cátedra: Máquinas eléctricas. Capítulos 9 (Accionamientos).
http://eii.unex.es/maquelec/C_Clases/4_Control/3_Accionamientos/1%20Introduccion_accionamientos.pdf
- [3] Chapman, Stephen J. (2000). Máquinas eléctricas. Capítulos 8 y 9 (Fundamentos de máquinas de corriente continua (dc) y Motores y generadores de corriente continua). Santa Fe de Bogotá: Mc Graw Hill. Tercera edición.
- [4] Zambrano L., Ramón. (2012-2). Libro/apunte de cátedra: Máquinas eléctricas. Capítulos 2 y 4 (Maquina rotaria C.C. y Motores de corriente continua).
- [5] Medina M., Héctor J.y Romero G., Rafael S. (2013). Seminario de titulación (DIEE, UBB): Estudio y puesta en servicio del convertidor de cuatro cuadrantes para uso en el laboratorio de accionamientos eléctricos.
- [6] Delgado Navarro., Juan Carlos. (2013-2). Libro/apunte de cátedra: Electrónica de potencia. Capítulo 3 (Convertidores CA-CC).
- [7] Electrónica de potencia I, Tema 2: Convertidores CA/CC. (2.7) <http://fotovoltaiico.galeon.com/>
(<http://fotovoltaiico.galeon.com/tema2C.pdf>)
- [8] Riedemann Aros, Javier. (2013-2). Libro/apunte de cátedra: Accionamientos eléctricos. Capítulo 8 (Control del motor DC).
- [9] Parker. (2012). Manual del producto 590+ series.
<http://www.parker.com/literature/SSD%20Drives/DC%20Drives/HA466461U004.pdf>

ANEXO A: INSTRUCCIONES Y JUSTIFICACIONES DEL MONTAJE [4]

1. Instrucciones de montaje del convertidor

El convertidor y su tablero se fijan en una estructura metálica móvil como se muestra en la figura 6.8. Antes de la instalación mecánica se debe tener en cuenta que el convertidor emite calor en funcionamiento normal por lo tanto se debe montar de forma que permite el libre acceso del aire, también es bueno considerar que la superficie de instalación sea un buen conductor térmico, ya que la temperatura de funcionamiento es de 0 a 45 °C.

Se debe tener en cuenta que para la instalación mecánica del convertidor debe existir un procedimiento de elevación seguro y adecuado, jamás levantar por medio de los terminales de conexión.

Ubicar el equipo en posición vertical en la estructura metálica móvil, el montaje del convertidor se hace a través de pernos y tornillos las cuales se fijan en las ranuras predeterminadas del equipo.

2. Instalación eléctrica de poder

La instalación eléctrica de poder está constituida por la alimentación trifásica, alimentación auxiliar, circuito de armadura del motor y el termistor del motor. En la figura A.1 se muestran los terminales de conexión para la instalación eléctrica de poder.

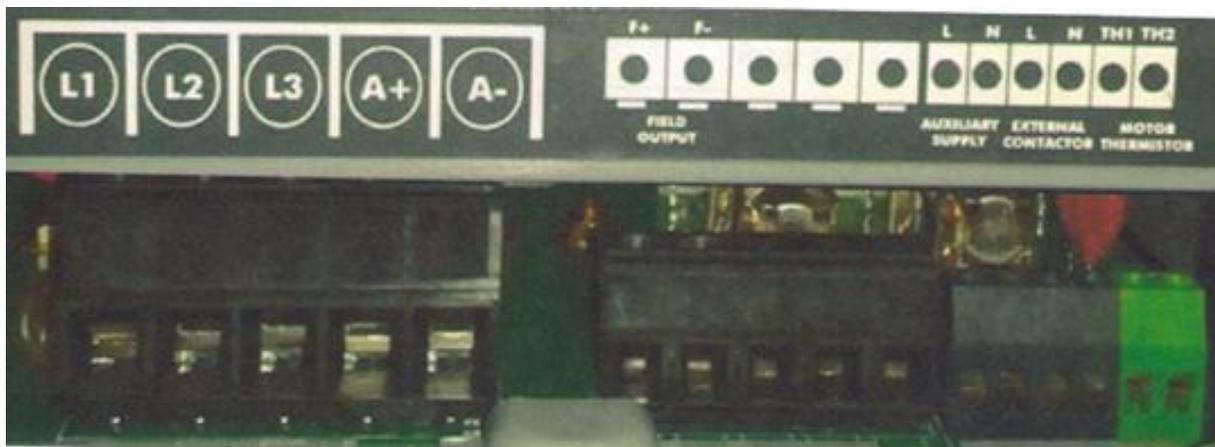


Figura A.1. Terminales de conexión de la instalación eléctrica de poder.

2.1. Alimentación trifásica

Conectar la fuente de alimentación principal de corriente a los terminales L1, L2 y L3 (la conexión no depende de la secuencia de fases), a través de los fusibles de protección ultrarrápido, un interruptor trifásico, contactor trifásico externo y una inductancia de línea AC. El convertidor acepta un nivel de tensión entre 220/500 V AC con un rango de variación del 10% y frecuencia de 50 o 60 HZ estos valores pueden tener una alteración del 5%, esto se muestra en la figura 6.9.

El contactor es controlado directamente por el equipo y su bobina está conectada entre los terminales coil contac (Línea) y (Neutro), la tensión de la bobina debe ser del mismo nivel que la alimentación auxiliar y una corriente de llamada inferior a 3 (A).

Las protecciones del circuito trifásico deben ser ajustadas según la siguiente expresión:

$$\text{Corriente AC} = 0.83 \cdot \text{corriente C. C. de armadura} \quad (\text{A.1})$$

Esta expresión fue extraída del manual del convertidor.

Si se considera que la máxima corriente de salida de armadura es de 35 (A), el valor de la protección debe ser como mínimo 29,05 (A) en corriente alterna, por lo tanto, se debe escoger un interruptor trifásico de 32 (A) de protección.

Los fusibles ultra rápidos proporcionan protección a los circuitos electrónicos de potencia interno en el caso que ocurra un cortocircuito, el valor de la protección de los fusibles debe ser de a lo menos 35 (A) para tener una coordinación en la protecciones del circuito de alimentación trifásico.

La inductancia de línea AC o también llamado reactor de línea, es un dispositivo eléctrico de protección que reduce la contaminación armónica de la red eléctrica hacia el equipo y a su vez los producidos por el convertidor hacia la red eléctrica, como también se opone a cambios rápidos en la corriente o frecuencias y disminuye los picos de corrientes.

Los conductores para el cableado del circuito de alimentación trifásico deben tener una sección de 8 AWG, en la conexión de la bobina del contactor se utiliza un conductor de sección 12 AWG (ver Figura A.2).

