

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**“MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE  
AUTOMATIZACIÓN DE LA POSICIÓN  
DE ELECTRODOS EN UN HORNO DE  
FUNDICIÓN DE ARCO ELÉCTRICO DE  
6 TON. METALURGICA PERUANA S.A.”**

**INFORME DE EXPERIENCIA LABORAL PARA  
OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**VICTOR HUGO DELGADO FERNÁNDEZ**

**Callao, Junio, 2017**

**PERÚ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA**

**I CURSO TALLER DE TITULACIÓN PROFESIONAL POR INFORME DE  
EXPERIENCIA LABORAL**

**ACTA DE EXPOSICIÓN DE INFORME FINAL DE EXPERIENCIA LABORAL**

Siendo, las 17:30 horas del día 08 de junio del 2017 en el Auditorio "Ausberto Rojas Saldaña" de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la Universidad Nacional del Callao, se reunieron los miembros del Jurado Revisor y Evaluador de la Exposición de los Informes Finales de Experiencia Laboral del I Curso Taller de Titulación Profesional por Informe de Experiencia Laboral Designados por Resolución de Consejo de Facultad N° 084-2017-CF-FIME de fecha 23.05.17, conformado por los siguientes docentes:

**Presidente** : Dr. OSCAR TEODORO TACZA CASALLO  
**Secretario** : Ing. VICTORIANO SÁNCHEZ VALVERDE  
**Vocal** : Ing. EMILIANO LOAYZA HUAMÁN

Asimismo, contamos con la presencia de la Dra. Ana Mercedes León Zárate – Vicerrectora de Investigación de la Universidad Nacional del Callao (Supervisora General), Dr. José Hugo Tezén Campos – Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía (Supervisor de la Facultad), y el Lic. Rogelio Efrén Cerna Reyes - Miembro de la Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía (Representante de la Comisión de Grados y Títulos);

De acuerdo a lo señalado en el Capítulo X, numeral 10.1 de la "Directiva para la Titulación Profesional Modalidad por Informe de Experiencia Laboral con Curso Taller de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la Universidad Nacional del Callao", aprobada por Resolución de Consejo de Facultad N° 025-2017-CF-FIME de fecha 19.01.17;

Se procede con el acto de exposición de Informe Final de Experiencia Laboral del I Curso Taller de Titulación Profesional por Informe de Experiencia Laboral, título: **"MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE LA POSICIÓN DE ELECTRODOS EN UN HORNO DE FUNDICIÓN DE ARCO ELÉCTRICO DE 6 TON. METALURGICA PERUANA S.A."**, presentado por el Bachiller **DELGADO FERNANDEZ VICTOR HUGO**, contando el asesoramiento del Mg. **MARTÍN TORIBIO SIHUAY FERNÁNDEZ**.

Luego de la exposición correspondiente y de absolver las preguntas formuladas por los miembros del Jurado de Exposición, se procede a la deliberación en privado respecto a la evaluación;

Este jurado acordó calificar al Sr. Bachiller **DELGADO FERNANDEZ VICTOR HUGO**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Mecánico** por la modalidad de Curso Taller de Titulación Profesional por Informe de Experiencia Laboral, según la puntuación cuantitativa y cualitativa que a continuación se detalla:

CALIFICACIÓN CUANTITATIVA	CALIFICACIÓN CUALITATIVA
14 (CATORCE)	BUENO

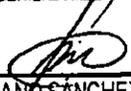
Con lo que se da por concluido el acto, siendo las 18:00 horas del día jueves 08 de junio del 2017

En señal de conformidad con lo actuado, firman la presente acta.

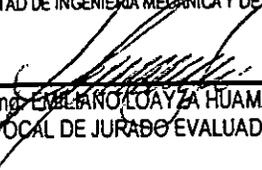
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA

  
Dr. OSCAR TEODORO TACZA CASALLO  
PRESIDENTE DE JURADO EVALUADOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA

  
Ing. VICTORIANO SÁNCHEZ VALVERDE  
SECRETARIO DE JURADO EVALUADOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA

  
Ing. EMILIANO LOAYZA HUAMÁN  
VOCAL DE JURADO EVALUADOR

## DEDICATORIA

A mis hijos Wendy y Gonzalo, a mis padres Celso y Berta, y en especial a mi esposa Gladis por su amor, su apoyo y su empuje permanente. Mención especial a mi tío abuelo Celso Ochoa a quien recuerdo con mucho cariño y aprecio.

## AGRADECIMIENTO

A mi asesor Ing. Martin Sihuay Fernández  
por todo el apoyo brindado, a mi casa de  
estudios Universidad Nacional del Callao y a  
la empresa SEW Eurodrive del Perú S.A.C.

# INDICE

	<b>PÁG.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>I. OBJETIVO</b>	
1.1 Objetivo General	7
1.2 Objetivos Específicos	7
<b>II. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA O INSTITUCIÓN</b>	
2.1 Empresa SEW Eurodrive del Perú S.A.C.	8
2.2 Organigrama de SEW Eurodrive del Perú S.A.C.	9
<b>III. ACTIVIDADES DESARROLLADOS POR LA EMPRESA O INSTITUCIÓN</b>	
3.1 Actividades desarrolladas por la empresa SEW Eurodrive del Perú S.A.C.	11
<b>IV. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO DE INGENIERÍA</b>	
4.1 Descripción del Tema	15
4.2 Antecedentes	16
4.3 Planteamiento del Problema	18
4.4 Justificación	18
4.5 Marco teórico	20
4.5.1 Mecánica	20
4.5.2 Automatización	21
4.5.3 Horno eléctrico de arco (HEA)	21
a) Componentes de un HEA	23
b) Ventajas del uso del HEA	26
c) Desventajas del uso del HEA	26
d) Electrodo	26
e) Equipamiento eléctrico	28
f) Etapas de la fundición en un HEA	31
4.5.4 Sistema electromecánico y electrónico del Movimiento de electrodos del HEA	32
a) Servomotores de imanes permanentes	32
b) Características de los servomotores	33
c) Clasificación de los servomotores	34
d) Reductor de velocidad	38
e) Clasificación básica de los principales reductores de velocidad	40

f) Controladores electrónicos de los servoreductores para el movimiento de los electrodos del HEA	45
4.6 Fases del proyecto	81
4.6.1 Etapa N° 1: Recopilación de información	82
4.6.2 Etapa N° 2: Análisis de la información obtenida	83
4.6.3 Etapa N° 3: Sustentación de la propuesta	84
4.6.4 Etapa N° 4: Respuesta del cliente	84
4.6.5 Etapa N° 5: Procesar pedido del cliente	84
4.6.6 Etapa N° 6: Entrega de equipos al cliente	85
4.6.7 Etapa N° 7: Supervisión del montaje y puesta en marcha	85
4.6.8 Etapa N° 8: Conformidad del proyecto	85
<b>V. EVALUACIÓN TÉCNICO- ECONÓMICO</b>	
5.1 Evaluación Técnica	86
5.2 Evaluación Económica	87
<b>VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1 Conclusiones	89
6.2 Recomendaciones	91
<b>VII. REFERENCIALES</b>	93
<b>VIII. ANEXOS Y PLANOS</b>	
Anexo N° 1 Especificaciones técnicas del servoreductor	96
Anexo N° 2 Especificaciones técnicas del convertidor	98
Anexo N° 3 Servoreductores SEW EURODRIVE de los electrodos	100
Anexo N° 4 Brazos portaelectrodos y winche	101
Anexo N° 5 Tablero de control tipo pupitre	102
Anexo N° 6 Panel HMI y displays de corriente y voltaje de las 3 fases (electrodos)	103
Anexo N° 7 Comunicación entre panel HMI, PLC´s, convertidores y displays de corriente y voltaje	104
Plano N° 1 Servoreductor de engranajes cónicos	105
Plano N° 2 Fuerza – Alta Tensión	106
Plano N° 3 Fuerza – Baja Tensión	107
Plano N° 4 Fuerza – Convertidor Fase A	108
Plano N° 5 Arquitectura de Control	109
Plano N° 6 Leyenda 1	110
Plano N° 7 Leyenda 2	111

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1	Relación de momentos de inercia	74
Tabla N° 2	Torque máximo del servo dependiendo del convertidor que lo gobierne	78
Tabla N° 3	Factor de duración del ciclo y potencia regenerativa	80
Tabla N° 4	Diagrama Gantt: Etapas del proyecto	82
Tabla N° 5	Producción mensual de colada de chatarra del Horno #2	87
Tabla N° 6	Costo de energía del Horno #2	88
Tabla N° 7	Equipos vendidos a MEPSA	88

## LISTA DE GRAFICAS

Grafica N° 1 Torque – Velocidad y Corriente – Velocidad de un motor de corriente alterna jaula de ardilla	46
Grafica N° 2 Torque – Frecuencia (cuando el motor es gobernado con convertidor de frecuencia)	47
Grafica N° 3 Torque rms – Velocidad Media	76
Grafica N° 4 Torque pico – Velocidad máxima	77

## **INTRODUCCIÓN**

El tema que trataré en el presente informe es muy interesante, porque trata de cómo se puede mejorar y hasta perfeccionar el funcionamiento de una máquina industrial ya sea de forma parcial o total.

En el Perú hay muchos tipos de maquinaria que tienen trabajando años y en el tiempo las partes y piezas quedan obsoletas o simplemente no tienen el apoyo técnico en la localidad, si importan los repuestos éstos son caros o demoran demasiado tiempo en llegar, si las industrias no cuentan con algo de repuestos en standby entonces es un gran problema ya que “producción” no puede esperar.

Es ahí donde la empresa del cual formo parte SEW EURODRIVE DEL PERÚ MOTORES REDUCTORES S.A.C. interviene brindando soluciones técnicas en el campo de los accionamientos, desde un sencillo motor eléctrico hasta una automatización en donde se pueden integrar equipos electromecánicos con equipos electrónicos con lazos de control cerrados y protocolos de comunicación.

La motivación de desarrollar el informe: “MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE LA POSICIÓN DE ELECTRODOS EN UN HORNO DE FUNDICIÓN DE ARCO ELÉCTRICO DE 6 TON. METALURGICA PERUANA S.A.” es el lograr el objetivo de mejorar éste interesante mecanismo con productos modernos y de calidad consiguiendo una mejor performance del horno.

En este informe se unen la mecánica, la electricidad y la electrónica para desarrollar el mejoramiento del sistema de automatización.

Los fundamentos teóricos para desarrollar el informe son la Física y la Electrónica.

Para la selección de los accionamientos utilicé el software propio de la compañía llamado "Workbench versión 2.19" además obtuve planos en AutoCAD, lista de partes y demás bases teóricas de la página web de la corporación, denominada "DRIVE GATE".

Para la realización del informe visité al cliente para recoger información, comprendí cómo funcionan los electrodos del horno, ver los problemas que se presentaban luego pasé a calcular el torque y velocidad necesario para la selección de los servoreductores, con esto pude también seleccionar los equipos electrónicos con sus accesorios y termina con la programación de los mismos y puesta en marcha.

Éste caso de éxito espero que les sirva de alguna manera a los estudiantes y por qué no también a los docentes de nuestra casa de estudios.

# **I. OBJETIVOS**

## **1.1 Objetivo General**

Mejorar el sistema de automatización de la posición de electrodos en un horno de fundición de arco eléctrico de 6 Ton., con el fin de incrementar la productividad de la empresa.

## **1.2 Objetivos Específicos**

- a) Comprender el funcionamiento de los electrodos en un horno de fundición de arco.
- b) Elaborar y ejecutar un plan de mejora del sistema de automatización de la posición de electrodos en un horno de fundición de arco eléctrico.
- c) Identificar los parámetros necesarios para seleccionar los accionamientos electromecánicos.
- d) Identificar los parámetros necesarios para seleccionar los accionamientos electrónicos.

## **II. - ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA O INSTITUCION**

### **2.1 Empresa SEW EURODRIVE DEL PERÚ S.A.C.**

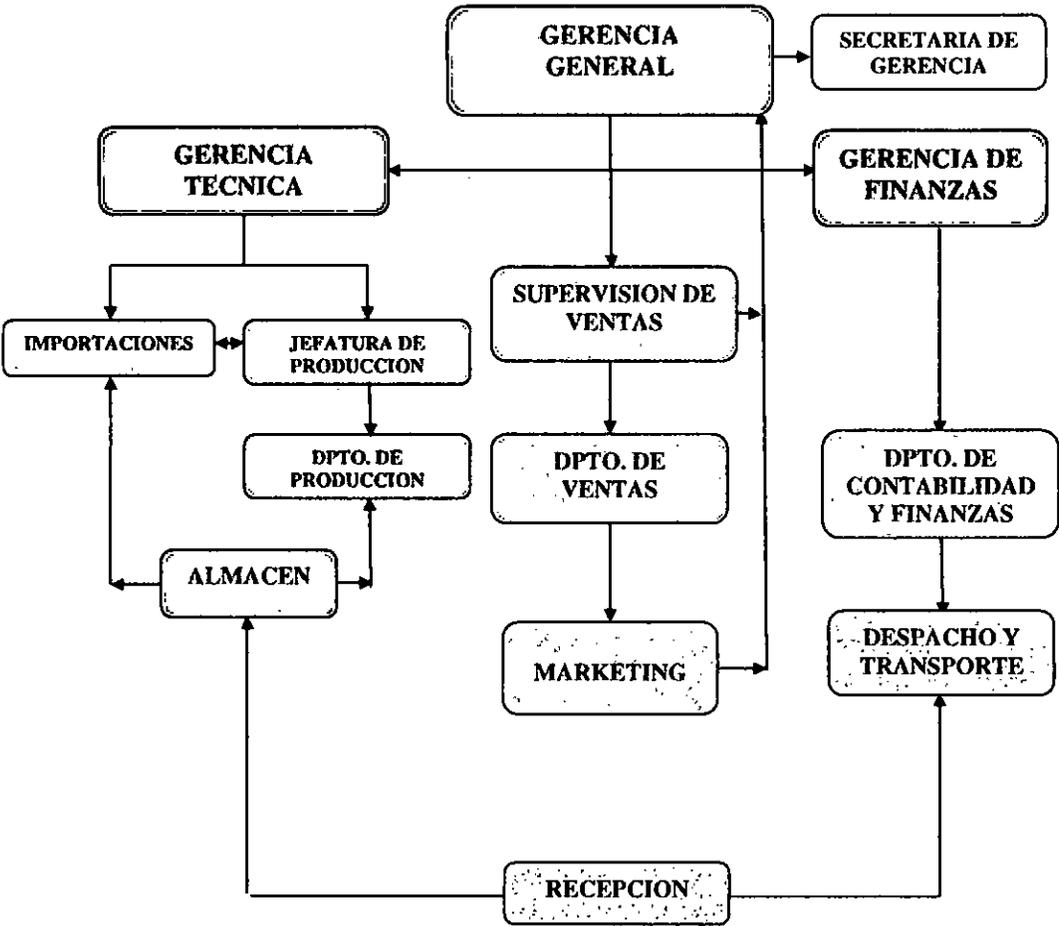
La Empresa ha sufrido cambios periódicos dentro de su organización desde su creación a la actualidad; pero siempre tuvo el apoyo tanto de la casa matriz (Alemania), como de la Gerencia Regional (Chile).

Empezó con muy poco personal, inclusive los primeros equipos venían de importación directa, aún no se montaba la planta ensambladora, y los primeros meses fueron de capacitación permanente.

Veremos cuál es el organigrama actual de la empresa.

2.1 Organigrama de SEW EURODRIVE DEL PERÚ S.A.C.

FIGURA N° 1  
ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA  
SEW EURODRIVE DEL PERÚ S.A.C



Fuente: Elaboración propia

El cargo que desempeño en la compañía SEW EURODRIVE DEL PERÚ S.A.C. es asesor técnico – comercial; visito periódicamente a las diferentes tipos de industrias que existen dentro de la zona geográfica asignada.

La razón de mi labor en la organización es generar negocios para cumplir con la meta trazada en el año, de esa manera nos acentuamos en el mercado nacional; para lograrlo realizo las siguientes actividades:

1. Estudio el problema para brindar la mejor solución
2. Realizo cálculos y selecciono el producto
3. Sustento la propuesta técnico – económica
4. Parte del sustento es proporcionar los planos de los accionamientos propuestos
5. Dicto charlas de capacitación gratuitas a los clientes
6. Cuando el cliente tiene nuestros equipos funcionando ya un tiempo revisamos la lista de repuestos que necesitaría.

Para poder lograr los objetivos trazados y ser líderes en el campo de los accionamientos el supervisor de ventas mide a los asesores técnicos – comerciales mediante los siguientes indicadores:

- Visitas realizadas durante la semana
- Cantidad de cotizaciones semanales
- Meta vs Venta
- Efectividad
- Puntualidad en las reuniones de ventas

### **III. ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LA EMPRESA**

#### **3.1 Actividades desarrolladas por la empresa SEW EURODRIVE DEL PERÚ S.A.C.**

La compañía SEW EURODRIVE DEL PERÚ S.A.C. es una empresa dedicada a la comercialización, asesoría técnica, mantenimiento y capacitación del accionamiento mecánico y electromecánicos del sector industrial.

Se fundó en 1997 con el nombre de SEW EURODRIVE PERU S.A., posteriormente cambió de razón social en el año 2000 a SEW DEL PERU MOTORES REDUCTORES S.A.C. y desde el 2015 es SEW EURODRIVE DEL PERÚ S.A.C.

La compañía es una filial de la casa matriz **SEW EURODRIVE GmbH & Co.**, ubicada en Bruchsal, Alemania.

Esta empresa es conocida mundialmente, siendo uno de los pioneros en la era de la globalización colocando otras fábricas en: Francia, Japón, China, Estados Unidos, Canadá, Brasil, etc.; y otras plantas ensambladoras repartidas en todo el mundo. El motivo fue el atender personalmente al cliente en el lugar donde se presente la necesidad, además de entregar el equipo en un máximo de 5 días útiles.