Wire Sizes and Termination Tightening Torques (Frames 1-5)				
<ul style="list-style-type: none"> • Power cables must have a minimum rating of 1.1 x full load current - EUROPE • Control wiring must have a minimum cross-section area of 0.75mm² (18AWG) 				
Terminations	Maximum Tightening Torque	UL		EUROPE
		Recommended Wire Size	Maximum Terminal Aperture Size (AWG)	Maximum Terminal Aperture Size (mm ²)
All Units				
A1 – A9, B1 – B9, C1 – C9	0.6-0.8Nm (5-7 lb-in.)	14 AWG	12	2.5
Frame 1 15A, 35A UNITS				
A+, A-	1.8Nm (1.6 lb-in)	8-18 AWG	8	10
L1, L2, L3	1.8Nm (1.6 lb-in)	8-18 AWG	8	10
Grounding terminal	2.0Nm (1.7 lb-in.)	12 AWG	-	-
F+, F-	0.8Nm (7.0 lb-in)	14 AWG	12	2.5
L, N, 3, 4, TH1, TH2	0.5Nm (5.0 lb-in)	12 AWG	12	2.5

Figura A.2. Secciones de conductores según fabricante [9].

2.2. Alimentación auxiliar

La alimentación auxiliar monofásica requiere un nivel de tensión entre 110/240 V AC con un rango de variación del 10% y frecuencia de 50 o 60 Hz que pueden tener una alteración del 5%. La red de energía monofásica debe estar conectada a los terminales del convertidor L y N, el suministro de energía se emplea para alimentar la electrónica de control. En la figura 6.9 se aprecia el conexionado de la alimentación auxiliar.

La corriente nominal que circula es aproximadamente 3 (A), por lo tanto, la protección del circuito se realizará por medio de un interruptor cuya corriente nominal es 4(A).

Los conductores que se deben ocupar en la alimentación auxiliar deben tener una sección de 12 AWG (ver Figura A.2).

2.3. Circuito de armadura

La armadura del motor se conecta a los terminales A (+) y A (-).El conexionado está representado en la figura 6.9.

El conductor a utilizar en la conexión entre el convertidor y el motor debe ser de una sección de 8 AWG (ver Figura A.2).

2.4. Circuito de campo

Conectar el circuito campo del motor a los terminales F (+) y F (-). Si el motor no posee circuito de campo debido a que es un motor de imanes permanentes o bien si el campo se deriva externamente, se debe desactivar el parámetro de habilitación de campo, para llevar a cabo la

desactivación se debe ingresar al menú AJUSTE, luego seleccionar el bloque de parámetros CONTROL.EXCIT. y por ultimo ingresar el parámetro HAB. EXCITACIST. , el cual permite las opciones de habilitar y deshabilitar.

El circuito de campo será alimentado por medio de conductores de sección 12 AWG (ver Figura A.2).

2.5. Termistor del motor

Conectar en serie el termistor o interruptor de temperatura del motor a los terminales TH1 y TH2 del convertidor. Si el motor no está equipado con un sensor de temperatura se debe conectar TH1 con TH2. Es recomendable proteger el motor contra el exceso de temperatura con el uso de resistencia sensible de temperatura o interruptores en la bobina de campo y en la bobina de los interpolo.

El termistor tipo PT C debe tener una resistencia de trabajo de 750Ω o menos, aumentado a $4 \text{ k } \Omega$ en exceso de temperatura. Los interruptores de temperatura deben estar normalmente cerrados cuando el motor esté funcionando a temperatura nominal.

La protección del convertidor se activa cuando el interruptor térmico se abre o cuando la resistencia del termistor excede los $4 \text{ k } \Omega$.

El conductor requerido debe ser de una sección 12 AWG (ver Figura A.2).

2.6. Protección a tierra

Se debe realizar la protección a tierra uniendo todas las partes metálicas (tablero eléctrico y estructura de montaje) con el convertidor por medio de un conductor de sección 8 AWG (ver Figura A.2).

3. Conexión del circuito de control

La conexión del circuito de control se realiza por medio de los grupos de terminales A, B y C. En la figuraA.3., se muestra la regleta de los terminales del circuito de control.

El conexionado se debe realizar para obtener un control remoto del equipo, el cableado necesario para realizar esta conexión debe tener una sección 14 AWG (ver Figura A.2). En la figura A.3., se muestra el conexionado mínimo para la operación en modo remoto del equipo.

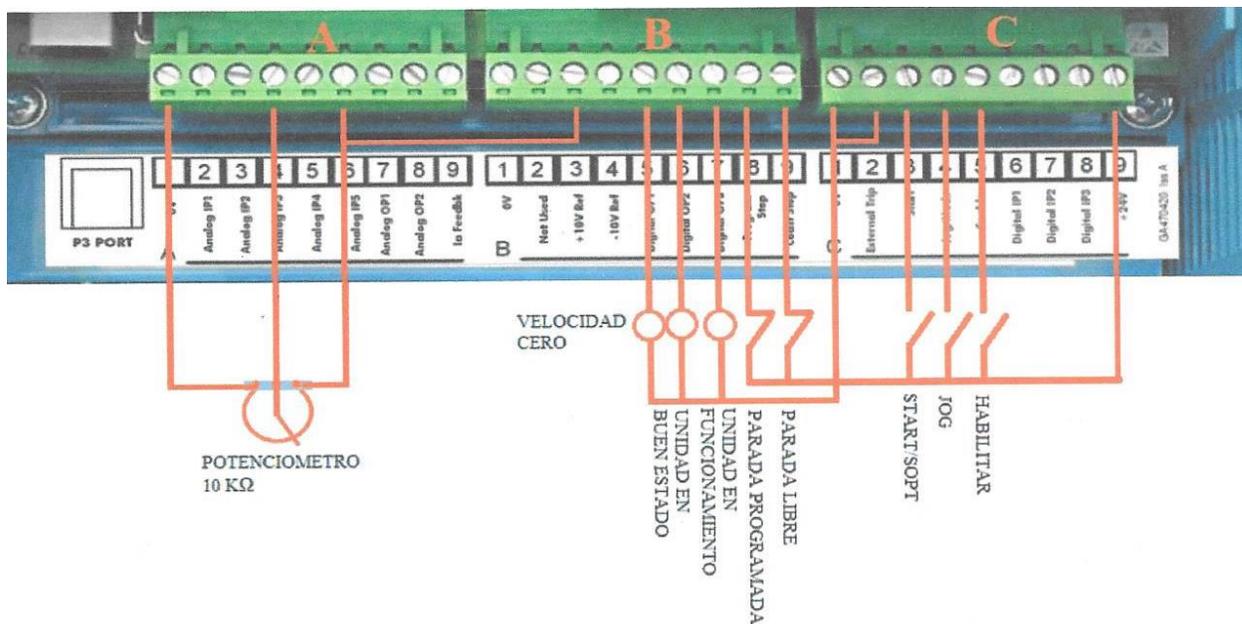


Figura A.3. Conexionado de control.

3.1. Habilitar

Para permitir la habilitación del convertidor, el terminal C5 debe estar conectado al C9 (24 V C.C.), independiente del modo de control con el que se trabajará en el accionamiento del motor. La conexión se hace mediante un interruptor normalmente abierto, al cerrar el interruptor el convertidor se encuentra habilitado para proporcionar el accionamiento del motor.

3.2. Start/stop

Conectar el terminal C3 (Start) a C9 (24V) a través de un interruptor normalmente abierto, cuando el interruptor se cierra el equipo proporcionará arranque al motor siempre y cuando:

- La unidad está en modo remoto.
- El interruptor habilitar se encuentra cerrado (24V).
- Setpoint de velocidad es distinto de cero.
- El límite de corriente (A6 y B3) sea distinta a cero.
- Los interruptores de paradas (parada de emergencia y libre) estén cerrados (24V)

Cuando se abre el interruptor entre C3 y C9 el convertidor desacelera el motor hasta detenerlo, la velocidad y tiempo con el que se detiene el motor está determinado por el parámetro TIEMPO PARO.

Si el interruptor habilitar se abre durante la secuencia de parada normal el convertidor se desactiva, el contactor se abre y el motor se detiene por la inercia.

3.3. Setpoint de velocidad

Proporciona un ajuste de velocidad unidireccional siempre que la unidad esté operando en modo remoto, para esto es necesario conectar un potenciómetro de 10 k Ω a los terminales de control A1, A4 y A6.

3.4. Límite de corriente

El límite de corriente establece el nivel de la corriente de arranque de armadura del motor, este debe ser programado de manera que el motor acelere fácilmente hasta alcanzar la velocidad máxima, y también permite ajustar la corriente nominal del funcionamiento del motor, el valor esta dado en porcentaje de la corriente nominal de armadura. Para configurar el límite de corriente es necesario conectar el terminal A6 con B3.

3.5. Luz de unidad en buen estado

Proporciona una indicación visual del buen estado del convertidor, en el caso que esté encendida indica que la unidad se encuentra en condiciones de operar, cuando ocurre una falla en el convertidor esta luz se apagará, indicado que no se puede realizar el accionamiento. La luz indicadora se conecta a los terminales de control B6 y C1, esta luz debe ser de 24 V C.C.

3.6. Luz indicadora de velocidad cero

La luz indicadora de velocidad cero otorga una señal visual de que el motor se encuentra en reposo. Esta luz debe ser de 24V C.C. la cual debe estar conectada entre los terminales B5 y C1.

3.7. Luz indicadora de unidad en funcionamiento

Por medio de esta luz se puede visualizar que el accionamiento del motor se encuentra activo. La luz indicadora debe ser de 24V C.C. debe estar conectada entre los terminales B7 y C1.

3.8. External trip

Los terminales C1 y C2 ofrecen un instrumento de disparo externo a cualquier contacto normalmente cerrado. Si no se utilizan deben estar conectados entre sí.

3.9. Parada programada

Provee una parada de emergencia regenerativa, el tiempo en que demora en detener al motor está determinado por el parámetro de TIEMPO DE PARADA. Para lograr la parada de emergencia se deben vincular los terminales B8 y C9 (24V C.C.) a través de un pulsador normalmente cerrado.

3.10. Parada libre

La parada libre proporciona un frenado libre del motor, es decir, el motor se detiene solamente por la inercia. Para obtener esta parada se debe conectar el terminal B9 a C9 por medio de un pulsador normalmente cerrado, al abrir el switch se activa la parada libre.

3.11. Jog

Permite poner en funcionamiento al motor a una velocidad predeterminada, para esto es necesario conectar un interruptor normalmente abierto entre los terminales C4 y C9 al cerrar el interruptor el motor girará a la velocidad determinada.

ANEXO B: DESCRIPCIÓN DEL CONVERTIDOR [4]

1. El convertidor

El equipo está diseñado para su uso en un recinto adecuado, con equipos de control asociados. La unidad acepta una variedad de estándares de corriente trifásica, tensiones de alimentación, y es adecuado para la alimentación de motores corriente continua conexión independiente, derivación y motores de imanes permanentes. Proporcionando, corriente de armadura controlada, corriente de campo y voltaje de salida C.C. la figura B.1 muestra las diferentes partes constructivas de la unidad.



Figura B.1. Partes constructivas de la unidad.

- 1) Conjunto de la unidad principal.
- 2) Cubierta de terminales.
- 3) Cubierta de terminales tornillo de retención.
- 4) Tapa ciega.
- 5) Teclado 6901.
- 6) Caja de tecnología de retroalimentación de velocidad.

- 7) Tarjetas de tecnología de retroalimentación de velocidad.
- 8) Entrada de cables.
- 9) Potencia terminal de pantalla.
- 10) Terminales de alimentación.
- 11) Terminales de control
- 12) Puntos de puesta a tierra.
- 13) Puerto del teclado
- 14) Puerto de programación RS232
- 15) Alimentación auxiliar, contacto externo y terminales aislados termistor.

El circuito de control está totalmente aislado del circuito de potencia simplificando así la interconexión de los controladores dentro de un sistema y mejorando la seguridad del operador. Los circuitos de codificación del equipo se ajustan automáticamente al aceptar frecuencias de suministro entre 50-60 Hz y posee una alta inmunidad a la interferencia transmitida por la fuente de alimentación. Los controladores de la armadura poseen insensibilidad a la rotación de las fases de alimentación.

El equipo proporciona el funcionamiento en cuatro cuadrantes con frenado regenerativo del motor de corriente continua.

2. El display

El convertidor está equipado con el teclado mostrando en la figura B.2., el cual proporciona un control local del convertidor de cuatro cuadrantes, mediante el teclado se tiene acceso completo a la variación de los parámetros, los mensajes de diagnóstico, ajustes de disparos y de programación de aplicaciones. Por ejemplo, se puede arrancar y parar el motor, comprobar la información de diagnóstico, y cambiar los valores de los parámetros del convertidor.

El teclado se monta en la parte frontal del convertidor. Sin embargo, también se puede montar remotamente a una distancia menor a 3 metros.

2.1. Teclas del display

El display está constituido por 10 teclas, mediante éstas se accede a la configuración de los diferentes parámetros para obtener la aplicación del accionamiento del motor. Las teclas se clasifican en dos grupos.

El primer grupo permite la programación del convertidor. En la tabla B.1., entrega información sobre la función de las teclas de programación.

El segundo grupo posibilita el accionamiento en modo local del convertidor. La tabla B.2., entrega información sobre la función de las teclas de control.

Tabla B.1 *Teclas de programación.*

Tecla	Función
	<ul style="list-style-type: none"> • Permite navegar por el sistema de menú desplazando hacia arriba. • Incrementa el valor del parámetro visualizado. • Confirma la acción cuando está en el menú de comando.
	<ul style="list-style-type: none"> • Proporciona la navegación por el sistema de menú. • Reduce el valor del parámetro.
	<ul style="list-style-type: none"> • En la navegación del sistema de menú, permite regresar al nivel anterior. • Reconoce los mensajes de error.
	<ul style="list-style-type: none"> • Selecciona el menú visualizado en la pantalla del display. • Es útil para incrementar o disminuir en forma rápida el valor del parámetro, al pulsar la tecla se mueve el cursor del parámetro a través del valor permitido.
	<ul style="list-style-type: none"> • Solamente tiene función en el modo control local. • Mientras permanece en el modo local, permite modificar la velocidad de referencia del motor en porcentaje, y también poder volver al sistema de menús.
	<ul style="list-style-type: none"> • Solamente se puede operar cuando el motor se encuentra detenido. • Posibilita la alteración entre modos de control remoto y local. Al energizar el convertidor se iniciara por defecto en modo de control remoto, si se presiona esta tecla hará el cambio a control local, para confirmar que se encuentra en modo local los leds del display SEQ y REF estarán encendidos.