SEW EURODRIVE DEL PERU S.A.C. está compuesta por 50 trabajadores, donde el personal de forma permanentemente va recibiendo capacitación

de los diferentes productos y de las mejoras que pueden tener éstos con el transcurrir de los años.

Los productos que comercializa la empresa son:

- Motorreductores y reductores de velocidad
- Motores eléctricos.
- Motorreductores y motores con freno electromagnético.
- Reductores.
- Reductores industriales de gran potencia.
- Convertidores de frecuencia.
- Servomotores / servoreductores para control de posicionamiento.
- Motores / motorreductores con convertidor de frecuencia incorporado "MOVIMOT".
- Cilindros eléctricos accionados por motores asíncronos jaula de ardilla o por servomotores de imanes permanentes.
- Accionamiento mecatrónica "MOVIGEAR" diseñado para ahorrar energía en máquinas de transporte en serie.

SEW EURODRIVE DEL PERÚ S.A.C. es la única planta ensambladora de motores y motoreductores a nivel nacional, desde 1/2 HP hasta 30 HP; respecto a los motoreductores hablamos principalmente del tipo coaxial de engranajes cilíndricos helicoidales, luego los de ejes perpendiculares del tipo sin fin-corona, los de ejes paralelos y los de ejes perpendiculares de

engranajes cónicos helicoidales siendo los más comerciales para mercado nacional los coaxiales y los sinfín-corona.

Cuenta además con un amplio stock de convertidores de frecuencia, desde 0.5 HP hasta 100 HP en 220 Voltios trifásico, y desde 0.5 HP hasta 200 HP en 380....500 voltios trifásico. También cuenta con convertidores de alimentación monofásica y salida trifásica de 1, 2 y 3 HP.

Actualmente la empresa cuenta con un laboratorio de pruebas de convertidores de frecuencia donde se realizan demostraciones a los clientes dando a conocer los alcances de la automatización, viendo cómo se puede evitar los picos de arranque de un motor eléctrico asíncrono trifásico de corriente alterna, gobernar su velocidad dentro de un rango permitido, así como poder manejar sistemas en serie de diferentes tipos de movimiento en varias direcciones.

Los principales proyectos más relevantes que he participado en la empresa son:

- Ampliación de planta en la línea de producción de aceite de palmiste en la empresa INDUSTRIAS DEL ESPINO S.A. Palmawasi – Tocache – San Martín. (2014).
- Ampliación de planta en la empresa CORPORACIÓN PERUANA DE PRODUCTOS QUÍMICOS S.A. Plantas de El Agustino y Chaclacayo en Lima. (2008).

- Equipos mecánicos y electromecánicos para standby en la empresa TRANSPORTADORA CALLAO S.A. Callao (2015).
- Cambio de motorreductores de procedencia italiana por motorreductores SEW Eurodrive en las líneas de embotellado N° 20 y N° 22 en la empresa AJEPER S.A. Santa Maria de Huachipa – Lurigancho – Lima (2015).
- Automatización de maquina termocontraible en la empresa EMBOTELLADORA LA SELVA S.A. Iquitos – Loreto (Febrero del 2017).

## **IV. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO DE INGENIERIA**

### **4.1 Descripción del tema**

La empresa Metalúrgica Peruana S.A. cuenta con un horno de fundición del tipo arco eléctrico, dentro de su trabajo los elementos que funden la chatarra son tres electrodos de sección circular que funcionan a través de winches que son accionados por motoreductores de corriente continua donde el control de posicionamiento de cada electrodo se hace a través de unas tarjetas DC.

Este horno tiene muchos años trabajando y los accionamientos mecánicos y electromecánicos para posicionar los electrodos comenzaron a tener problemas mecánicos como desgastes de los engranajes del reductor, problemas eléctricos por mantenimiento del motor eléctrico de corriente DC, además problemas electrónicos por las tarjetas en DC. Estos problemas antes mencionados ocasionaban que se produzcan paradas innecesarias en la producción, a eso sumamos los siguientes factores como el no tener un representante y/o distribuidor local que conlleva a no conseguir los repuestos para el funcionamiento óptimo del horno, la deficiencia en capacitación del personal de la marca de sus equipos, etc.

Debido a las deficiencias antes mencionadas se produce un incremento en el consumo de energía para la fundición de la chatarra y esto acarrea el

incremento de gastos innecesarios como las paradas consecutivas por problemas mecánicos y eléctricos que van a llevar a una baja productividad de la empresa.

## **4.2 Antecedentes**

### **4.2.1 Internacionales**

Jaccard (2014), en su estudio titulado “Operación del Horno eléctrico de arco – con ejemplos”, concluye que actualmente existen cada vez más instrumentos para monitorear la operación del horno eléctrico de arco, pero para aprovechar esa gran cantidad de información y no correr el riesgo de implementar prácticas erróneas es necesario entender el funcionamiento del horno eléctrico de arco”.

Berciano, Tremps, Fernández y De Elio (2009), en su monografía titulada “Acería Eléctrica. Parte 1”, en el capítulo 2 Horno Eléctrico de Arco dicen: “La distancia entre electrodo y baño, es decir, la longitud del arco eléctrico, determina la impedancia del mismo y, en consecuencia, el resto de parámetros eléctricos de la operación. Es obligatorio decir que se trabaja de forma que se extraiga del arco la mayor potencia posible. Hasta mediados del siglo XX el mando de subida-bajada de los electrodos se hacía a mano por el operador, respondiendo a las lecturas instantáneas de las señales que los trafos de intensidad y tensión mandan a los amperímetros y voltímetros así como a las lámparas indicadoras. Después

se han desarrollado regulaciones automáticas que comandan los equipos de subida y bajada en función de las señales enviadas por esos trafos de intensidad y tensión”.

Madias (2013) en su artículo “El impacto de las recientes innovaciones en los hornos eléctricos de arco” concluye que la evolución tecnológica de los hornos eléctricos de arco logró que este equipo sobreviva por más de un siglo, mientras otros procesos han desaparecido. Mostró un dinamismo extraordinario, que en un período de pocas décadas permitió una disminución espectacular de los consumos específicos de energía, de refractarios y de electrodos.

Este artículo ayudó al presente trabajo de investigación a trabajar con mayor confianza para colaborar a mejorar el sistema de posicionamiento de los electrodos, y esto ayudará a que los refractarios y los electrodos tengan una mayor durabilidad.

LABEA, fabricante de maquinaria para acerías en su catálogo de productos en la sección de hornos dice: “ELARC (nombre comercial) es una regulación de electrodos desarrollada recientemente y dotada de los elementos electrónicos e informáticos más modernos.”

DYNA (2014), revista de ingeniería en su artículo “La tecnología de los motores de imanes permanentes” dice que las pérdidas del motor síncrono

de imanes permanentes son aproximadamente de 15 a 20% menores que las del motor de inducción. Dependiendo del tamaño del motor, del precio de la energía eléctrica y del ciclo de trabajo, el usuario puede llegar a amortizar el coste suplementario del motor síncrono de imanes permanentes en un periodo de 3 a 15 meses.

Los motores síncronos de imanes permanentes se construyen generalmente para poder sustituir directamente los motores de inducción, lo que permite a los usuarios cambiar con facilidad a motores eléctricos modernos, fiables, de alto rendimiento y de bajo mantenimiento.

#### **4.3 Planteamiento del problema**

¿Cómo mejorar el sistema de automatización de la posición de electrodos en un horno de fundición de arco eléctrico de 6Tn., que permita incrementar la productividad en la empresa Metalúrgica Peruana S.A.?

#### **4.4 Justificación**

##### **Tecnológica:**

Según Espinoza (2010), enunció que “se justifica tecnológicamente una investigación cuando se satisface las necesidades sociales” (p. 81). Que pueden ser:

- Soluciones que permiten mejorar su nivel de vida.
- Soluciones que mejoran la ecología.
- Soluciones que permiten mejorar el sistema productivo”.

La presente investigación se justifica tecnológicamente porque habrá una mejora en el proceso productivo porque se está modernizando el sistema automático para tener un mejor control del posicionamiento de los electrodos para que el proceso de fundición de la chatarra sea óptima.

### **Practica:**

Según Hernández, Fernández y Baptista (2007), enunciaron que la justificación práctica expone las razones acerca de la utilidad y aplicabilidad de los resultados del estudio y de la importancia objetiva de analizar los hechos que los constituyen y de la posibilidad de llegar a conclusiones lógicas de su solución y cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema o proponer estrategias que cuando se aplican contribuyen a resolverlo.

La presente investigación tiene una justificación práctica porque crea una ruta de solución para aplicaciones similares, además se procede a crear una estrategia para dar la solución al control de posicionamiento de los electrodos.

La conclusión lógica es que si se pueden dar solución al sistema y controlar mejor el movimiento de los electrodos.

### **Metodológica:**

Según Espinoza (2010), enunció que “la justificación metodológica se da cuando se propone como novedad, la formulación del nuevo método o técnica en la aplicación de la investigación.

La presente investigación se justifica metodológicamente porque se elabora un plan o método para mejorar el sistema de automatización del control de los electrodos en un horno de fundición de arco eléctrico.

## **4.5 Marco teórico**

### **4.5.1 Mecánica**

La mecánica, es una rama de la física que estudia el movimiento de los cuerpos y conjuntos de elementos que forman un motor o cualquier sistema que requiera armonía y sincronía en la ejecución de una tarea. La palabra Mecánica proviene del Latín "Mechanica" y significa "arte de fabricar máquinas" por lo que nos basamos en la idea de que más que un concepto estático que se centra en análisis de un comportamiento rotativo, la mecánica se refiere a todo aquello a lo que se le asigna un recorrido y este se repite tantas veces sea necesario.

La mecánica en el mundo de la ingeniería y en los campos en los que se estudia la matemática y la física como aplicación a soluciones se divide en 3 grandes secciones: la que se ocupa de cuerpos estáticos, esta explica como es el estado de los cuerpos en reposo de un elemento en el espacio, la dinámica, estudia los cuerpos en movimiento, sus reacciones con el entorno y su capacidad de deformarse, por último, la mecánica de fluidos comprende una importante relación con el movimiento y el recorrido de infinitas partículas que pueden presentar discontinuidad en un circuito establecido.

Actualmente el uso de la mecánica se emplea para todo tipo de creación de nuevas tecnologías, la mecánica es renovada y construida en base a los fundamentos de una esencia clave que es la rutina.

#### **4.5.2 Automatización**

Galvis, Mirando y Villegas (2008) dicen que la automatización es un conjunto de técnicas que relaciona sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos, que se combinan para luego ser dirigidos o controlados por medio de un software especializado, que se encarga de poner en movimiento a este mecanismo complejo de una forma automática

#### **4.5.3 Horno Eléctrico de Arco (HEA)**

Según (Universidad de Oviedo) mencionó:

Que el reciclado de chatarra ahorra consumo de materias primas vírgenes y de energía, lo cual es beneficioso tanto desde el punto de vista económico como desde el medio ambiente.

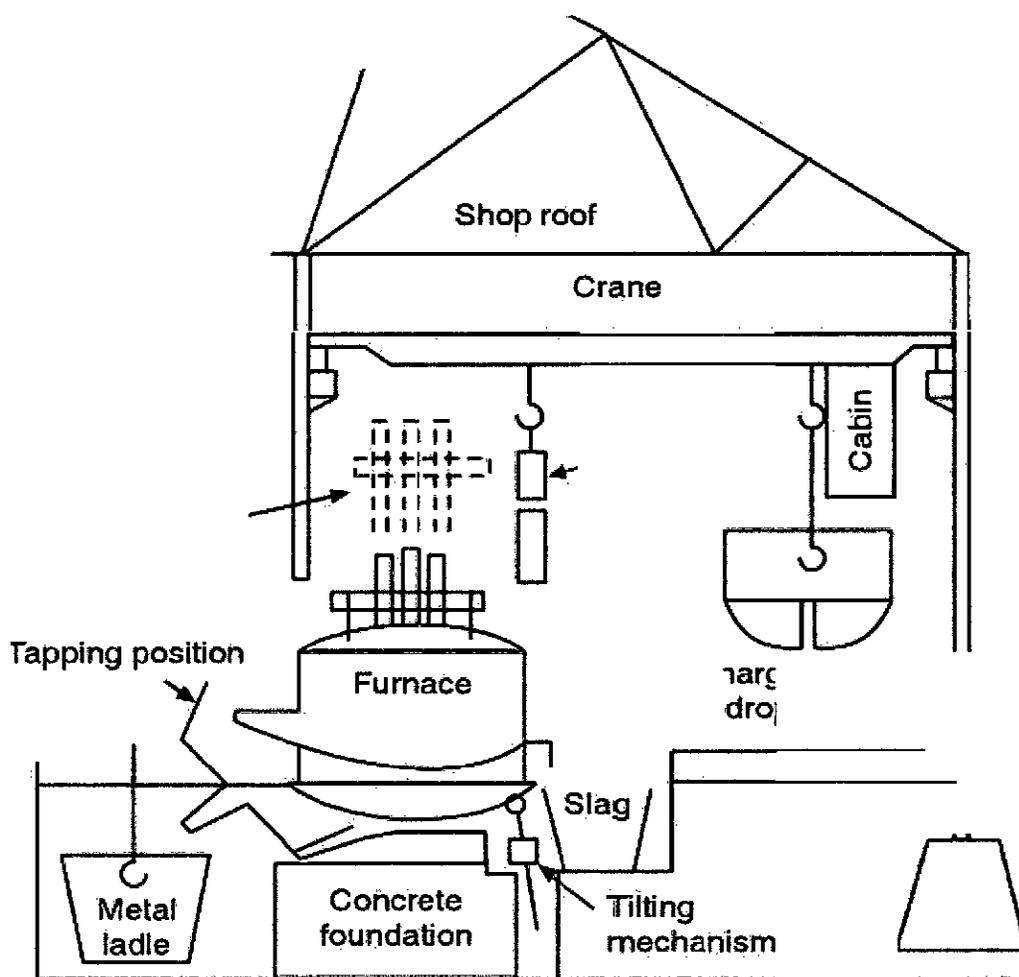
A partir del año 1914, se fue imponiendo, dentro de la industria siderúrgica, el horno eléctrico como una de las alternativas más eficientes para la producción de acero; se utiliza la energía eléctrica como instrumento de control térmico del proceso.

La energía empleada para la fusión no es de origen químico sino que proviene de un arco eléctrico que se hace saltar entre unos electrodos, que se introducen por la parte superior del horno, y la chatarra cargada, en el caso de un horno de corriente alterna, y entre el electrodo superior, la chatarra y los electrodos inferiores en el caso de un horno de corriente continua.

La fabricación de acero mediante el Horno Eléctrico de Arco (HEA) se basa en la fusión de chatarras. Además de chatarra se emplean prerreducidos y, en ocasiones, algo de arrabio.

La energía empleada para la fusión proviene de un arco eléctrico que se hace saltar entre unos electrodos, que se introducen por la parte superior del horno, y la chatarra cargada, en el caso de un horno de corriente alterna, y entre el electrodo superior, la chatarra y los electrodos inferiores en el caso de un horno de corriente continua.

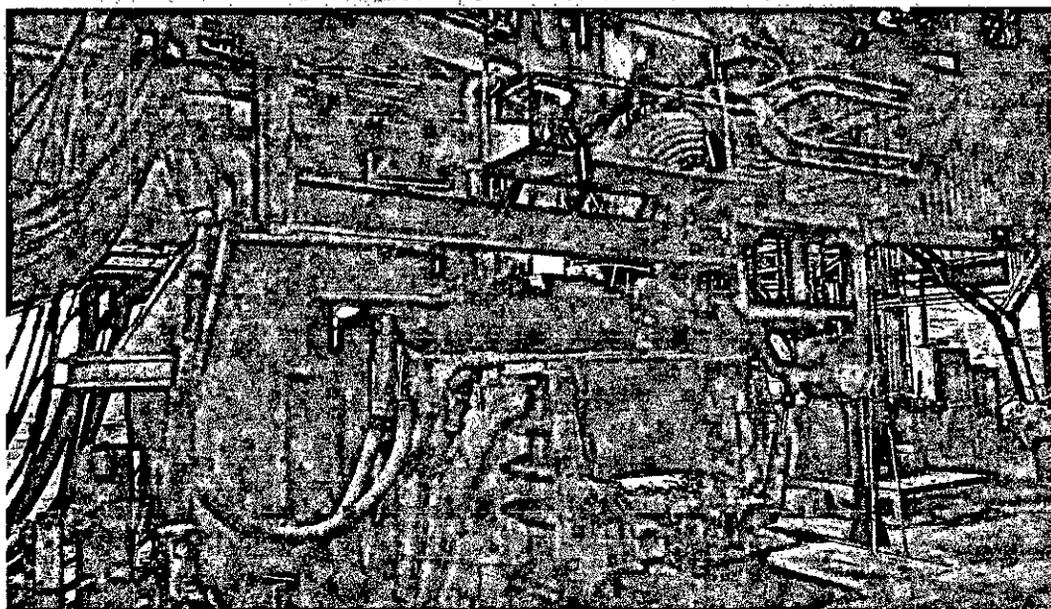
FIGURA N° 2  
SECCIÓN VERTICAL DE UNA FUNDICIÓN DE  
HORNO DE ARCO ELÉCTRICO



Fuente: Acería Eléctrica – Universidad de Oviedo

### FIGURA N° 3

#### HORNO ELÉCTRICO DE ARCO N° 2



Fuente: METALURGICA PERUANA S.A.

El calentamiento del metal tiene lugar preferentemente en la parte superior del baño pudiendo alcanzarse localmente temperaturas muy elevadas. Se necesita, por lo tanto, un estricto control del proceso al objeto de evitar un excesivo calentamiento del revestimiento del horno.

Recientemente, desde el año 1970, se contempla un paulatino aumento de la potencia y capacidad de producción de los hornos eléctricos de arco directo trifásicos alcanzando consumos específicos de 550 kW.h/t de hierro líquido (utilizando exclusivamente, como carga férrica, la chatarra).

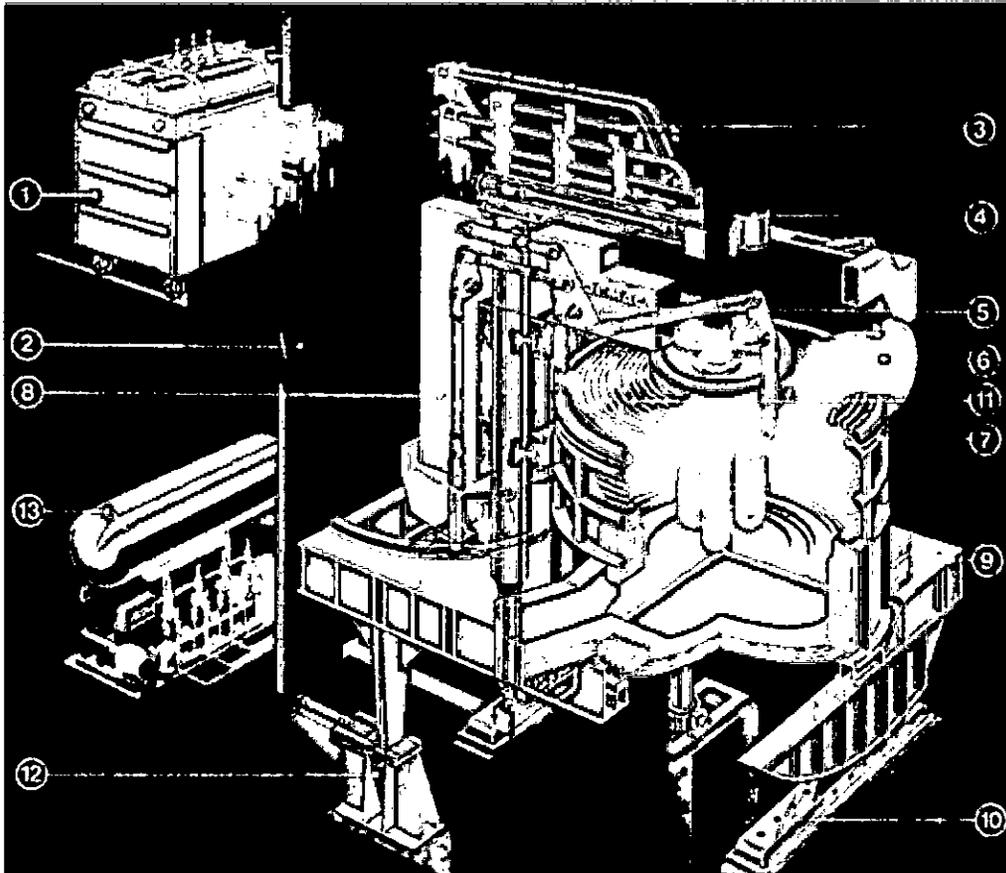
Aunque en sus orígenes la producción de acero en el HEA se aplicaba principalmente a la fabricación de aceros especiales, la situación ha cambiado con el aumento del tamaño de las coladas y las altas cotas de productividad horaria que se han alcanzado con el empleo de enormes capacidades de energía eléctrica para el proceso de fusión (productividades más altas y menores consumos energéticos). Esta situación ha permitido decisivas reducciones en el coste, al disminuir el consumo específico de energía, electrodos y refractarios.

#### **a) Componentes de un Horno eléctrico**

- La cuba del horno, incluye el dispositivo de colada y el sistema de cierre.
- El sistema de vuelco que permite la salida del caldo a la cuchara
- Las paredes, actualmente casi todos los HEA tienen paneles refrigerados por agua.
- La bóveda, refrigerada por agua y dotada de un sistema giratorio que permite la apertura total de la parte superior del horno.
- Los electrodos de grafito, con tubería para enfriamiento con agua, que atraviesan la bóveda y establecen el arco eléctrico, a partir del paso de la corriente eléctrica.
- Los brazos portaelectrodos.
- El sistema de regulación electrónica y el de accionamiento eléctrico o hidráulico que mueve los electrodos a gran velocidad para regular el arco eléctrico, manteniendo constante la corriente en el arco.
- El sistema de cables flexibles que llevan la corriente a los brazos y que están refrigerados por agua.
- El embarrado de cobre que conecta los cables flexibles al transformador.
- El transformador eléctrico que transforma la corriente eléctrica de alta tensión, 25000-50000 V, a los voltajes que se necesitan en el arco eléctrico, que están entre 400 y 1000 V.
- Además hay que añadir un conjunto de sistemas de aparellaje y control eléctrico: interruptor, transformadores de medida, etc.
- La instalación se completa con una captación de humos a través de un agujero practicado en la bóveda; los humos se conducen a la instalación de depuración con lo que se evita contaminar la atmósfera tanto del interior de la acería como del exterior. En algunos casos dicha captación se ve complementada con una campana superior que aumenta el grado de captación de humos, particularmente durante las operaciones de carga de chatarra del horno y vuelco del acero a la cuchara.

FIGURA N° 4

COMPONENTES DE UN HORNO ELÉCTRICO DE ARCO (HEA)



- |                                |                           |
|--------------------------------|---------------------------|
| 1. TRANSFORMADOR               | 8. ESTRUCTURA             |
| 2. CONEXIÓN DE CABLE FLEXIBLE  | 9. ESTRUCTURA OSCILANTE   |
| 3. BRAZOS DE LOS ELECTRODOS    | 10. CREMALLERA            |
| 4. SUJECCIÓN DE LOS ELECTRODOS | 11. BÓVEDA REFRIGERADA    |
| 5. PÓRTICO CON BRAZOS          | 12. DISPOSITIVO DE VOLTEO |
| 6. SALIDA DE HUMOS REFRIGERADA | 13. GRUPO HIDRÁULICO      |
| 7. PANELES REFRIGERADOS        |                           |

Fuente: Acería Eléctrica - Universidad de Oviedo

## **b) Ventajas del uso del HEA**

Las razones que explican la rápida expansión de este método en los últimos años son varias, entre las que destacan:

- ✓ Flexibilidad: Fabricación de cualquier tipo de acero, con los únicos límites de la calidad de la materia prima.
- ✓ Posibilidad de emplear todo tipo de cargas: chatarra, prerreducidos, arrabio, lingote de hierro, etc.
- ✓ Alta productividad: con sólo un horno es posible mantener una máquina de colada continua produciendo de forma ininterrumpida.
- ✓ Baja inversión inicial respecto a la ruta del horno alto. Tamaño pequeño relativo.
- ✓ Los hornos eléctricos permiten una sencilla extracción de la escoria.
- ✓ Es posible programar y automatizar el proceso de fusión.
- ✓ Se pueden sincronizar varias hornadas diferentes para hacer grandes lingotes destinados a forjas especiales, de capacidad mayor que el acero que puede producir un horno en una sola colada.
- ✓ El proceso es de alta eficiencia.

## **c) Desventajas del uso del HEA**

- Como inconvenientes del HEA deben señalarse:
- Fuerte dependencia del mercado de la chatarra.
- Posibilidad de contaminar el acero con elementos residuales atrapados en la chatarra.
- Altos contenidos finales en nitrógeno.
- Se requiere inversión para paliar el alto nivel de ruido en este tipo de instalaciones.

## **d) Electrodo**

Son elementos característicos del horno eléctrico por ser los que hacen saltar el arco, están fabricados de grafito de alta pureza (carbono prácticamente puro). Se emplea grafito porque soporta altas temperaturas y es buen conductor eléctrico. Los electrodos tienen un papel muy importante, ya que transportan la energía eléctrica dentro del horno. Entran en éste por un orificio de gran diámetro, hecho de refractario, que recibe el nombre corazón de bóveda. Cuando se encuentran cerca de la chatarra se genera un arco y se forma un circuito eléctrico. El arco proporciona la energía térmica necesaria para fundir la chatarra.

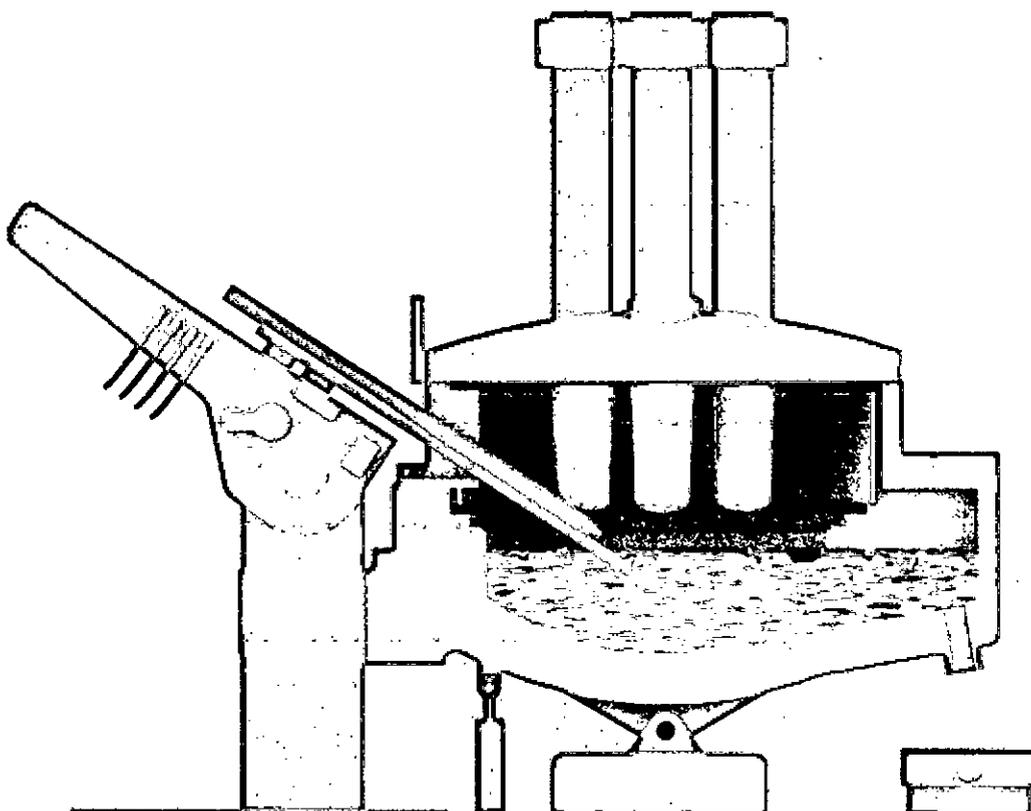
Los hornos de corriente alterna cuentan con tres electrodos, mientras que en los que utilizan corriente rectificada suele haber un electrodo o, en

algunos casos, dos. Los tamaños habituales oscilan entre los 600 y los 800 mm de diámetro (según la energía del arco) y 1.5 y 3 m de longitud. Según se van quemando se va añadiendo longitud adicional, colocando un nuevo electrodo en el extremo de la cabeza remanente, para lo que se interrumpe la corriente.

Existen habitualmente unos brazos portaelectrodos, que los soportan. Para su accionamiento se tiene un sistema de regulación electrónica y de accionamiento hidráulico o eléctrico, que mueve los electrodos a gran velocidad para regular el arco eléctrico, manteniendo constante la corriente o la impedancia, que es lo habitual en los de alterna.

El consumo de los electrodos se mide en kilogramos de grafito por tonelada de carga fundida.

FIGURA N° 5  
ELECTRODOS DE UN HEA



Fuente: Acería Eléctrica - Universidad de Oviedo

### **e) Equipamiento Eléctrico**

El primer elemento del equipamiento eléctrico es una subestación transformadora, situada a la entrada del horno, que toma la corriente eléctrica de líneas de muy alta tensión (132 a 220 kV) y la baja (25 a 50 kV), que es el voltaje del primario del transformador del horno. En el transformador del horno este voltaje es reducido hasta valores de entre 400 y 1000 voltios, que es la tensión del secundario, y la que llega a los electrodos.

Cuando el electrodo alcanza las inmediaciones de la chatarra se crea un arco que forma un circuito eléctrico. Estos arcos son los que proporcionan la energía térmica necesaria para fundir la chatarra. A mayor tensión, mayor longitud del arco.

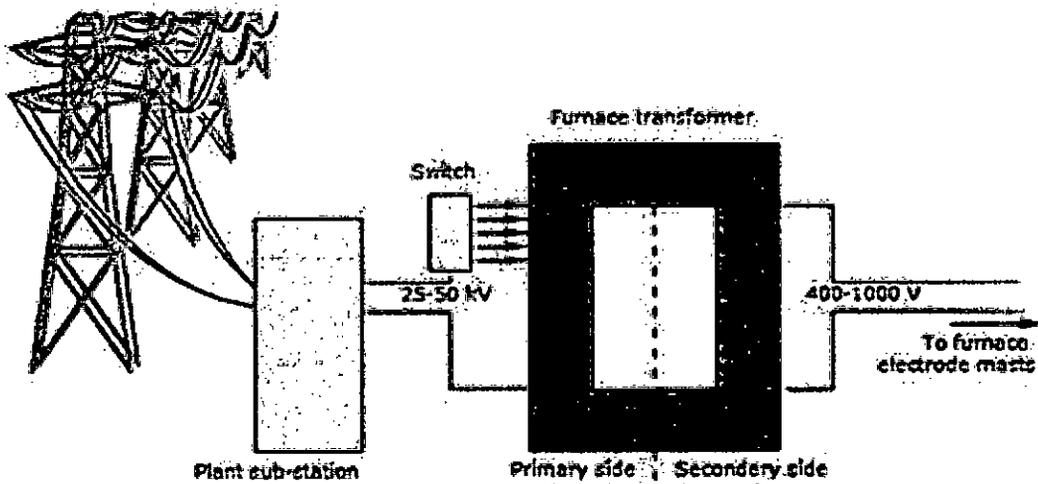
Para hacer saltar el arco se puede emplear corriente alterna o corriente continua. En el caso de corriente continua se requiere un único electrodo superior, mientras que con corriente alterna se utilizan tres fases y se necesitan tres electrodos, conectando así cada fase a uno de los tres electrodos de grafito.

En los hornos de corriente alterna se utiliza el factor de potencia ( $\text{COS } \phi$ ) para medir la eficiencia. El factor de potencia de la instalación es la relación entre potencia activa y potencia aparente (suma de la activa y de la reactiva). Interesa que sea lo más próxima a 1, y se asume como valor bueno a partir de 0.72.

Se debe señalar que el consumo de energía eléctrica también tiene que ver con posibles inyecciones de oxígeno que se hagan en el horno, llegando algunos hornos eléctricos a unos niveles de consumo de este elemento comparables a los del convertidor LD a cambio lógicamente de un consumo de potencia mucho menor que en los hornos eléctricos sin inyección de oxígeno.

FIGURA N° 6

EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO DE UN HEA

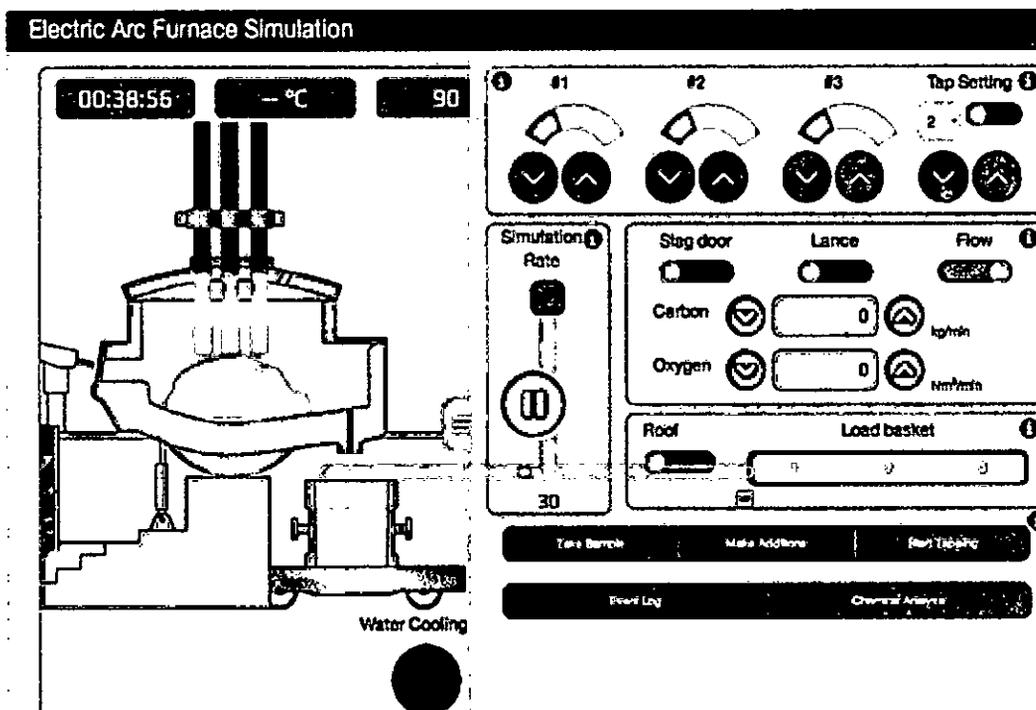


Fuente: Acería Eléctrica – Universidad de Oviedo

El movimiento vertical de los electrodos se consigue ajustando las posiciones de los brazos portadores de los mismos, que están controlados por retroalimentación desde el sistema eléctrico, que supervisa constantemente el comportamiento eléctrico con el objetivo de conseguir la aportación óptima de energía en un punto de consigna prefijado.

El objetivo es mantener siempre un nivel constante de consumo de la energía suministrada. Por ello, los electrodos deben ser elevados o bajados en función de la lectura de la tensión del arco.

FIGURA N° 7  
SIMULACIÓN EN UN HEA



Fuente: Acería Eléctrica – Universidad de Oviedo

La operación requiere una cuidadosa supervisión de los parámetros eléctricos del horno en todo momento. Ajustando la configuración de la toma de energía, es decir, las combinaciones predefinidas de tensión/corriente, las características eléctricas pueden ser alteradas para adecuarlas a las condiciones de funcionamiento en cada momento.