Tabla B.1 *Teclas de programación.*

Tecla	Función
	<ul style="list-style-type: none"> • Solamente tiene función en el modo control local. • Cambia el sentido de giro del motor (directo e inverso) hasta una velocidad determinada.
	<ul style="list-style-type: none"> • Solamente tiene función en el modo control local. • Es recomendable para tener un óptimo funcionamiento el motor debe estar detenido, para tener la operación de JOG es necesario mantener presionado la tecla, la cual hará girar al motor a una velocidad predeterminada por el parámetro JOG. Al soltar la tecla, el motor volverá al estado inicial.
	<ul style="list-style-type: none"> • Permite el arranque del motor en modo local a una velocidad de referencia, la que se configura por medio de la tecla PROG.
	<ul style="list-style-type: none"> • Solamente tiene función en el modo control local. • Detiene el funcionamiento del motor. • Reinicia el accionamiento del convertidor cuando sucede una falla borrando el mensaje de error.

3. Sistema de menús

Mediante el display se tiene acceso completo al sistema de menús los cuales se dividen en 9 menús principales en una estructura de árbol, a su vez estos menús principales se subdividen en diferentes bloques de parámetros de programación.

Para acceder al sistema de menús es necesario presionar la tecla M del display, esto conlleva a visualizar en la pantalla del equipo DC 4Q 35A MENU LEVEL, luego de esto es necesario volver a presionar la tecla M para acceder al sistema de menús principales, por medio de las teclas de navegación se podrá ingresar a cada menú. La figura B.3 muestra el sistema menús.

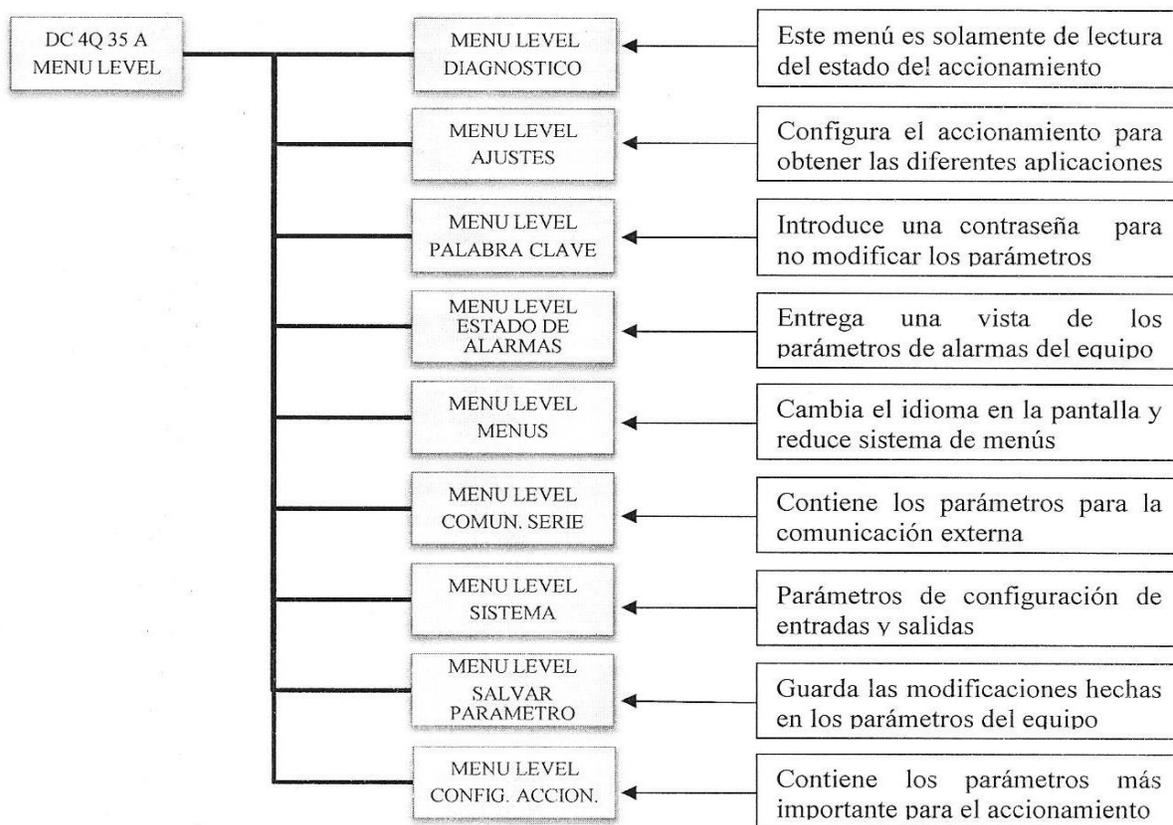


Figura B.3. Sistema de menús.

- 1) **DIAGNÓSTICO** es el primer menú que se visualiza en la pantalla del display, este menú es solamente de lectura (R), proporciona un seguimiento de la configuración y estado del accionamiento.
- 2) **AJUSTE** corresponde al segundo menú principal desde aquí se puede configurar el accionamiento para obtener las diferentes aplicaciones, estas configuraciones pueden ser ejecutadas tanto en control local como remoto, los parámetros disponibles son de escritura (W) y de lectura (R).
- 3) **PALABRA CLAVE** este tercer nivel del menú autoriza la instrucción de una contraseña de seguridad para evitar la modificación no autorizada de los parámetros, haciendo que todos los parámetros sean solamente de lectura, los parámetros de este menú son de escritura (W).
- 4) **ESTADO DE ALARMAS** corresponde al cuarto menú principal, el cual entrega una vista de los parámetros de diagnósticos de las alarmas que figuran en el menú de los boques de función, estos parámetros son de lectura (R).

- 5) MENÚS este quinto menú principal permite el cambio de idioma en la pantalla del display, los parámetros de este menú son de escritura (W), como también facilita el funcionamiento del teclado mediante el ajuste de visualización de los menús en tres niveles:
 - BASIC reduce la selección de parámetros para poder operar con el convertidor.
 - STANDAR permite ver el conjunto de parámetros normalizados por fábrica.
 - ESPECIALES a través de esta configuración se puede apreciar la totalidad de los parámetros que contiene el convertidor para la programación del accionamiento.
- 6) COMUN. SERIE este sexto menú contiene todos los parámetros para la comunicación externa de la configuración y operación, los parámetros disponibles son de escritura (W) y de lectura (R).
- 7) SISTEMA corresponde al séptimo menú el cual contiene todos los parámetros de configuración de entradas y salidas, los parámetros disponibles son de escritura (W) y de lectura (R).
- 8) SALVAR PARAMET. corresponde al octavo menú principal, en el se guardan las modificaciones hechas a los parámetros del equipo.
- 9) CONFIGUR. ACCION. es el último menú principal el cual contiene los parámetros de escritura más importantes que se utilizan en la configuración para el funcionamiento del accionamiento, a se describen los parámetros necesarios para la operación del accionamiento:
 - RECONFIGURACIÓN: Se ajusta entre HABILITADO y DESHABILITADO, la función de este parámetro es permitir la modificación de los demás parámetros de la configuración del accionamiento siempre y cuando se encuentre HABILITADO, todos los leds del display estarán parpadeando, indicando esta condición. No se podrá poner en marcha el motor cuando el parámetro se encuentre HABILITADO.
 - VOLT. NOM. MOTOR: En este parámetro ingresa el valor nominal del voltaje de armadura del motor de corriente continua, siempre y cuando la alimentación trifásica de la red se encuentre entre 300 y 500 volts. En el caso que la fuente de alimentación trifásica sea de 220 volts se establece el doble valor del voltaje de armadura. El rango de ajuste del parámetro es de 100 a 875 volts C.C.