Existe un tope máximo de corriente admitida para los electrodos, lo que en la práctica significa que el parámetro principal de regulación al cambiar la configuración de la toma de energía es la tensión en el secundario. La tensión en el secundario es directamente proporcional a la longitud del arco en el interior del horno.

#### f) Etapas de la fundición en un HEA

##### Carga

Antes de empezar las operaciones de calentamiento y de fusión, el horno se carga con chatarra de acero reciclada, utilizando una canasta de chatarra.

Después de la carga se cierra el techo y los tres electrodos de grafito bajan hacia la chatarra. Al conectar el suministro de energía eléctrica se establece un arco eléctrico entre los tres electrodos y la carga sólida.

### **Fusión**

Los electrodos son movidos hacia abajo según la chatarra se va desmoronando al fundirse.

A medida que se va fundiendo la chatarra, se va formando un "charco" de acero líquido en el fondo del horno.

### **Adiciones**

Cuando todas las canastas de chatarra han sido fundidas, se continua calentando cierto tiempo, para sobrecalentar el acero hasta la temperatura necesaria para la colada. Durante este periodo (periodo de afinación) se pueden ejecutar ciertas operaciones metalúrgicas, como desulfuración, defosforación y descarburación.

### **Desescoriado**

Las operaciones de desescoriado se llevan a cabo para eliminar impurezas del horno.

El horno bascula y se vierte la escoria.

### **Colada**

Cuando se ha obtenido la composición y la temperatura correctas del acero, se apaga el horno y se procede a su colada (p: 3-6, 8, 10, 12, 16-18, 25).

FIGURA N° 8

ETAPAS DE LA FUNDICIÓN EN HORNO ELÉCTRICO DE ARCO



FIGURA N° 8  
(Continuación)



Fuente: Acería Eléctrica – Universidad de Oviedo

#### **4.5.4 Sistema Electromecánico y Electrónico del movimiento de los electrodos del HEA (servomotores, reductores de velocidad y convertidores de frecuencia)**

##### **a) Servomotores de Imanes Permanentes**

De acuerdo al ítem 4.5.1 donde trata de la definición de mecánica, diría que el avance de la tecnología nos permite ahora el uso de servomotores con el cual se logra la optimización de la mecánica.

La alta dinámica de trabajo proporcionada por los servomotores, genera procesos productivos más rápidos y exactos, se obtiene un movimiento controlado en posición, sincronismo y velocidad.

Según SEW Eurodrive enunció que los servo accionamientos son sistemas que proporcionan una respuesta exacta y dinámica sobre un

amplio rango de velocidad y también son capaces de soportar situaciones de sobrecarga.

La tecnología de los servo accionamientos fue creciendo y teniendo mayores retos, el principal era de mejorar las respuestas dinámicas, por lo que el desarrollo de la tecnología de los servos tuvo como resultado final el de tener un motor síncrono de imanes permanentes, logrando tener mayor torque nominal y en general una mejor performance del motor, sobre todo en su comportamiento dinámico.

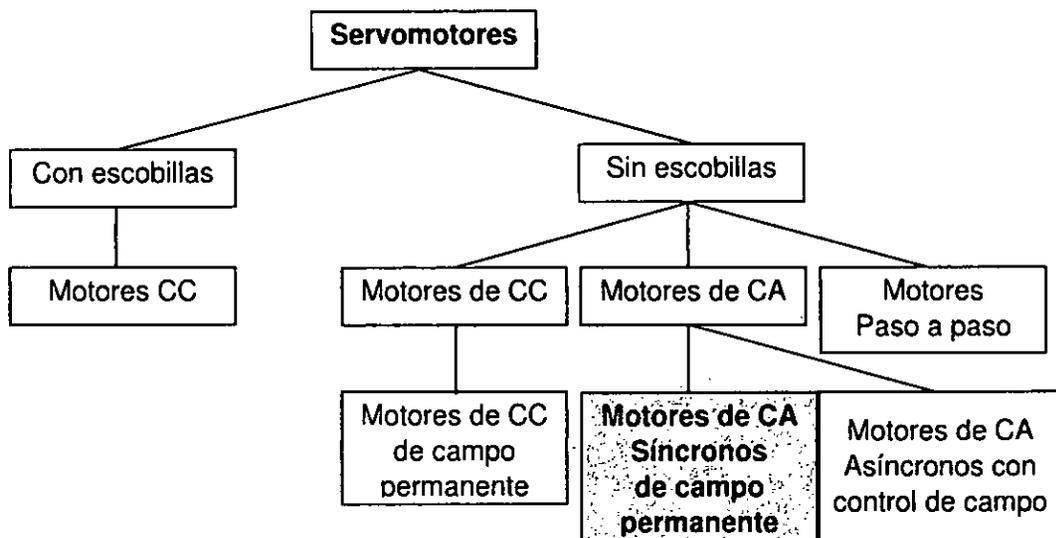
#### **b) Características de los Servomotores:**

- Precisión en el posicionamiento
- Precisión en la velocidad
- Control en todo el rango de velocidad
- Estabilidad en el torque
- Capacidad de sobrecarga
- Performance dinámica

### c) Clasificación de los Servomotores

FIGURA Nº 9

CLASIFICACIÓN DE LOS SERVOMOTORES



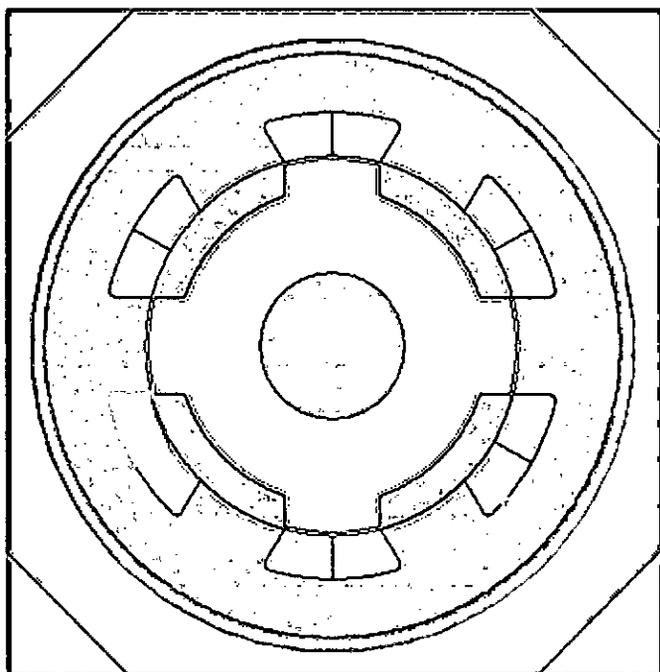
Fuente: SEW Eurodrive

Los servomotores más utilizados en la industria actualmente, son los motores de corriente alterna sin escobillas tipo Brushless. Básicamente están formados por un estator segmentado en el que el espacio relleno de cobre es casi el doble que en los motores tradicionales, esto permite desarrollar una mayor potencia con un menor volumen.

Para compensar la mayor cantidad de hilo en las ranuras y su mayor generación de calor, el espacio libre del bobinado se rellena con resina conductora de calor.

FIGURA N° 10

CORTE TRANSVERSAL DE UN SERVOMOTOR  
DE IMANES PERMANENTES



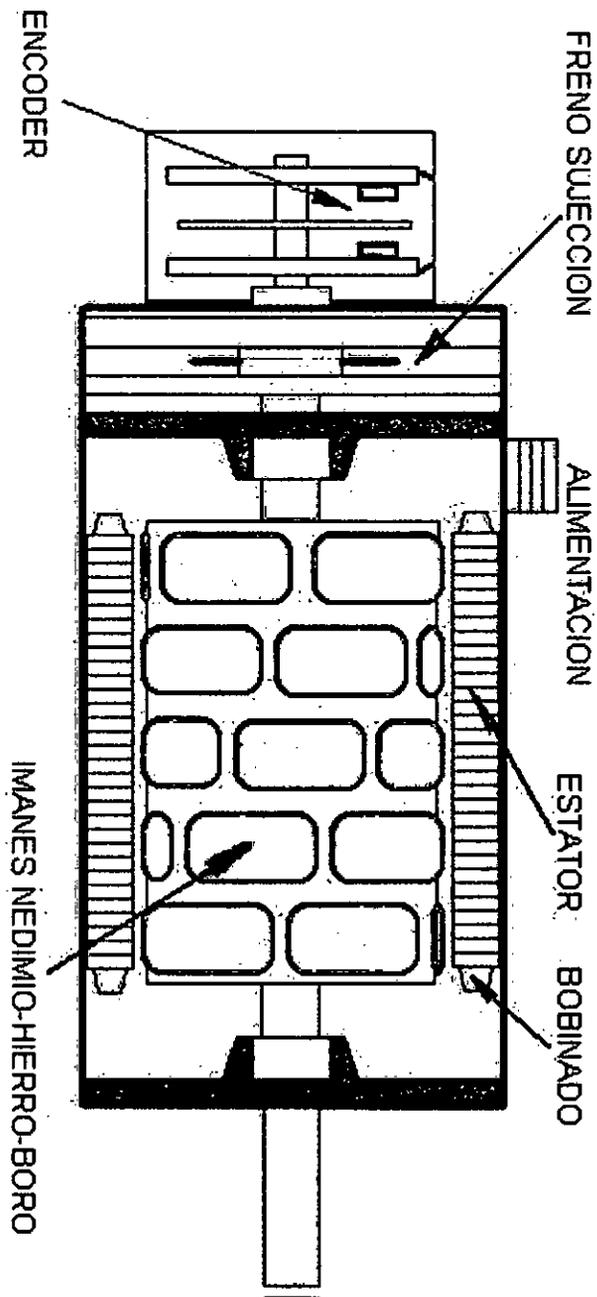
Fuente: Servomotores

El rotor incorpora una serie de imanes permanentes construidos con Neodimio-Hierro-Boro que proporcionan mayor densidad de flujo, para mejor rendimiento y obtención de mejor par en menor tamaño.

El tiempo de posicionamiento se reduce gracias a la reducción de la inercia del rotor lo que permite alcanzar altas velocidades en tiempos reducidos y por otra parte, la posibilidad de hacer girar un motor con una velocidad nominal de 3000 rpm a una velocidad de rotación máxima de 4500 rpm.

FIGURA N° 11

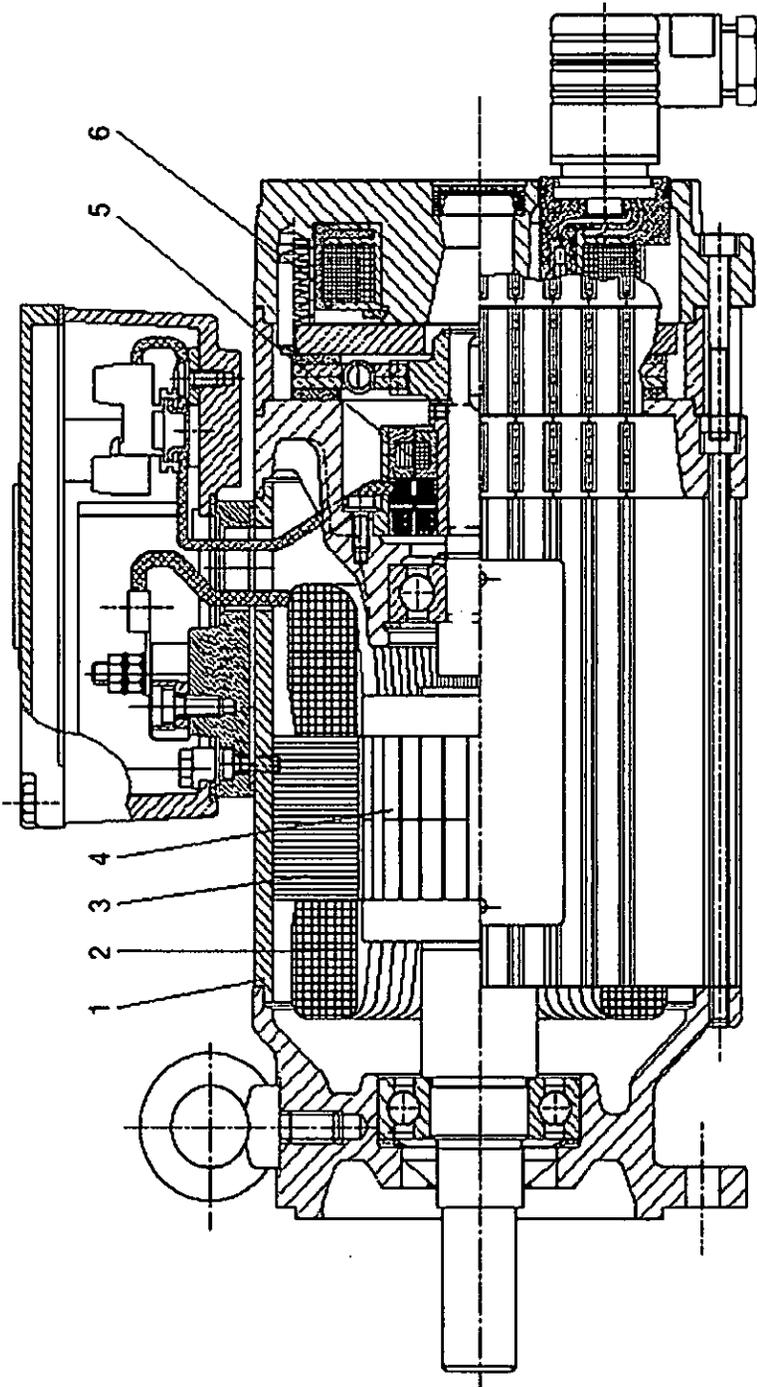
CONSTITUCIÓN BÁSICA DE UN SERVOMOTOR  
DE IMANES PERMANENTES



Fuente: Servomotores

FIGURA N° 12

DESPIECE DE UN SERVOMOTOR DE  
IMANES PERMANENTES SEW EURODRIVE



Fuente: SEW Eurodrive

1. Estator
2. Bobinado del estator
3. Laminado del estator
4. Rotor con imanes permanentes
5. Resolver
6. Freno

#### **d) Reductor de Velocidad**

Toda máquina cuyo movimiento sea generado por un motor (ya sea eléctrico, de explosión u otro) necesita que la velocidad de dicho motor se adapte a la velocidad necesaria para el buen funcionamiento de la máquina. Además de esta adaptación de velocidad, se deben contemplar otros factores como la potencia mecánica a transmitir, la potencia térmica y la eficiencia mecánica (estáticas y dinámicas).

El reductor de velocidad es un elemento mecánico el cual tiene por objeto reducir la velocidad de rotación que recibe y a la vez multiplicar el torque en la misma proporción que reduce la velocidad. Está compuesto por engranajes, rodamientos, retenes, ejes, carcasa, lubricante, tornillos, etc.

Para la aplicación estudiada el servomotor de imanes permanentes irá unido directamente con un reductor de velocidad formando un servoreductor el cual debe ser de una eficiencia alta con la intención de ser un sistema eficiente, que soporte altas cargas dinámicas y que pretenda ahorrar energía.

## Conceptos básicos

- Torque Nominal: Es el torque de diseño del reductor, es decir es el máximo torque que puede entregar el reductor a la máquina.
- Torque Resistente: Es el torque que requiere la máquina para su correcto funcionamiento.
- Torque de Salida ( $T_s$ ): Es el torque que puede entregar el reductor dependiendo del torque y potencia que recibe; se obtiene de multiplicar la potencia que recibe el reductor ( $P_e$ ) en kW multiplicado por la constante 9550 y dividido entre la velocidad de rotación que entrega el reductor en rpm. El resultado se multiplica por la eficiencia del reductor ( $\eta$ )

$$T_s \text{ (Nm)} = \frac{9550 \times P_e \text{ (kW)} \times \eta}{n \text{ (rpm)}}$$

- Torque Resistente ( $T_r$ ): Es el torque que necesita la máquina para ser accionada, éste debe ser menor o igual al torque de salida ( $T_s$ ) que puede entregar el reductor.

$$T_r \leq T_s$$

- Factor de Servicio ( $f_s$ ): Es el factor de seguridad que le permite al reductor tener un buen funcionamiento y un buen tiempo de duración de acuerdo al tipo y al tiempo de operación de la máquina. Matemáticamente es el resultado de dividir el torque nominal ( $T_{nom}$ ) (dato del fabricante) entre el torque de salida ( $T_s$ ).

$$f_s = \frac{T_{nom}}{T_s}$$

El factor de servicio debe ser mayor o igual que la unidad.

- **Potencia Mecánica:** Es igual a la potencia útil multiplicado por la eficiencia del reductor.
- **Potencia Térmica:** Los rendimientos de los trenes de engranajes de un reductor tienen una pérdida de potencia en forma de calor que tiene que ser disipada por el cuerpo del reductor; puede ocurrir que la potencia transmisible mecánicamente provoque calor en el reductor a unos niveles que impidan su funcionamiento normal.  
La potencia térmica indica la potencia eléctrica aplicada en el eje rápido del reductor que este es capaz de transmitir sin limitación térmica.

#### **e) Clasificación básica de los principales reductores de velocidad**

- **Coaxiales de engranajes cilíndricos helicoidales**

Llamados también colineales, porque la distancia entre la prolongación del eje de entrada con el eje de salida es mínima. Los engranajes son cilíndricos helicoidales y pueden ser de una, dos, o tres etapas.

Tienen eficiencias altas: 98.5% los de una etapa, 97% los de dos etapas y 95.5% los de tres etapas.

Velocidades de salida: 0.05 – 1,829 rpm

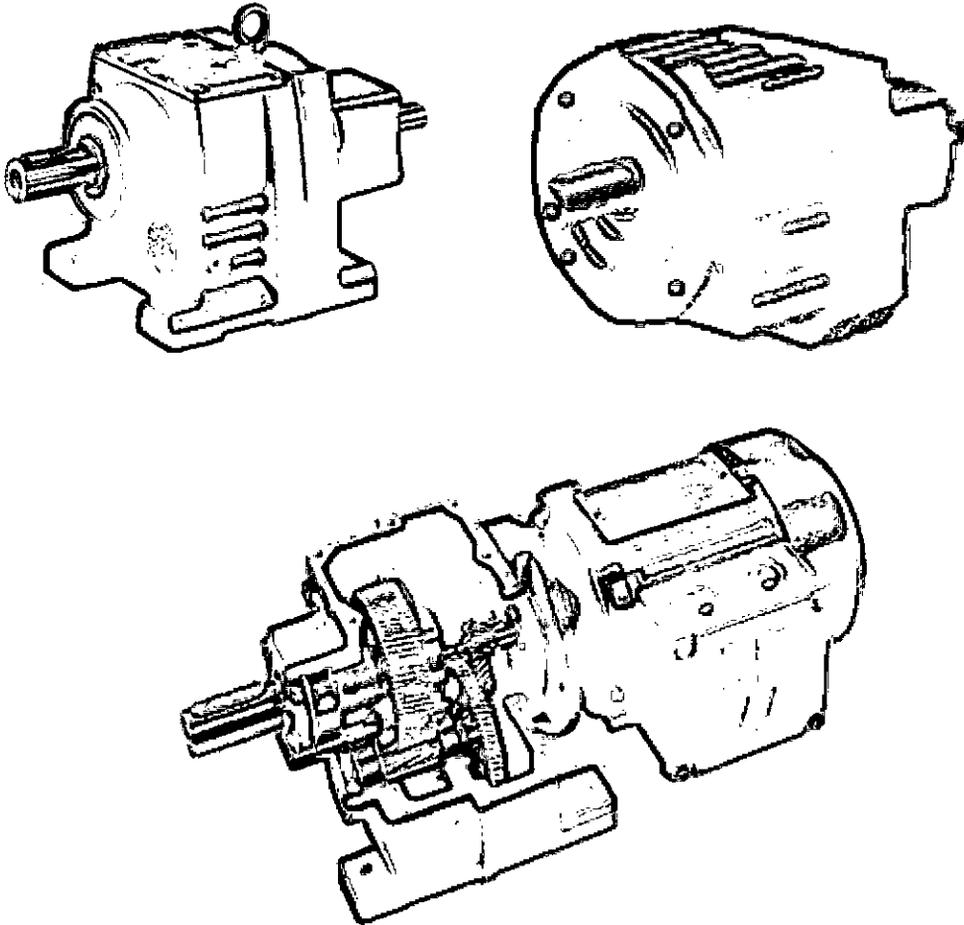
Torque nominal: 50 - 18,000 Nm.

Rango de potencia de Motor: 0.12 – 160 kW

El montaje puede ser con base o con brida

FIGURA N° 13

REDUCTORES COAXIALES SEW EURODRIVE



Fuente: SEW Eurodrive

- **Ortogonales tipo de engranajes cónicos**

Son de tres etapas: tienen dos pares de engranajes cilíndricos helicoidales y el par intermedio es de engranajes cónicos helicoidales.

El eje de salida puede ser de eje sólido o de eje hueco.

Altos torques y fuerzas radiales admisibles.

Requerimientos para espacios reducidos.

Desarrolla muy baja vibración y ruido.

Tienen eficiencia alta: 95.5%

Velocidades de salida: 0.1 – 522 rpm

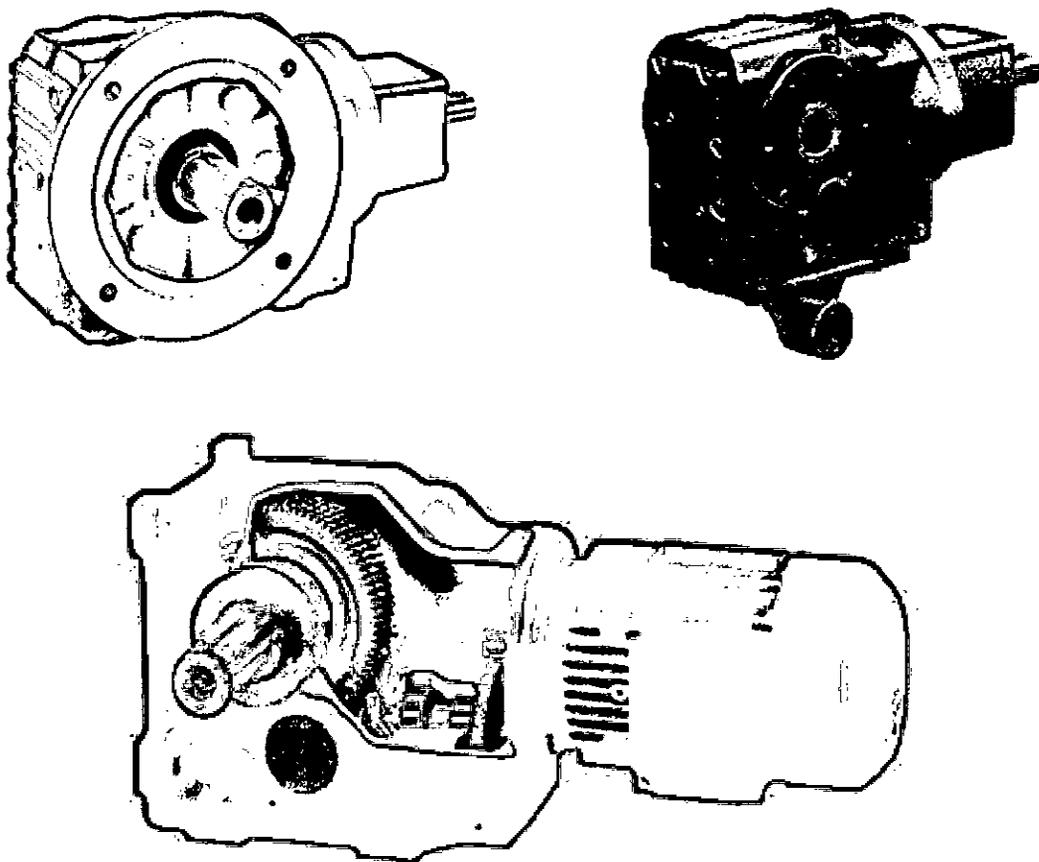
Torque nominal: 200 - 50,000 Nm.

Rango de potencia de Motor: 0.12 – 200 kW

El montaje puede ser con base o con brida para el caso de eje sólido; y cuando son de eje hueco, con base, brida o brazo de torque.

FIGURA N° 14

REDUCTORES DE ENGRANAJES CÓNICOS SEW EURODRIVE



Fuente: SEW Eurodrive

- **De ejes paralelos de engranajes cilíndricos helicoidales**

El montaje puede ser con base o con brida para el caso de eje sólido; y cuando son de eje hueco, con base, brida o brazo de torque.

Son de dos y tres etapas: son de engranajes cilíndricos helicoidales

Respecto al eje de salida pueden ser de eje sólido o de eje hueco.

Desarrolla muy baja vibración y ruido.

Altos torque y fuerzas radiales admisibles.

Tienen eficiencias altas: 97% los de dos etapas y 95.5% los de tres etapas.

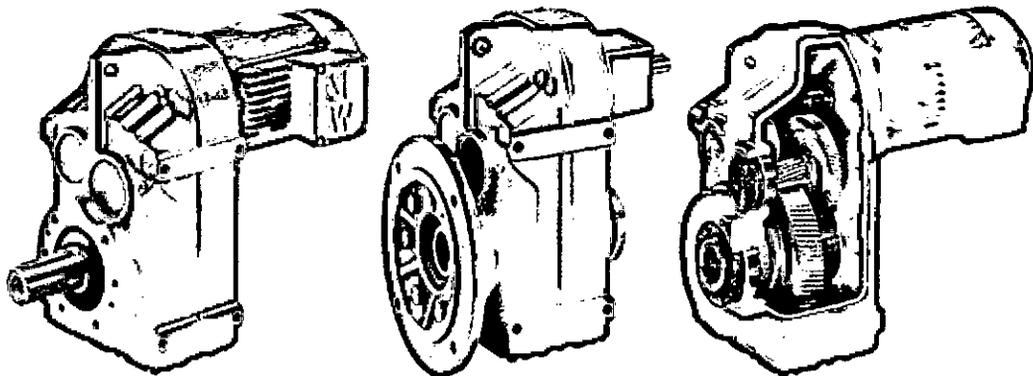
Velocidades de salida: 0.1 – 752 rpm

Torque nominal: 120 - 18,000 Nm.

Rango de potencia de Motor: 0.12 – 200 kW

FIGURA N° 15

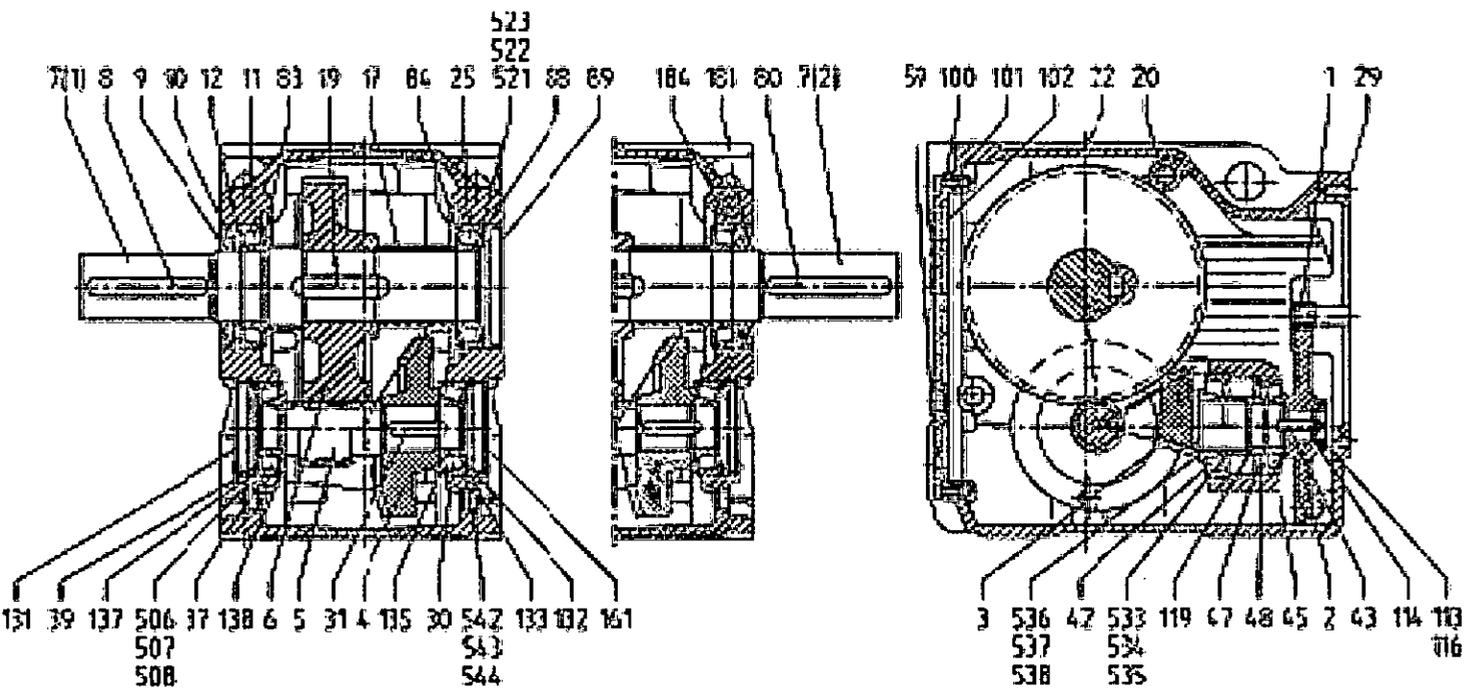
REDUCTORES DE EJES PARALELOS SEW EURODRIVE



Fuente: SEW Eurodrive

En los reductores de velocidad existe también los del tipo ortogonal sinfín-corona pero no es materia del estudio por tener baja eficiencia comparada con los mencionados anteriormente.

FIGURA N° 16  
 DESPIECE DE UN REDUCTOR DE  
 ENGRANAJES CÓNICOS SEW EURODRIVE



Fuente: SEW Eurodrive

## f) Controladores electrónicos de los servoreductores para el movimiento de los electrodos del HEA

### Convertidores de frecuencia

Los convertidores de frecuencia son utilizados para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna. Los convertidores de frecuencia son vertientes de un variador de velocidad, ya que llevan un control de frecuencia de alimentación, la cual se suministra por un motor.

Otros nombres con que son conocidos los convertidores de frecuencia son:

- ❖ Variadores de frecuencia
- ❖ Drivers

Característica de funcionamiento de un motor asíncrono trifásico con un convertidor de frecuencia (curva V/F)

**T**  
(Torque) → En el eje del motor, debe permanecer constante

$$T = K1 \times \Phi_{mag}$$

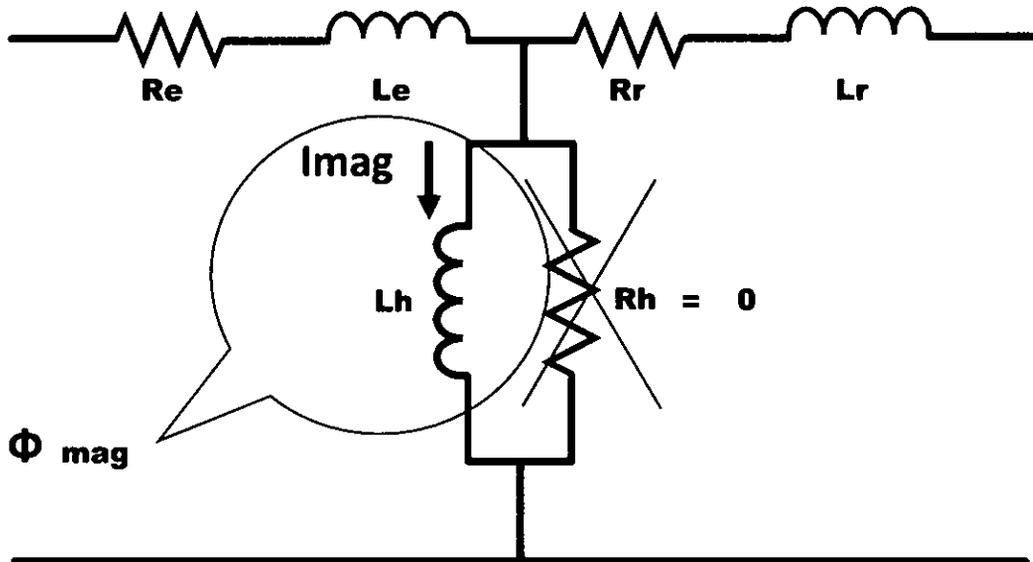
$$\Phi_{mag} = K2 \times I_{mag}$$

Por lo tanto:

**I<sub>mag</sub>** → Debe permanecer constante

FIGURA N° 17

MODELO MATEMÁTICO DE UN MOTOR ASÍNCRONO



Fuente: SEW Eurodrive

$$I_{mag} = \frac{V}{X_L} = \frac{V}{2\pi f L} = \frac{1}{2\pi L} \times \frac{V}{f}$$

(Se ignora la resistencia de devanado del motor)

$V$  = voltaje aplicado al estator

$f$  = frecuencia de  $V$

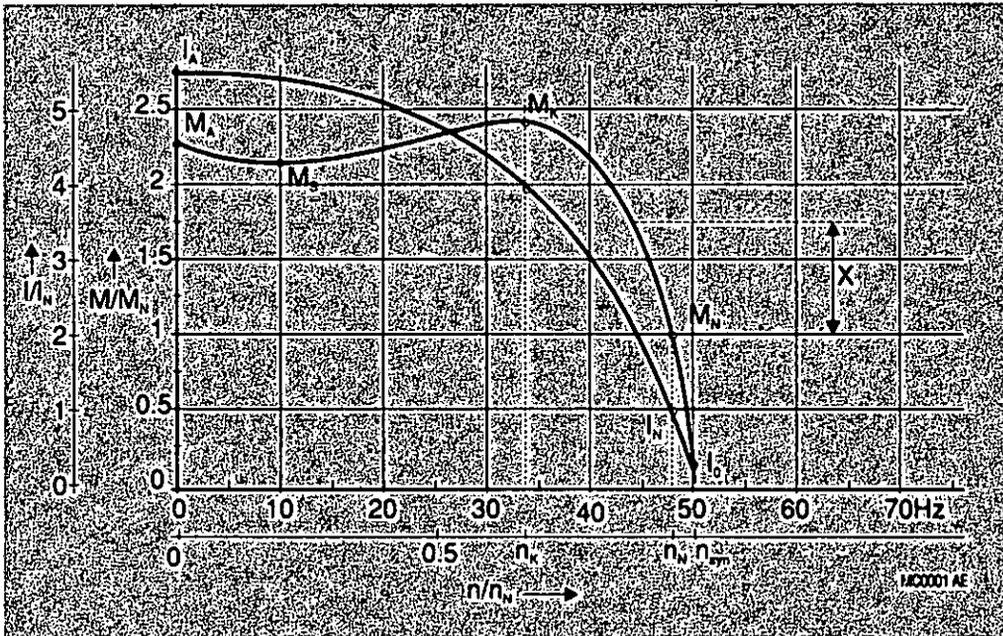
Si  $V/f >$  valores de diseño = saturación magnética

Si  $V/f <$  valores de diseño = disminuye la capacidad de

producción de Torque del motor

# GRAFICA N° 1

TORQUE - VELOCIDAD y CORRIENTE - VELOCIDAD  
DE UN MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA JAULA DE ARDILLA