- INTEN. INDUCIDO: Se establece según la corriente de armadura de la placa del motor, si por alguna razón el motor no se le encuentra con su placa de datos se debe usar la ley de ohm para determinar el valor de la corriente. El valor máximo que se puede seleccionar es de 35 (A).
- INTEN. EXCITACIÓN: Este parámetro se fija por el valor nominal de la corriente de campo del motor teniendo la precaución de no dejarlo en cero amperes.
- MODO CONTR. EXCIT: Permite la alteración entre el control voltaje o control por corriente en el circuito de campo del motor. Al elegir el control por voltaje el equipo proporciona el voltaje nominal al circuito de campo, en cambio al escoger el control por corriente el equipo entrega la corriente nominal para el circuito de campo.
- RAZON ENT/SAL: Es necesario introducir en este parámetro el porcentaje de la relación entre el voltaje de campo del motor y el valor RMS del voltaje de alimentación trifásica, mediante esta relación se determina el valor del voltaje que se energiza al campo del motor.

$$RAZON ENT SAL = \frac{VOLTAJE CAMPO}{RMS VOLTAJE TRIFÁSICO} \cdot 100 \quad (B.1)$$

El valor máximo que puede alcanzar es de 90%, al establecer este parámetro superior al 90% el voltaje de campo no va aumentar más.

- TIPO REALIMENTACION: Determina el tipo de señal para la alimentación de velocidad. El parámetro predeterminado es REAL. VOLT. INDUC., este parámetro utiliza circuitos internos para obtener realimentación de velocidad, los otros tipos de realimentación requieren de dispositivos externo apropiado para proporcionar la señal.
- LIM. INT. PPAL: Limita la corriente de arranque del motor como también la corriente nominal de armadura. Si se supera el valor del límite de corriente configurado en este parámetro el motor se detendrá.

3.1. Mensaje de errores

Cuando el motor se encuentra en funcionamiento o detenido y por alguna razón ocurre una falla, el convertidor envía una señal de apertura a la bobina del contactor haciendo que no se pueda suministrar energía a el motor, esto se puede ver a través de la luz de buena salud ubicada

en la parte frontal del tablero del convertidor la cual se apagará al detectar una falla en el funcionamiento del accionamiento, como también entregando un mensaje de error que se visualiza desde la pantallas del teclado, este mensaje es un diagnóstico en donde indica el tipo de error.

La mayoría de las alarmas tienen temporizador de retardo para que la unidad solo se dispare si la condición persiste durante todo el periodo de retraso. Los errores que se pueden presentar en el equipo son:

- **EXCESO DE VELOCIDAD:** Ocurre cuando la señal de realimentación de velocidad del motor ha superado 125% de la velocidad nominal, este error se puede haber producido por la mala elección del tipo de realimentación que se ajusta en el parámetro TIPO REALIMENT, como también la calibración inadecuada de la retroalimentación de velocidad entre otras causas. Tiempo de retardo de la alarma: 0,05 segundos.
- **CAMPO TERMINADO:** La corriente de campo del motor ha superado el 120% del valor calibrado, este error se puede producir por la mala sincronización del lazo de control. Tiempo de retardo de la alarma: 10 segundos.
- **DISPARO DE TEMPERADURA:** La temperatura del equipo es demasiado alta, este error se puede ocasionar por el ventilador del equipo está en mal estado, la temperatura ambiente es muy alta, ranuras de ventilación obstruidas o corriente de armadura muy alta. Tiempo de retardo de la alarma: 0,5 segundos.
- **TERMISTOR:** La temperatura del motor es muy alta, este error se puede haber provocado por la inadecuada ventilación, corriente de armadura muy alta o motor girando a una velocidad muy baja. Si el motor no cuenta con termistor se debe revisar la conexión entre los terminales TH1 y TH2 en la regleta del circuito de control. Tiempo de retardo de la alarma: 5 segundos.
- **FALLA EXCIT:** Es debido a que la corriente de campo es inferior al 6 % de la corriente nominal en el modo de control de corriente, en el modo control de tensión se activa esta alarma cuando la corriente de campo es inferior a 50 mA. Las causas posibles que originan esta falla son por la desconexión del circuito de campo o funcionamiento defectuoso del control de campo. Para motores de imanes permanentes los cuales no necesitan alimentación de campo se debe deshabilitar el parámetro HAB. EXCITACISN. Tiempo de retardo de la alarma: 1 segundo.

- **FALLO 3 FASES:** La falla de la alimentación trifásica se puede haber originado por la tensión inadecuada de alimentación trifásica o inexistente, fusibles quemados o contactor que no cierre.
- **CIERRE DE FASE:** Las razones de esta falla es debido a la frecuencia de alimentación la cual se encuentra fuera de los límites admisibles por el convertidor (45 a 65 Hz) o las formas de ondas de la alimentación están gravemente distorsionadas.
- **ERROR AUTOAJUSTE:** Este error se produce cuando se detecta que la rotación del motor ha superado el 20% de la velocidad nominal durante el proceso de autoajuste (realimentación de velocidad o cuando la corriente de campo detectada durante el autoajuste ha superado el 6% de la corriente nominal del campo (retroalimentación de corriente). La alarma solo funciona durante la secuencia de autoajuste.
- **AUTOAJUSTE ANULAR:** La secuencia de autoajuste se ha abortado, esto se pudo haber originado por la apertura de algún interruptor del circuito de control, como por ejemplo, para de emergencia, parada libre o habilitar, durante el autoajuste, también si la secuencia de autoajuste ha superado el tiempo de salida (aproximadamente 2 minutos).
- **HABILT. A 0:** Esto ocurre cuando se presiona la tecla Start (solamente en modo local) y el interruptor habilitar se encuentra abierto.
- **NO OP-STATION:** El teclado ha sido desconectado de la unidad durante el funcionamiento del accionamiento en el modo de control local.
- **SOBREINT. INDUC:** Esta alarma se ocasiona por la sobre intensidad de corriente en el circuito de armadura, la cual ha superado el 120% del límite de corriente. Es originado por la desconexión de los terminales de armadura, mal ajuste del voltaje de armadura, velocidad máxima del motor establecida incorrectamente, el lazo de corriente o velocidad mal ajustado. Tiempo de retardo de la alarma: 1 segundo.
- **DISP. EXTERNO:** Se produce cuando el contacto entre los terminales C1 y C2 se abren. Tiempo de retardo de la alarma: 15 segundos.