Fuente: SEW Eurodrive

$M_A$  = Torque de arranque

$M_s$  = Torque de arrastre o Torque mínimo

$M_k$  = Torque de bloqueo o Torque máximo

$M_N$  = Torque nominal

$I_N$  = Corriente nominal

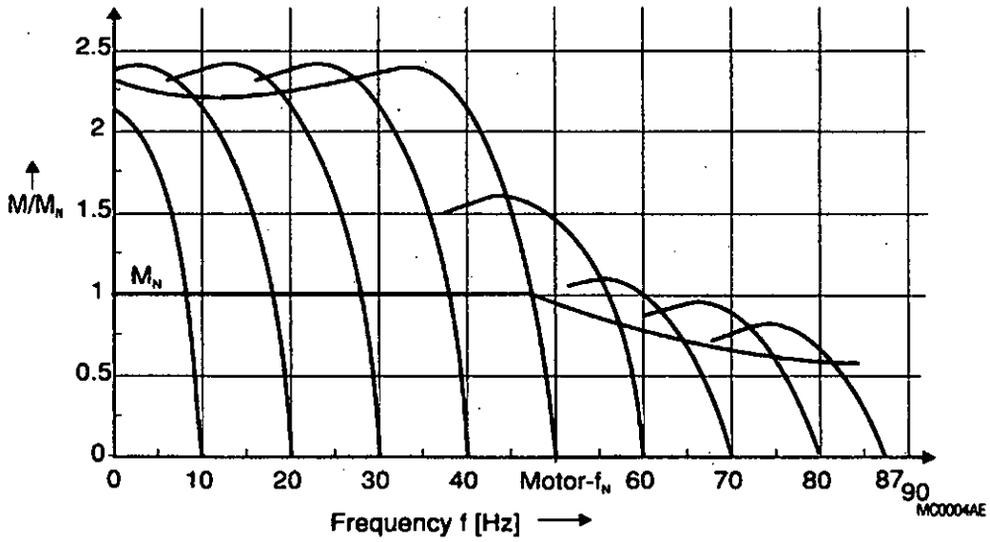
$I_0$  = Corriente en vacío

$I_A$  = Corriente de arranque

## GRAFICA N° 2

### TORQUE – FRECUENCIA

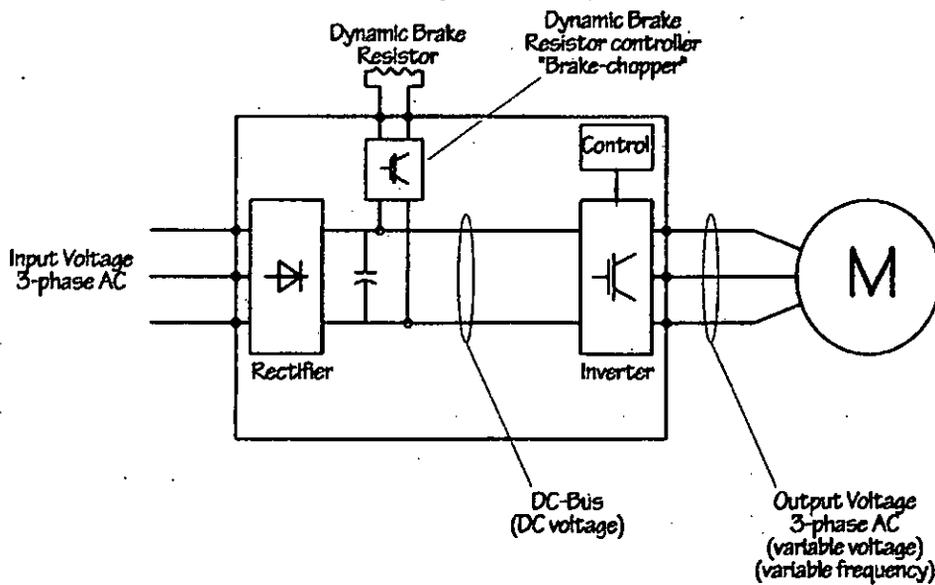
(Cuando el motor es gobernado con convertidor de frecuencia)



Fuente: SEW Eurodrive

## FIGURA N° 18

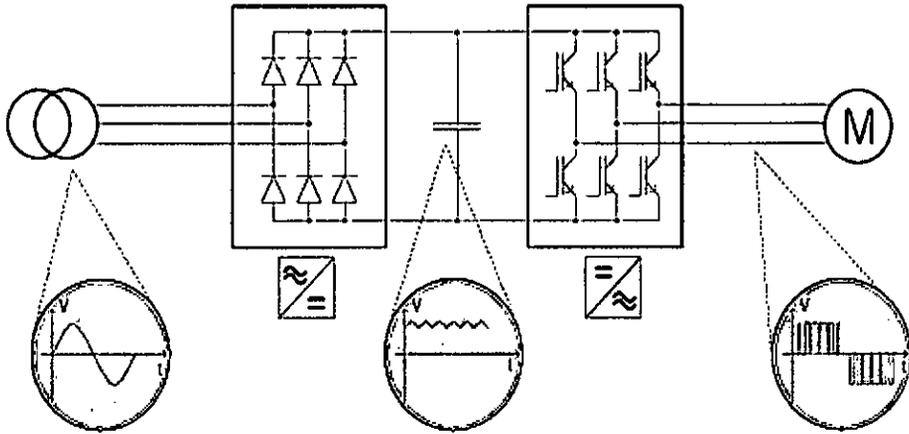
### CONVERTIDOR DE FRECUENCIA – ESQUEMA BASICO 1



Fuente: SEW Eurodrive

FIGURA N° 19

CONVERTIDOR DE FRECUENCIA – ESQUEMA BASICO 2

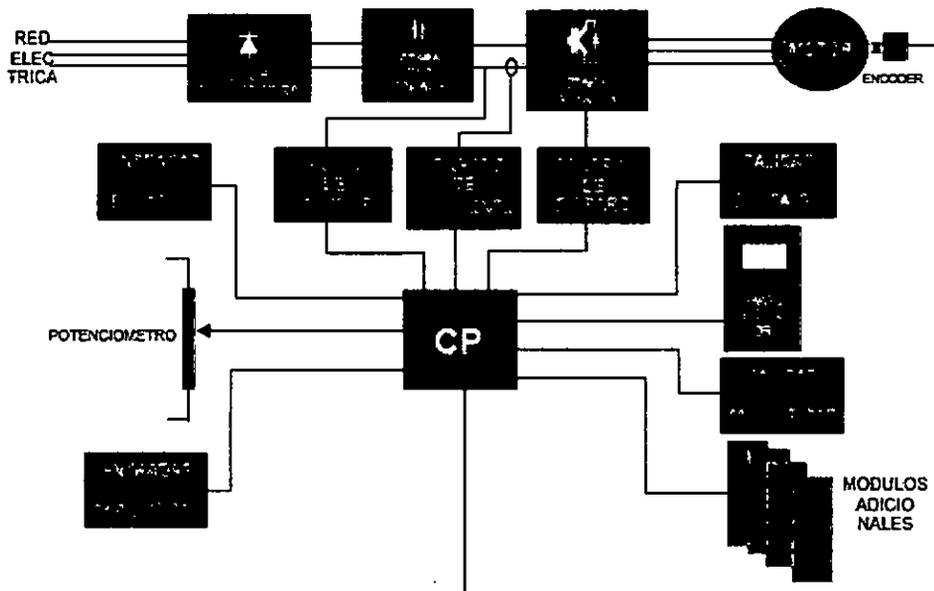


Block diagram of an inverter with DC link

Fuente: SEW Eurodrive

FIGURA N° 20

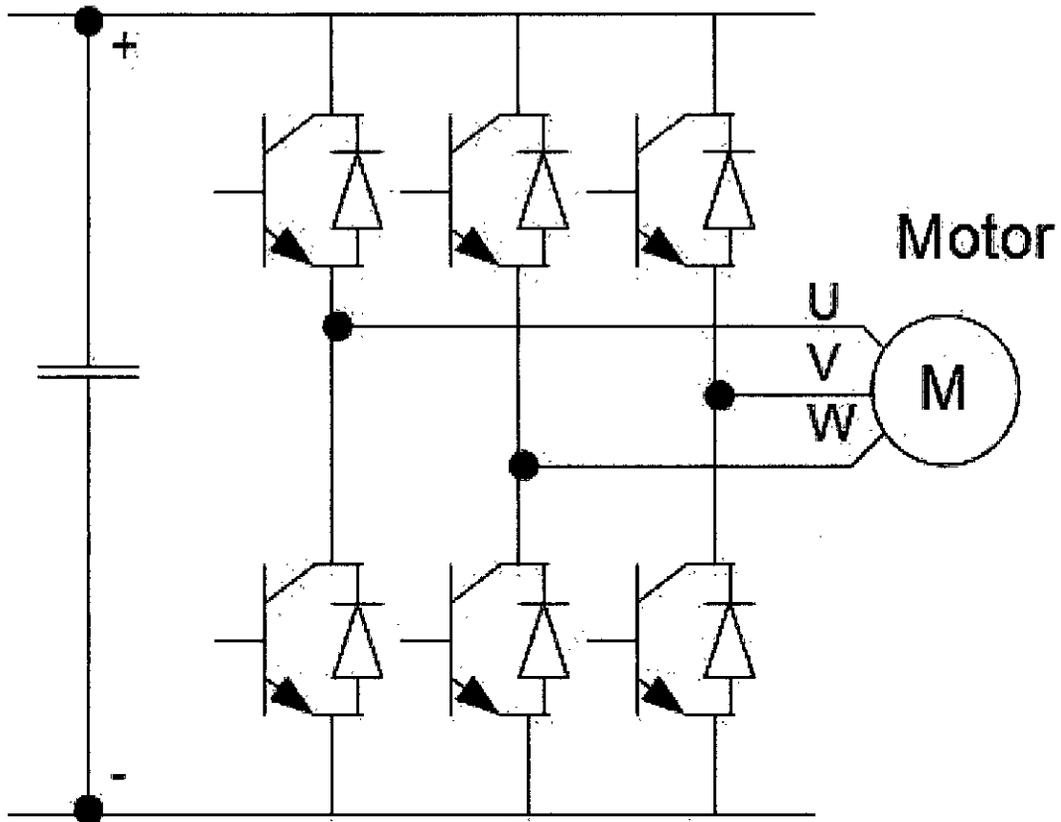
CONVERTIDOR DE FRECUENCIA – ESQUEMA BASICO 3



Fuente: SEW Eurodrive

FIGURA N° 21

ETAPA INVERSORA DE POTENCIA

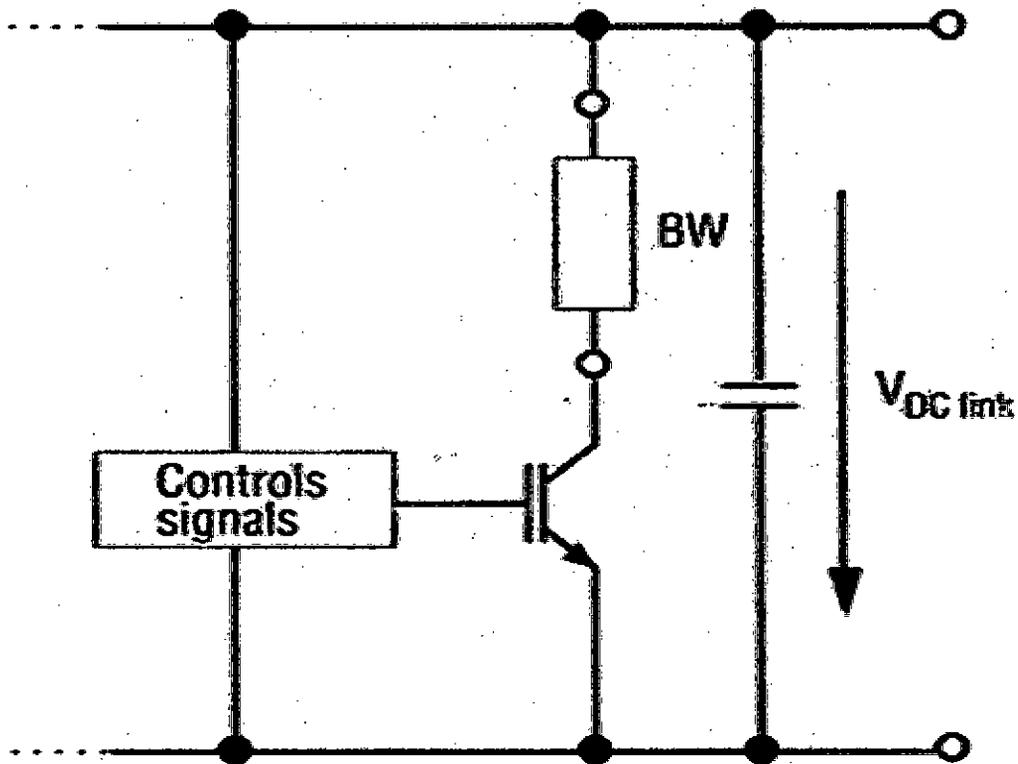


Fuente: SEW Eurodrive

La etapa inversora de potencia se alimenta de la etapa de enlace Vdc. Los transistores de potencia son conmutados por un circuito de disparo, de modo que un pulso de voltaje modulado está presente en los bornes de salida al motor. Un diodo Free-Wheeling es conectado en paralelo a cada transistor de potencia, para prevenir voltajes inducidos.

FIGURA N° 22

RESISTENCIA DE FRENADO Y FRENO CHOPPER



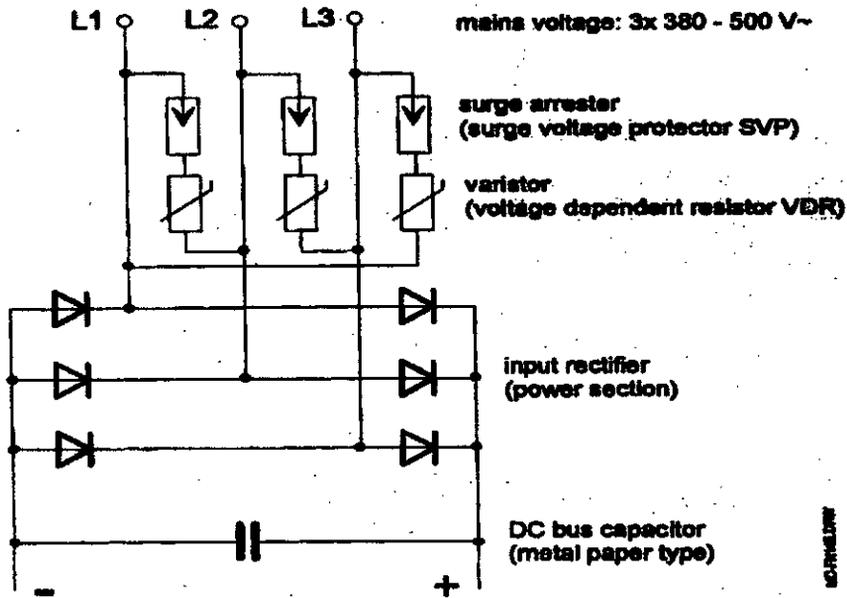
Fuente: SEW Eurodrive

Cuando se produce el frenado o una corriente regenerativa, la energía producida no retorna a la fuente de alimentación, esta es convertida en calor por la resistencia de frenado.

El chopper de frenado es un conmutador eléctrico que conecta la tensión de bus de CC a una resistencia en la que la energía de frenado se transforma en calor. Los choppers de frenado se activan automáticamente cuando la tensión de bus de CC actual supera un nivel determinado según la tensión nominal del inversor.

FIGURA N° 23

PROTECCIÓN CONTRA SOBRE VOLTAJES



Fuente: SEW Eurodrive

**Técnica PWM** (modulación por Ancho de Pulsos)

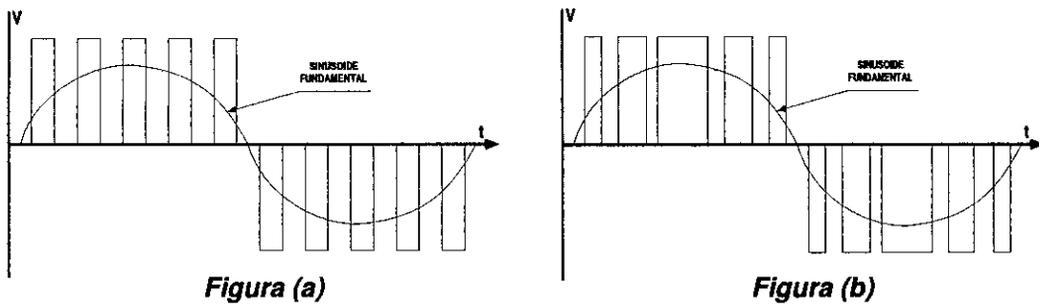
Con este método los transistores de potencia son conmutados varias veces de modo que el valor medio de la tensión de salida constante sea variado.

\* Figura 24-a Como se muestra en la forma de onda, los transistores del circuito inversor son conmutados, de tal manera que producen pulsos de igual ancho.

\* Figura 24-b Una mejora en la forma de onda, en función de la disminución de la cantidad de armónicos, puede ser obtenida variando los periodos de conmutación.

FIGURA N° 24

TÉCNICA PWM

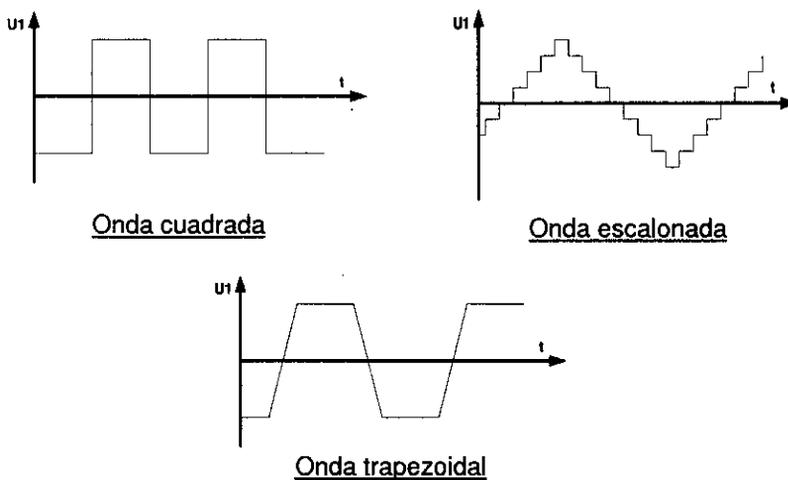


Fuente: SEW Eurodrive

Esta forma de control es conocida como MODULACION POR ANCHO DE PULSOS (PWM), que posee armónicas de orden mucho menor que otras formas de onda pulsantes, tales como: formas de onda cuadrada, onda trapezoidal, onda escalonada.

FIGURA 24

OTRAS FORMAS DE ONDA

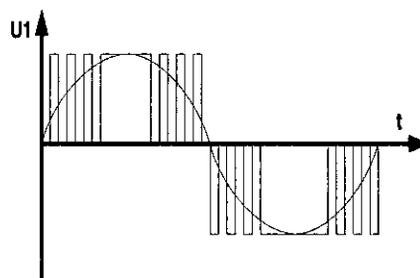


Fuente: SEW Eurodrive

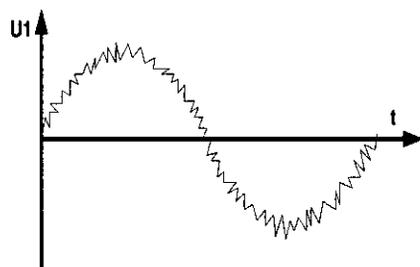
Esta técnica de PWM asegura una rotación regular y uniforme de los motores de inducción, inclusive a bajas velocidades, debido a que se genera una forma de onda de corriente muy semejante a la sinusoidal.

FIGURA N° 26

FORMAS DE ONDA SEMEJANTES A LA ONDA SENOIDAL



Onda senoidal PWM



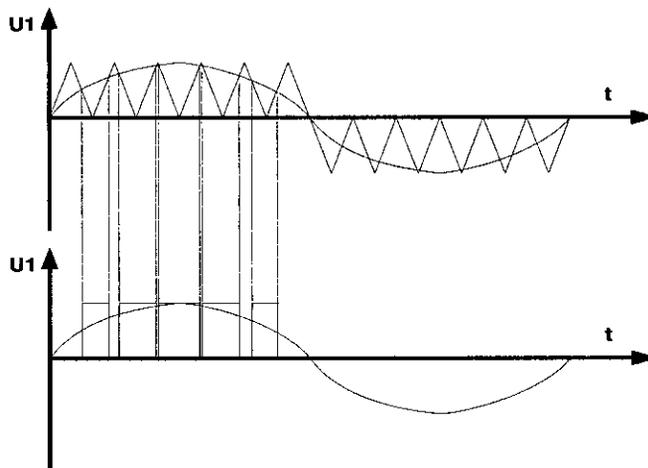
Onda de corriente del motor

Fuente: SEW Eurodrive

Para determinar los puntos de disparo de los transistores de potencia, y sintetizar correctamente la modulación del ancho de los pulsos, la electrónica interna del convertidor de frecuencia genera una onda sinusoidal de referencia, y a través del circuito de control, compara esta onda de referencia con una forma de onda triangular, como la figura 27.

FIGURA N° 27

ONDA DE FORMA TRIANGULAR



Fuente: SEW Eurodrive

### **g) Modos de operación del convertidor de frecuencia para motores asíncronos jaula de ardilla y para servomotores**

#### **VFC (Voltage Flux Control)**

- Su modo de operación básico.
- Utiliza el Control de Flujo de Voltaje, también conocido como sensorless vector control.
- En este modo de operación el convertidor de frecuencia utiliza el modelo del motor para crear un voltaje de fase uniforme, que es dinámicamente ajustado, para brindar una regulación de velocidad más firme y robusta que la tecnología standard V/f (voltaje/frecuencia).

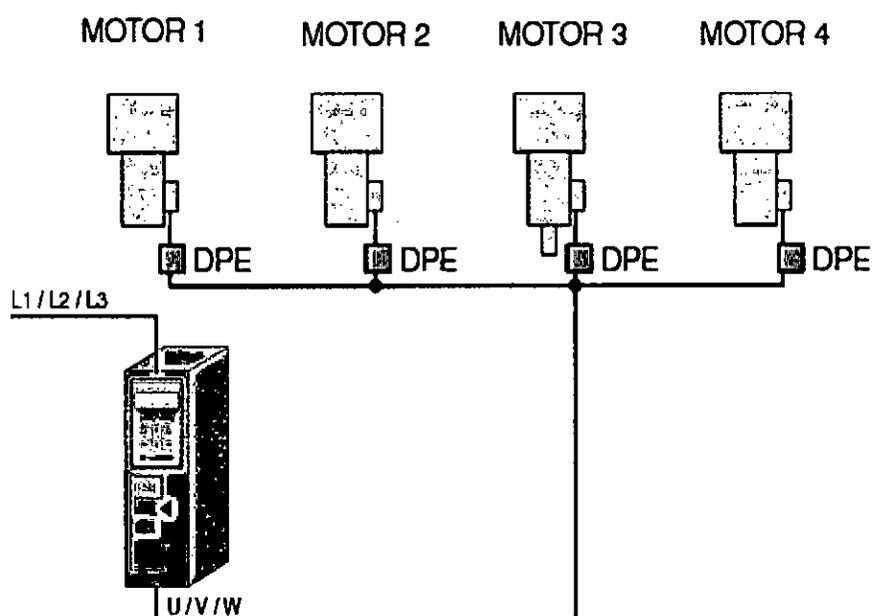
- Se usa para aplicaciones generales como: fajas transportadoras, elevadores, bombas y ventiladores.

### VFC & GROUP

- Se selecciona este modo de operación si un grupo de motores asíncronos serán controlados por un mismo convertidor.
- Todos los motores del grupo deben tener la misma frecuencia nominal y voltaje.
- La configuración de los parámetros del convertidor se realizan en base al motor de mayor potencia.
- Cada motor deberá tener independientemente su propio dispositivo de protección eléctrica (ejemplo: guardamotor).

FIGURA N° 28

VARIOS MOTORES GOBERNADOS POR UN CONVERTIDOR



Fuente: SEW Eurodrive

## **VFC & HOIST**

- Operación con un **Sistema Grúa** que posea carga no balanceada.

## **VFC & DC BRAKING**

- La función de **Freno DC** permite frenar al motor mediante la inyección de corriente continua.

## **VFC & FLYING START**

- Hace posible habilitar sincronizadamente al convertidor de frecuencia con un motor que se encuentra girando inercialmente.
- El tiempo máximo de ésta función es de 200 milisegundos
- No se aplica a Maquinas que requieran alto torque de arranque

## **VFC - n – CTRL**

- Permite tener una operación controlada de la velocidad con un encoder incremental montado en el eje del motor.
- Con esta función se puede incrementar la exactitud en el control estático y dinámico de la velocidad del motor.
- Con este modo de operación se habilita el Sistema de Control de Posicionamiento utilizando el Software SEW EURODRIVE: IPOS o los módulos adicionales.
- También se puede habilitar la operación Sincrónica entre dos o más motores. Utilizando el Sistema Maestro – Esclavo.

## **VFC - n - CTRL & GROUP**

Permite controlar dos o más motores con una **SINCRONIZACION ANGULAR** o con una **RELACION PROPORCIONAL** definida para



### **VFC – n – CTRL & SYNC**

- Permite la operación de un grupo de motores desde un solo convertidor de frecuencia, pero teniendo un control estático y dinámico de la velocidad.
- Todos los motores en el grupo deben tener igual voltaje nominal, frecuencia nominal y potencia nominal.
- Uno de los motores del grupo estará equipado con un encoder incremental. Los otros motores seguirán al motor que tiene encoder. La precisión en el “seguimiento” dependerá del deslizamiento propio de cada motor.

### **VFC – n – CTRL & IPOS**

- En este modo de operación se habilita la ejecución de los comandos del software IPOS para el Control de Posicionamiento.
- IPOS es un Sistema de Control de Secuencia y Posicionamiento integrado. Con IPOS funciones de control y tareas de posicionamiento pueden ser ejecutadas simultánea o independientemente.

### **CFC (Current Flux Control)**

- Usa un modelo de motor sofisticado para crear voltajes de fases independientes. Esta tecnología permite tener control de torque y una excelente regulación de velocidad.
- En modo CFC se hace posible operar un motor asíncrono con propiedades de servomotor, es decir por ejemplo con propiedades

de asumir altas cargas dinámicas.

- CFC habilita un control directo sobre el flujo magnético del motor, por consiguiente habilita un control directo sobre el torque.

### **CFC & M-CONTROL**

- Este modo de operación permite que el torque de un motor asíncrono sea controlado directamente.
- Los valores de setpoint se prefijan como parámetro principal de torque.
- El control de torque en el motor también se puede realizar mediante una señal de entrada analógica.

### **CFC & IPOS**

- Habilita la ejecución de los comandos del IPOS para el control de posicionamiento con la capacidad de realizar control de torque con altas cargas dinámicas.

### **CFC & SYNC**

- Con este modo de operación, un grupo de motores asíncronos podrán tener un CONTROL SINCRONICO ANGULAR, capacitado para accionar altas cargas dinámicas.
- Este modo de operación habilita el Sistema de Control Maestro – Esclavo, para conseguir la sincronización angular, mediante módulos de expansión.

### **SERVO**

- En este modo de operación se habilitan las funciones para controlar

un servomotor síncrono de imanes permanentes.

### **SERVO & M-CONTROL**

- Este modo de operación se puede controlar el torque del Servomotor directamente.

### **SERVO & IPOS**

- Este modo de operación se habilitan los comandos de posicionamiento en IPOS para servomotores.

### **SERVO & SYNC**

- Este modo de operación se habilitan las funciones para controlar un grupo de servomotores con el Sistema de Sincronización Angular.

## **Funcionabilidad del Convertidor de Frecuencia SEW EURODRIVE**

### **Función MX\_SHELL**

Con el MX-Shell se puede configurar el convertidor de frecuencia desde una PC de forma fácil y sencilla.

- Fácil puesta en marcha
- Diagnóstico extensivo
- Documentación

### **Función MX\_SCOPE**

Visualización de datos de proceso

- Visualización

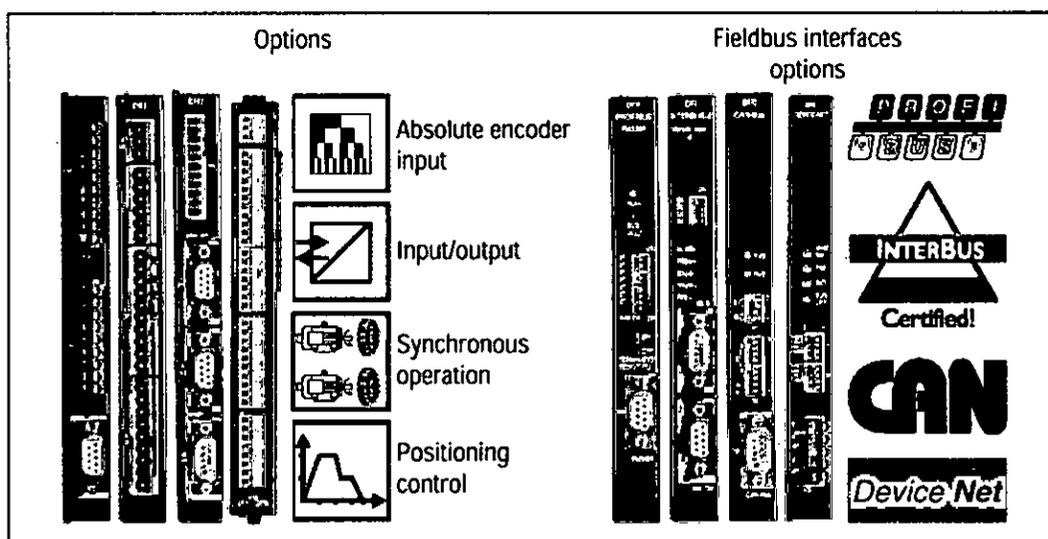
- Optimización
- Diagnóstico
- Documentación

El MX\_Scope es un software que hace las veces de un osciloscopio digital y de un analizador de red.

### Interfaces de comunicación y opciones

Los convertidores de frecuencia SEW EURODRIVE se enlazan en cualquier protocolo de comunicación de datos.

FIGURA N° 30  
INTERFACES DE COMUNICACIÓN



Fuente: SEW Eurodrive

## **Instalación y conexionado**

### **a) Conexión de Potencia**

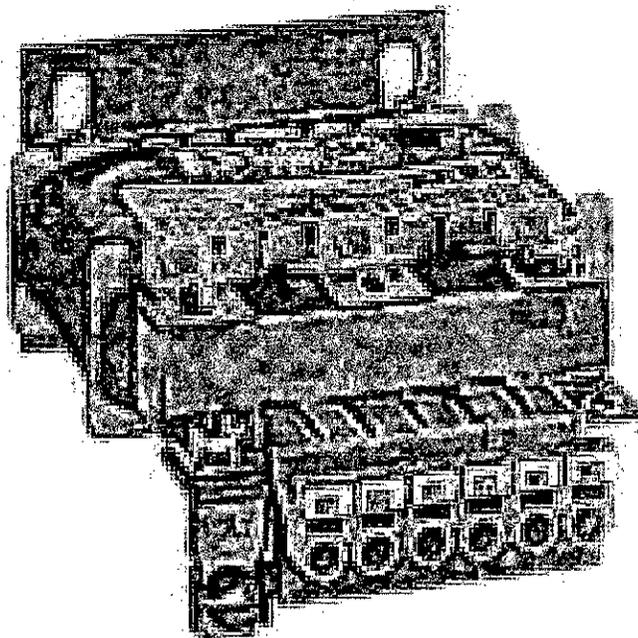
Para los motores eléctricos que llevan un freno, la tensión de alimentación del freno debe ser independiente a la del convertidor de frecuencia.

### **Accesorios necesarios para proteger y a la vez garantizar el buen funcionamiento del Convertidor de Frecuencia**

1. Reactancia de Línea o bobina de choque: protección contra las variaciones de voltaje y filtra los armónicos.

FIGURA N° 31

REACTANCIA DE LINEA

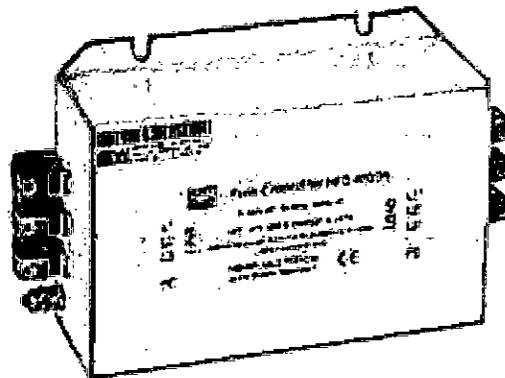


Fuente: SEW Eurodrive

2. Filtros de red: para suprimir la emisión de interferencias en la parte de la red de convertidores.

FIGURA N° 32

FILTRO DE RED

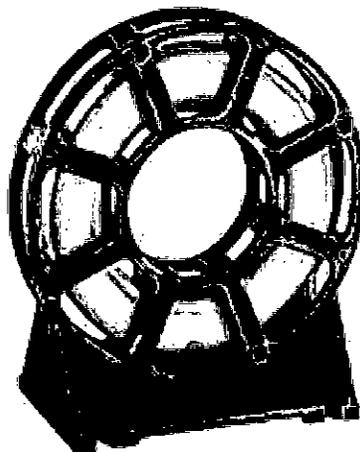


Fuente: SEW Eurodrive

3. Bobina de salida: para reducir las interferencias emitidas por el cable del motor no apantallado.

FIGURA N° 33

BOBINA DE SALIDA

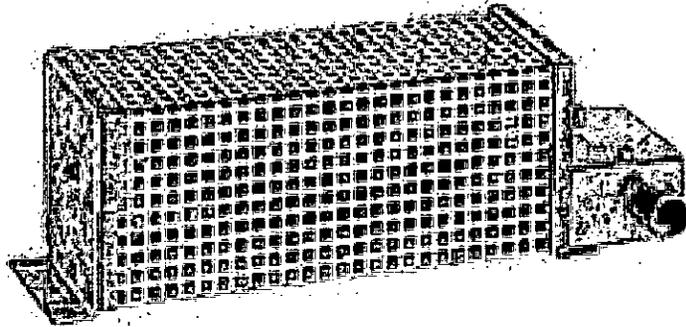


Fuente: SEW Eurodrive

4. Resistencia de Frenado: cuando existen corrientes regenerativas, éstas se disipan en forma de calor.

FIGURA N° 34

RESISTENCIA DE FRENADO

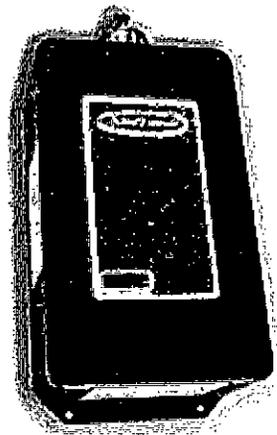


Fuente: SEW Eurodrive

5. Supresor de picos transitorios: para proteger contra las sobretensiones transitorias originadas básicamente por motores eléctricos grandes o rayos.