ANEXO C: EXPERIENCIA DE LABORATORIO

TÍTULO PUESTA EN MARCHA Y FRENADO DE UN MOTOR C.C. CONEXIÓN INDEPENDIENTE MEDIANTE UN CONVERTIDOR DE CUATRO CUADRANTES.

OBJETIVOS

- Llevar a cabo el accionamiento de un motor C.C. conexión independiente ajustando los principales parámetros del convertidor.
- Realizar el accionamiento usando el control local y remoto.
- Llevar a cabo el funcionamiento en los cuatro cuadrantes de la máquina C.C.
- Observar el voltaje rectificado en la armadura, para cada uno de los cuatro cuadrantes.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

- Conocer la función que cumple cada tecla del display.
- Navegar por el sistema de menús y configurar los parámetros del equipo.
- Funcionamiento en cuatro cuadrantes de un motor de corriente continua.
- Conocer los tipos de frenados de un motor de corriente continua.

MATERIAL DE APOYO

- Seminario de Título: “Instalación e implementación del convertidor de cuatro cuadrantes para uso en laboratorio de accionamientos eléctricos”

DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA DE LABORATORIO

Antes de la puesta en marcha de un motor de corriente continua conexión independiente se debe completar con éxito los siguientes pasos.

A. Comprobaciones del motor C.C. para el accionamiento

- Verificar que el motor a utilizar este entre los rangos admisibles para el equipo, estos rangos son los siguientes:
 - ✓ Voltaje de armadura del motor debe estar entre 100 a 876 V.C.C.
 - ✓ La corriente nominal de armadura del motor debe ser igual o inferior a 35A.C.C.

B. Conexión a los tableros

- Tablero eléctrico N°1 de fuerza y control.
 - ✓ Comprobar que el tablero y sus conexiones estén en buen estado.
 - ✓ Revisar que los interruptores automáticos (monofásico y trifásico) se encuentren abiertos (OFF).
 - ✓ Conectar el enchufe industrial macho de cinco patas de alimentación de la red al tablero. Realizar esta maniobra desenergizada la red.
- Tablero eléctrico N°2 bornes de fuerza para conexión motor C.C.
 - ✓ Comprobar que el tablero y sus terminales estén en buen estado.
 - ✓ Revisar que los interruptores automáticos (monofásico y trifásico) se encuentren abiertos (OFF).
 - ✓ Conectar el motor al tablero por medio de cables adecuados a los terminales y a la tensión y corriente que deben soportar. Realizando una conexión con excitación independiente del motor C.C.
 - ✓ Conectar el motor al tablero con tierra de protección.
 - ✓ Conectar los terminales del termistor (TH1 y TH2) en forma directa (puenteado).

C. Ajustar los parámetros necesarios para el accionamiento del motor [4]

- Energizar la red que alimenta al banco de prueba.
- Energizar el equipo mediante el cierre (ON) del INTERRUPTOR MONOFÁSICO del tablero N°1, con esto el convertidor mostrara la pantalla de bienvenida (ACCION. C.C. DC 4Q 35A).
- Ingresar al sistema de menús principales (presionar tecla M).
- Dentro del sistema de menús principales, entrar al menú CONFIG. ACCION.
- Para tener acceso a la modificación de los parámetros del menú CONFIG. ACCION, es necesarios HABILITAR el parámetro RECONFIGURACION.
- En el parámetro VOLT NOM. MOTOR ingresar el valor nominal del voltaje de armadura del motor (125 Volts).
- Ajustar el parámetro INTEN. INDUCIDO al valor de la corriente de armadura especificada en la placa de datos del motor (23 A).

- Mediante el parámetro INT. EXCITACISN se fija el valor de la corriente de campo indicada en la placa del motor (0,8 A).
- El parámetro MODO CON. EXCIT. se escoge el tipo de control de campo que se requiere para el accionamiento del motor. Es necesario fijar este parámetro en el modo control voltaje (CONT. VOLTAJE).
- A través del parámetro RAZON ENT/SAL. es necesario ingresar el valor calculado en la siguiente expresión:

$$RAZON ENT SAL = \frac{VOLTAJE CAMPO (placa del motor)}{RMS VOLTAJE TRIFÁSICO} \cdot 100 \quad (C.1)$$

Esta razón determina el valor del voltaje de salida del campo.

- Selección del tipo de realimentación de velocidad mediante el parámetro TIPO REALIMENT. el ajuste debe estar en REAL. VOLT. INDUC.
- LIM. INT. PPAL. se debe configurar este parámetro al 30% para ajustar la corriente de arranque y de funcionamiento en la armadura del motor.
- Después de haber ingresado todos los valores de los parámetros para el accionamiento, se requiere DESHABILITAR el parámetro RECONFIGURACIÓN y salir del menú CONFIG. ACCION.
- Ajustar las rampas de aceleración y desaceleración en modo local, esto se hace ingresando al menú AJUSTE, seleccionar el bloque de parámetros PANEL DE CONTROL, dentro de este bloque ingresar a RAMPA LOCAL, configurar los parámetros RAMPA ACELER. y RAMPA DECELER. a 1 segundo.
- Ingresar al bloque de parámetros TIEMPOS PARADA, configurar los parámetros TIEMPO PARO y TIEMPO PARO PROG. en 0,1 segundos c/u.
- Una vez concluido la configuración de todos los parámetros mencionados anteriormente, es necesario guardar estas modificaciones, para esto se necesita volver al sistema de menús principales e ingresar al menú SALVAR PARAMETRO, una vez dentro de este menú presionar la tecla UP, con esto se guarda las modificaciones realizadas en los parámetros.

D. Verificar el correcto voltaje en el circuito de campo [4]

- Ingresar al menú CONFIG. ACCION. y ajustar el parámetro LIM. INT. a 0%.
- Cerrar (ON) el INTERRUPTOR TRIFÁSICO del tablero N°1, y luego cerrar puerta del tablero.
- Cerrar (ON) el interruptor selector HABILITAR del tablero N°1.
- Cerrar (ON) el interruptor selector START/STOP del tablero N°1.
- Medir inmediatamente con un multímetro el voltaje presente en los terminales del circuito de campo del motor.
- Una vez comprobado el correcto voltaje del circuito de campo, abrir (OFF) el interruptor selector START/STOP del tablero N°1.
- Restablecer el valor del parámetro LIM. INT. PPAL. al 30% y salir del menú CONFIG. ACCION. presionando la tecla escape (E).

E. Accionamiento del motor C.C. en modo local y comprobación del sentido de giro [4]

- Configurar el equipo en modo local, presione la tecla LOCAL/REMOTE.
- Verificar que los pulsadores PARADA LIBRE y PARADA PROGRAMADA estén cerrados (ON).
- Presione la tecla FORWARD/REVERSE y establecer en FORWARD referencia al 5% de la velocidad nominal del motor.
- Activar el accionamiento presionando la tecla RUN y comprobar que el motor está girando en sentido directo (antihorario). Si el sentido es incorrecto, detener el accionamiento y abrir (OFF) los INTERRUPTORES TRIFÁSICO Y MONOFÁSICO. Invertir la conexión de la armadura o del campo, realizado esto volver a activar los interruptores automáticos (ON).
- Una vez comprobado el sentido de giro del motor, establezca FORWARD con referencia al 100%, para que el motor llegue a su velocidad nominal en el modo de control por voltaje.
- Medir la velocidad con un tacómetro, con un amperímetro medir la corriente que circula por el devanado de campo y armadura.
- Disminuir la referencia al 0%, detener el accionamiento del motor presionando la tecla STOP/RESET y deshabilitar el modo de control local del equipo.

F. Accionamiento del motor C.C. en modo remoto [4]

- Configurar el equipo en modo local, presione la tecla LOCAL/REMOTE. Los leds SEQ y REF deben estar apagados.
- Ingresar al menú de DIAGNÓSTICOS y ver la lectura del parámetro REFERENCIA, girar el dial del potenciómetro hacia la izquierda para que la referencia de velocidad se encuentre en 0%.
- Cerrar (ON) el interruptor START/STOP y girar el dial del potenciómetro lentamente hasta llegar al 100% de la referencia de velocidad.
- Realizar las siguientes mediciones variando la referencia de velocidad y completar la siguiente tabla C.1

Tabla C.1 *Mediciones para diferentes valores de referencia de velocidad*

Referencia de Velocidad (%)	Velocidad rpm	Corriente de Armadura (A)	Voltaje de Armadura (V)	Corriente de Campo (A)	Voltaje de Campo (V)
20					
60					
100					

G. Accionamiento del motor C.C. modo de control por corriente de excitación [4]

- Cambiar el modo de control de excitación del parámetro MODO CON. EXCITACISN. ubicando el menú CONFIG. ACCION.
- Seleccionar el modo local para realizar el accionamiento.
- Realizar el accionamiento variando la referencia de velocidad y completar la tabla C.2

Tabla C.2 *Mediciones para diferentes valores de referencia de velocidad*

Referencia de Velocidad (%)	Velocidad rpm	Corriente de Armadura (A)	Voltaje de Armadura (V)	Corriente de Campo (A)	Voltaje de Campo (V)
20					
60					
100					

H. Funcionamiento en cuatro cuadrantes [4]

- Cambiar a modo de control de voltaje en el parámetro MODO CON. EXCITACISN. ubicando el menú CONFIG. ACCION.
- Completar la tabla C.3. para esto es necesario, observar el signo de la corriente de armadura en el menú DIAGNOSTICO en el parámetro REAL. INT. AMP. Como también los signos del voltaje de armadura y el sentido de la potencia trifásica para cada uno de los siguientes procedimientos:
 - ✓ Activar el accionamiento en modo local, ajustar la referencia FORDWARD al 100% y presionar la tecla RUN.
 - ✓ Detener el accionamiento del motor presionando la tecla STOP/RESET.
 - ✓ Presionar la tecla FORDWARD/REVERSE para que gire el motor en sentido inverso, activar el accionamiento presionando la tecla RUN.
 - ✓ Detener el accionamiento del motor presionando la tecla STOP/RESET.

Tabla C.3 *Determinación del cuadrante de funcionamiento*

Signo del Voltaje De Armadura	Signo del Corriente De Armadura	Sentido de la Potencia trifásica	Cuadrante de operación Del motor C.C.

I. Observar con el osciloscopio

- La forma de onda del voltaje de armadura para cada uno de los cuatro cuadrantes.
- La forma de onda de la corriente de armadura y la velocidad del motor, para la partida del motor en los ítems de los puntos F y G.
- La forma de onda de la corriente de armadura y la velocidad del motor, para el frenado del motor, por medio de la PARADA LIBRE y PARADA PROGRAMADA.

ANEXO D: COTIZACIONES

1. Atril de trabajo



Servicios de Consultaría aguas sub - terráneas y posos profundos
Muebles de Línea Plana
Desarrollo habitacional, mampostería y estructura de inmuebles

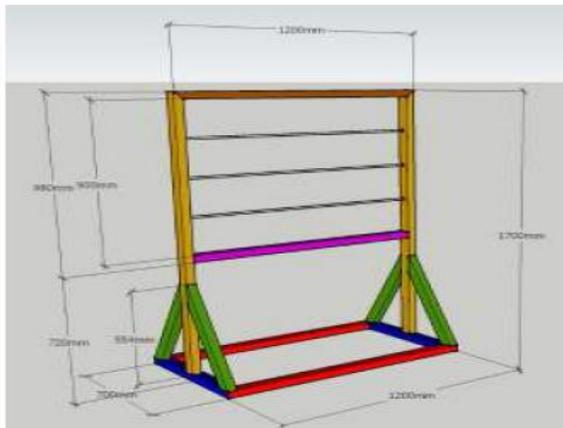
Cotización / OT : 519. L. Estructura
Fecha 25 de Abril 2015
CC Arc. Le aced Of. Central Santiago

Señor (es):
Dirección:
Fecha de Entrega:

Rut:
Ciudad:
Fono:

<u>Cantidad</u>	<u>Artículo</u>	<u>P. Unitario</u>	<u>Sub Total</u>
01	Atril de Trabajo según especificación Adjunta:	\$ 48.445	\$ 48.445

- Trabajo a realizar en perfil Rectangular de 60 x 40 en 2mm.
- Barras de soporte posterior en fierro cuadrado 10 x 10mm. 3 en total.
- Tablero de 15mm. en melamina blanca ambas caras de de 900 x 1120mm. insertado al atril.
- Soportes Laterales y centrales respectivos.
- Sujeción tablero con perno pasado y tuerca M6 de 30mm. 9 en total.
- Estructura totalmente soldada.



Cotización / OT con validez de 15 día desde su fecha de emisión

Total Iva. Incluido \$ 57.650

Condiciones de Pago: A contra entrega.

Desarrollamos las ideas llevándolas a tu vida diaria...

LE ACED CHILE Rut. 76.175.928-0
Calle San Antonio N°702
Comuna de Santiago / Chile

Casilla 294
Sucursal Plaza de Armas / Santiago
Chile



Servicios de Consultaría aguas sub - terráneas y posos profundos
Muebles de Línea Plana
Desarrollo habitacional, mampostería y estructura de inmuebles

Cotización / OT : 520. L. Estructura

Fecha 25 de Abril 2015

CC Arc. Le aced Of. Central Santiago

Señor (es):	Rut:
Dirección:	Ciudad:
Fecha de Entrega:	Fono:

<u>Cantidad</u>	<u>Artículo</u>	<u>P. Unitario</u>	<u>Sub Total</u>
01	Atril de Trabajo según especificación Adjunta: <ul style="list-style-type: none"> • Pintura anticorrosiva y de terminación color gris maquina incluida. • Mano de Obra 	\$ 48.445	\$ 48.445
Cotización / OT con validez de 15 día desde su fecha de emisión		Total Iva. Incluido	\$ 57.650

Condiciones de Pago: A contra entrega.

Desarrollamos las ideas llevándolas a tu vida diaria...

LE ACED CHILE Rut. 76.175.928-0
Calle San Antonio N°702
Comuna de Santiago / Chile

Casilla 294
Sucursal Plaza de Armas / Santiago
Chile

Dando un total de \$115.300.- por el “atril de trabajo” y esto con despacho incluido.

2. Montaje eléctrico



Cotización N° 436088

REXEL CHILE S.A
Distribucion y Venta de materiales electricos
R.U.T: 96.896.480-1
AVDA.AMÉRICO VESPUCCIO 540, P.INDUSTRIAL
Fono: (041) - 2430073
Suc. Concepción

Señores:	VENTA CONTADO	Fecha Cotización:	Miércoles 11-Marzo-2015
Rut:	1-9	Fecha Vigencia:	Lunes 16-Marzo-2015
Atención:		Plazo Entrega:	Inmediata
N. Referencia:	11	Fax/Email:	.
Tipo Venta:	Contado	Moneda:	CLP Pesos Chilenos
Cond. Pago:	Normal		

Estimado Señor:

De acuerdo a su solicitud de cotización, tengo el agrado de presentar nuestra oferta:

Codigo	Unid.	Descripcion	Ref.	Cant.	P. Unitario	Precio Total	Plazo Dias
VV04563	CU	DC CHOKE 0,52MH 85A	VV3A4510	1,00	199.654,00	199.654,00	Inmediata
						SubTotal:	199.654,00
						I.V.A:	37.934,00
						Total:	237.588,00

Lugar de entrega: RETIRAN

Condiciones Generales

- 1.- Precios netos + I.V.A
- 2.- Validez de oferta 5 dias, salvo conductores con vigencia 48 horas
- 3.- Forma de pago según cliente
- 4.- En caso de adjudicación hacer mención a cotización número 436088
- 5.- No se acepta devolución de mercaderías después de 7 días de efectuada la respectiva compra
- 6.- No se acepta devolución de conductores dimensionados

Sin otro particular y esperando que la presente oferta sea de su interés, se despide atentamente.



Miguel Sanchez Sanhueza
Ejecutivo Ventas Terreno
41-2240881/91621662
mrsanchez@rexel.cl

Nombre: _____

Rut: _____

Firma Autorizada

Nota: Esta cotización tendrá el valor de una orden de compra con la firma y/o timbre del representante legal o la del encargado de compras autorizado de la empresa solicitante de la cotización.

MSANCHEZ1 15:15:19

1

SODIMAC
Local TALCAHUANO

DIRECCION : JORGE ALESSANDRI 3177
FONO : 041-2638000
FAX :

COTIZACION: 700009821



FECHA : 04/09/2015
R.U.T. : 17206358-6

HORA : 11:41:47

FAX :
Form. Pago: Contado
Plazo : 000 dia(s)

Senor(es): VICTOR SEPULVEDA JARA
Atencion Sr. (a): SOLO COTI

CODIGO	DESCRIPCION	UM	CANTID	PRECIO Sin Iva	PRECIO Con Iva	TOTAL	EST	DIS
2053101	RUEDA 2P GRIS GIRATORIA FRENO	CU	4.00	3689	4390	17560		
286745	MOLDURA 40X16X2 1MT BL	CU	2.00	5538	6590	13180		
649422	CABLE THHN 14AWG NEGRO ML	ML	10.00	145	172	1720		
649953	CABLE THHN 12AWG NEGRO ML	ML	10.00	228	271	2710		
199184	CABLE THHN 8AWG NEGRO ML	ML	10.00	664	790	7900		

Tot.Kilos Doc: 3.3 Kls.
Tot.Kilos Despacho: .0 Kls.

Total: \$ 43070

Ahorro: \$ 0

- * Los precios INCLUYEN I.V.A.
- * Cotización valida por TRES (3) días.
- * Cotización NO ASEGURA disponibilidad del producto y se solicita confirmar existencia al momento de la compra.
- * Despacho Normal: Se efectua dentro de las siguientes 48 hrs. desde que usted paga el servicio en caja.

Horario de entrega 9:00 a 21:00 hrs.

Cotizado por : MANUEL ZAPATA
P. Sodimac S.A.

COTIZACION N°

Señores: Victor Sepulveda Jara
 At.: Victor Sepulveda Jara
 Direccion: Chaiten 8024, dpto 403, ton
 Comuna: Hualpen
 Región: Biobío
 País: Chile



Fecha:
04-09-2015

LP 04/2014

Item	Referencia	Cantidad	Descripción	Plazo Entrega	Precio Unitario	Precio Total
1	035504	1	CAJA ATLANTIC 600X400X160 IP66		172.450	\$ 172.450
2	036056	1	PLACA LLENA DE 550 X 350		33.550	\$ 33.550
3	035607	1	CAJ DER ATL/IP66 200X300X120MM		50.600	50.600
4	055578	1	P17/TOMA SOB 3P+N+T 32A/380V		30.680	30.680
5	407862	1	LEX3/ITM 3X32A DX3C-6/10KA		36.540	36.540
6	407665	1	LEX3/ITM 1X4A DX3C-6/10KA		13.650	13.650
7	021504	1	BASE S/I P/FUS SP51 TRIP		86.360	86.360
8	014340	6	FUS GL14X51 S/P 40A/500V/100KA		4.590	27.540
9	412549	1	LEX3/CONTACTOR 3P40A 3NA C/M		113.840	113.840
10	037407	1	RIEL SIMETRICO PROFUND 15MM		19.480	19.480
11	004832	1	REGLETA VERDE TIERRA 8 ENTRADA		5.980	5.980
12	004842	2	REGLETA AZUL NEUTRO 8 ENTRADAS		5.980	11.960
13	037260	3	VIK3/BNE S/TOR 4MM2 2C GRIS P5		1.670	5.010
14	037244	1	VIK3/BNE S/TORN 4MM2 3C AZULP6		3.140	3.140
15	037242	1	VIK3/BNE S/TORN 4MM2 3C NAR.P5		2.460	2.460
16	036205	2	CANALETA LINA 25 40X25MM		8.290	16.580
17	030021	2	DLP/BLANCA 40 X 16MM		5.190	10.380
18	023715	1	OSM/BOTON ARMADA ROJA SOBREP		8.440	8.440
19	023730	3	OSM/SELECTOR ARM 2 POS FIJAS		9.920	29.760
20	023720	1	OSM/BOT ARM HONGO 40MM 1NC		11.030	11.030
21	024122	1	OSM/PILOTO MONOB VERDE 24V		16.650	16.650
22	024120	1	OSM/PILOTO MONOB TRANSP 24V		16.650	16.650
23	024124	1	OSM/PILOTO MONOB AMARILLO 24V		16.650	16.650

Condiciones

Total Neto \$ 739.380
 Subtotal \$ 739.380
 19% IVA \$ 140.482

Observaciones

Total \$ 879.862

Esta cotización de LEGRAND es directa, por lo que se debe considerar un distribuidor para obtener un valor menor de aproximadamente de un 15% del valor total (dato entregado por ejecutivo Legrand).

3. Resumen

Ítems	Descripción	Monto (IVA incluido)
1	Atril de trabajo	115.300.-
2	Montaje Eléctrico	1.160.520.-
3	Varios (insumos no cotizados, valor aproximado)	24.180.-
TOTAL		1.300.000.-