FIGURA N° 35

SUPRESOR DE PICOS

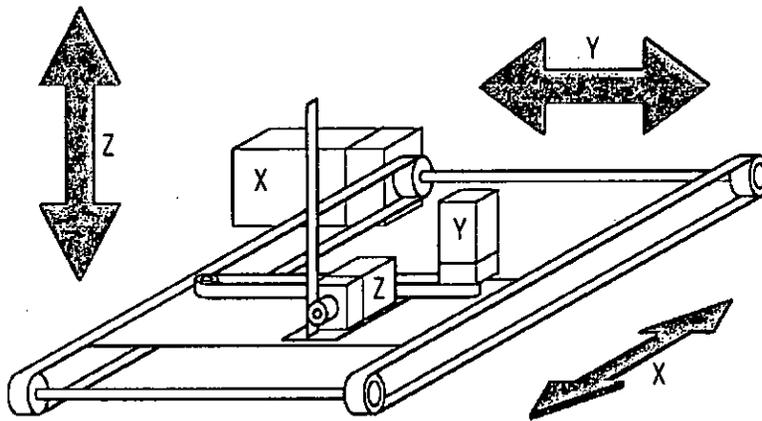


Fuente: SEW Eurodrive

## Ejemplo de cálculo de un servoreductor para el movimiento horizontal

FIGURA N° 36

TRANSPORTADOR HORIZONTAL (Esquema)



Fuente: SEW Eurodrive

### 1) Recolección de datos de la aplicación:

- Masa de la carga
- Diámetros de poleas
- Productos por unidad de tiempo
- Espacio a recorrer
- Fuerzas de rozamiento o coeficiente de rozamiento
- Tiempo activo / reposo
- Perfil de velocidades
- Velocidades lineales
- Aceleración o tiempo de aceleración

### 2) Cálculo de espacios y tiempos para completar gráfico $V = f(t)$

- 3) Cálculo de velocidad de salida [rpm], reducción teórica (Definir tipo de Reductor)
  - 4) Cálculo de torques necesarios a la salida del reductor: estático, aceleración y desaceleración
  - 5) Cálculo de torques para cada parte del perfil de velocidades
  - 6) Selecciono tamaño del reductor teniendo en cuenta el  $M_{m\acute{a}x}$ ,  $i_{real}$  y  $V_{tg_{m\acute{a}x}}$  del piñón de entrada.
  - 7) Cálculo de los torques necesarios para mover la carga, reflejados hacia el motor.
  - 8) Cálculo de los torques dinámicos adicionales debidos al reductor, reflejados hacia el motor.
  - 9) Cálculo del momento de inercia (J) de la carga reflejada al motor, relación  $J_{ext} / J_{mot}$ , elección del motor.
  - 10) Cálculo de los torques dinámicos adicionales debidos al motor.
  - 11) Cálculo de sumatoria de los torques para cada parte del perfil de velocidades.
  - 12) Cálculo de Torques:
    - Térmico: Torque rms y Velocidad media.
    - Dinámico: Torque peak y Velocidad máxima.
- Selección del servomotor en forma gráfica considerando los 2 límites anteriores.
- 13) Selección del servo-controlador.
  - 14) Cálculo de potencia regenerativa y selección de resistencia de frenado.

15) Cálculo de exactitud de posicionamiento.

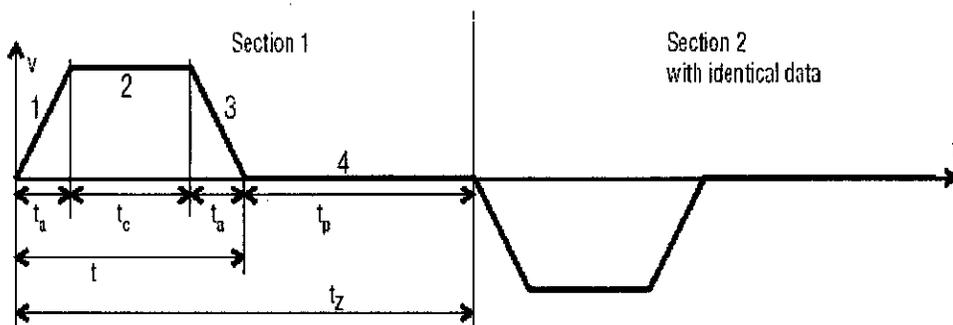
**Desarrollo**

**1) Recolección de datos de la aplicación: Traslación "X"**

- Masa de la carga:  $m_L = 132 \text{ Kg}$
- Diámetro de polea:  $D = 175 \text{ mm}$
- Coeficiente de rozamiento:  $\mu = 0,1$
- Golpes por minuto:  $46 \text{ ciclos/min}$
- Tiempo total del ciclo:  $t_z = 1,3 \text{ seg.}$
- Rendimiento de la carga:  $\eta_L = 0,90$
- Espacio a recorrer:  $S = 1 \text{ m}$
- Perfil de velocidades:

FIGURA N° 37

PERFIL DE VELOCIDADES



Fuente: SEW Eurodrive

Estimación de datos de la aplicación: Traslación "X"

- Se debe conocer el tiempo de movimiento del servo ( $t$ ) respecto del tiempo total ( $t_z$ )

- De allí se obtiene el tiempo de reposo ( $t_p$ )

$$t_p = \frac{t_z}{2} = 0,65 \text{ seg}$$

- Existen varios criterios para definir el tiempo aceleración ( $t_a$ )

$$t_a = \frac{t_p}{2,6} = 0,25 \text{ seg}$$

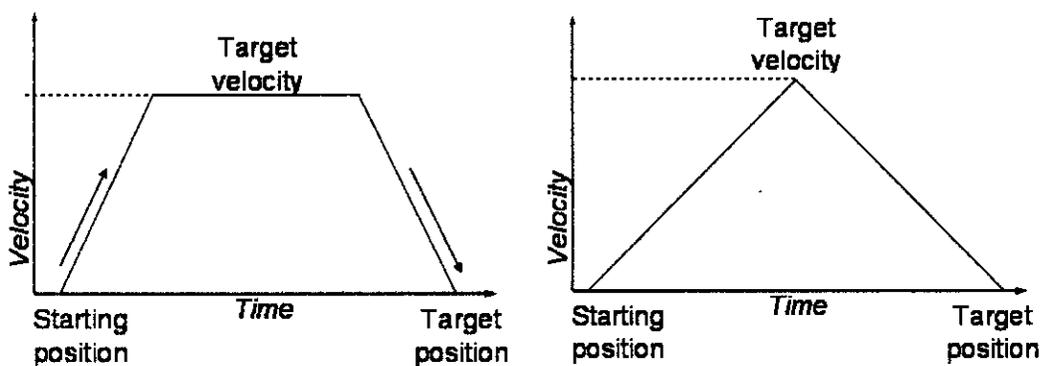
- De la misma manera para el dato de aceleración máxima ( $a_{max}$ )

$$a_{max} \Rightarrow 10 \text{ m/s}^2$$

- Sabiendo que el Límite es:  $5 \text{ m/s}^2$

FIGURA N° 38

GRAFICAS VELOCIDAD vs TIEMPO

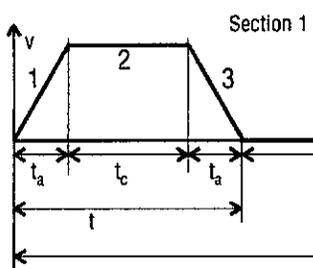


Fuente: SEW Eurodrive

## 2) Cálculo de espacios y tiempos para completar gráfico $V = f(t)$

FIGURA N° 39

VELOCIDAD vs TIEMPO



$$V_{max} = \frac{a_{max}}{t_a} = \frac{10m/s^2}{0,25/s} = 2,5 \text{ m/seg}$$

$$S_a = \frac{1}{2} a_{max} t_a^2 = \frac{1}{2} 10m/s^2 (0,25s)^2 = 0,3125 \text{ m}$$

$$S_c = S - 2 \cdot S_a = 1 - 2 \times 0,3125 = 0,375 \text{ m}$$

Fuente: SEW Eurodrive

$$t_c = \frac{S_c}{V_{max}} = 0,15 \text{ seg}$$

## 3) Cálculo de velocidad de salida (RPM), reducción teórica

$$n = \frac{V_{max}}{\pi \cdot D} = \frac{2,5m/s}{\pi \cdot 0,175m} = 4,547 \frac{1}{s} = 272,8 \text{ rpm}$$

Tomamos un 10% de reserva de velocidad

$$i_{teórica} = \frac{2700rpm}{272,8rpm} = 9,9$$

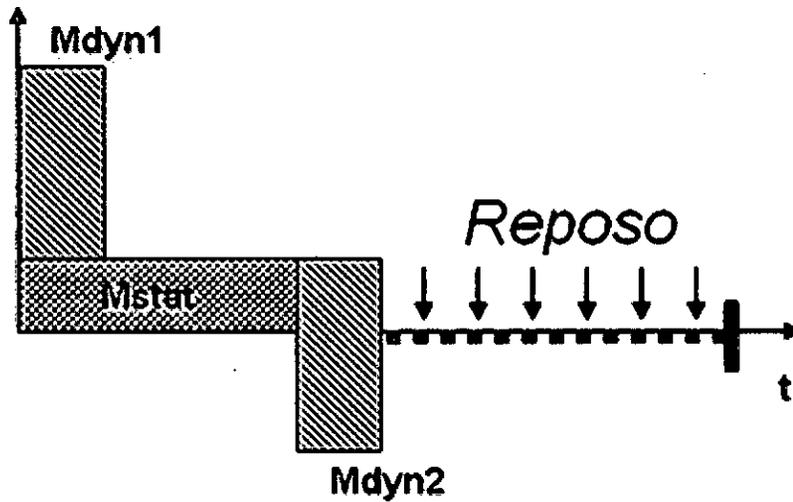
## 4) Cálculo de torques necesarios a la salida de la caja: estático, aceleración y desaceleración

$$M_{dyn1} = F \cdot d = m_L \cdot a_{max} \cdot \frac{1}{n_L} \cdot \frac{D}{2} = 132 \text{ kg} \cdot \frac{10m}{s^2} \cdot \frac{1}{0,9} \cdot \frac{0,175m}{2} = 128,33 \text{ Nm}$$

$$M_{stat} = m_L \cdot g \cdot u_L \cdot \frac{1}{n_L} \cdot \frac{D}{2} = 132 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,1 \cdot \frac{1}{0,9} \cdot \frac{0,175m}{2} = 12,59 \text{ Nm}$$

$$M_{dyn2} = m_L \cdot (-a_{max}) \cdot n_L \cdot \frac{D}{2} = 132 \text{ kg} \cdot (-10m/s^2) \cdot 0,9 \cdot \frac{0,175m}{2} = -103,95 \text{ Nm}$$

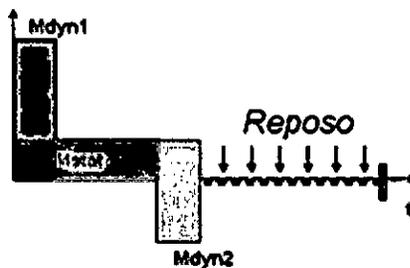
FIGURA N° 40  
TORQUE VS TIEMPO



Fuente: SEW Eurodrive

5) Cálculo de torques para cada parte del perfil de velocidades

FIGURA N° 41  
TORQUE VS TIEMPO



*Aceleración*  $M_1 = M_{stat} + M_{dyn1} = 12,59 Nm + 128,33 Nm = 140,92 Nm$

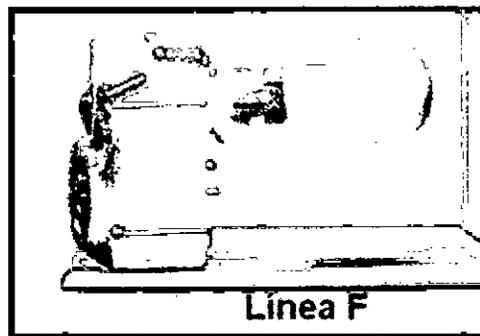
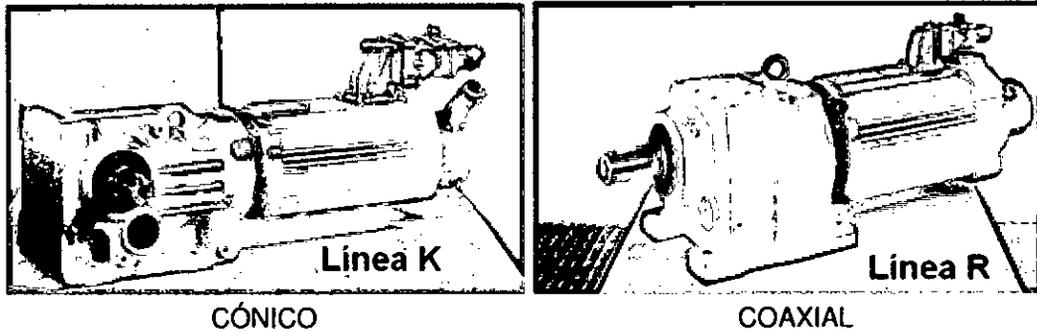
*Movimiento Uniforme*  $M_2 = M_{stat} = 12,59 Nm$

*Desaceleración*  $M_3 = M_{stat} + M_{dyn2} = -91,36 Nm$

→ Elección del tipo de Reductor (recordar  $M_{m\acute{a}x} = M_1 = 140,92 \text{ Nm}$ )

FIGURA N° 42

TIPOS DE SERVOREDUCTORES



EJES PARALELOS

Fuente: SEW Eurodrive

Selecciono tipo de reductor por ejemplo K (de engranajes cónicos), con un  $M_{a \text{ max}}$  mayor al mayor de todos los calculados: en éste caso  $> M_{m\acute{a}x} = M_1 = 140,92 \text{ Nm}$

6) Selecciono el tamaño del reductor teniendo en cuenta el  $M_{m\acute{a}x}$ ,  
i real y  $V_{tg \text{ m\acute{a}x}}$  del piñón de entrada

Eligimos K47 con :  $i = 9,10$  ;  $M_{a \text{ m\acute{a}x}} = 280 \text{ Nm}$  ;  $J_G = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Kg m}^2$  ;  
 $n_G = 96\%$  (-2% por etapa)

Verifico  $Vtg_{m\acute{a}x} < 12 \frac{m}{seg}$  del piñon de entrada :  $Diametro = 37 mm$

$$n^* = n \cdot i = 272,8 rpm \cdot 9,1 = 2482 rpm$$

$$Vtg_{m\acute{a}x} = D \cdot \pi \cdot n^* = 0,037m \cdot 3,14 \cdot 2482 rpm \cdot \frac{1min}{60seg} = 4,81 \frac{m}{seg}$$

Nota: Importante realizar esta verificación para servomotores de 4500 rpm, y velocidades superiores.

### 7) Cálculo de los torques necesarios para mover la carga, reflejados hacia el motor (\*)

$$M1^* = M1 \cdot \frac{1}{n_{G,i}} = 140,92 Nm \frac{1}{0,96 \cdot 9,1} = 16,47 Nm \text{ ver nota 1}$$

$$M2^* = M2 \cdot \frac{1}{n_{G,i}} = 12,59 Nm \frac{1}{0,96 \cdot 9,1} = 1,47 Nm$$

$$M3^* = M2 \cdot n_G \cdot \frac{1}{i} = -91,36 Nm \cdot 0,96 \cdot \frac{1}{9,1} = Nm = -9,44 Nm$$

### 8) Cálculo de los torques dinámicos adicionales debidos al reductor, reflejados hacia el motor (\*)

No hay  $M2G^*$  dado que en esa fase no hay cambios en la velocidad.

$$M1G^* = \frac{J_G \cdot 2\pi \cdot n^*}{60 \frac{s}{min} \cdot ta \cdot n_G} = \frac{1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 2\pi \cdot 9,1 \cdot 272,8 rpm}{60 \frac{s}{min} \cdot 0,25 seg \cdot 0,96} = 0,18 Nm$$

$$M3G^* = \frac{J_G \cdot 2\pi \cdot n^* \cdot n_G}{60 \frac{s}{min} \cdot ta} = \frac{1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 2\pi \cdot 9,1 \cdot 272,8 rpm \cdot 0,96}{60 \frac{s}{min} \cdot 0,25 seg} = -0,16 Nm$$

$$M_{m\acute{a}x}^* \geq M1^* + M1G^* \geq 16,65 Nm$$

Considero inicialmente un servomotor con un Torque máximo mayor que 16,65 Nm.

**9) Cálculo del momento de inercia (J) de la carga reflejada al motor, relación  $J_{ext} / J_{mot}$ , elección del motor (\*)**

$$J_{ext}^* = m_L \left( \frac{60 \frac{s}{min}}{2\pi} \right)^2 \cdot \left( \frac{V_{m\acute{a}x}}{n^*} \right)^2 = 132Kg \cdot 91,2 \cdot \left( \frac{2,5 m/s}{2482rpm} \right)^2 = 122 \cdot 10^{-4} Kg m^2$$

Criterio para elección de la relación de J más adecuada

TABLA N° 1

RELACIÓN DE MOMENTOS DE INERCIA

Drive train	Controller feature	Inertia ratio $J_{load} / J_{mot}$
Forged gear rack, low backlash gear unit	Low backlash and low elasticity drive	$J_{load} / J_{mot} < 20$
Toothed belt, reduced backlash gear unit	Common servo applications	$J_{load} / J_{mot} < 15$
Toothed belt, standard gear unit	Standard applications, couplings with torque buffer (→ elasticity)	$J_{load} / J_{mot} < 10$

Fuente: SEW Eurodrive

Elegimos una relación  $J_{ext}^*/J_{mot} < 10$  para motorreductor estándar

Seleccionar el Servomotor teniendo en cuenta:

- $J_{mot}$   $J_{ext}^* = \frac{J_{ext}}{i^2}$
- Torque máximo de 16,65 Nm

Por ejemplo: Si elijo un servomotor CFM90S sin freno:

$$J_{mot} = 17,4 \cdot 10^{-4} Kg m^2 \qquad \frac{J_{ext}^*}{J_{mot}} = \frac{122 \cdot 10^{-4} Kg m^2}{17,4 \cdot 10^{-4} Kg m^2} = 7,01 < 10$$

Además el CFM90S cumple con tener un torque máximo mayor a 16,65Nm.

$M_{\text{máx CFM90S}} = 21,2 \text{ Nm}$  a  $39,2 \text{ Nm}$  dependiendo del controlador.

### 10) Cálculo de los torques dinámicos adicionales debidos al motor

$$M_{\text{dyn1m}^*} = \frac{J_{\text{mot.}2\pi.n^*}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \cdot t_a} = \frac{17,4 \cdot 10^{-4} \text{Kgm}^2 \cdot 2\pi \cdot 2482 \text{rpm}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \cdot 0,25 \text{seg}} = 1,81 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{dyn3m}^*} = \frac{J_{\text{mot.}2\pi.n^*}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \cdot t_a} = \frac{17,4 \cdot 10^{-4} \text{Kgm}^2 \cdot 2\pi \cdot 2482 \text{rpm}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \cdot 0,25 \text{seg}} = -1,81 \text{ Nm}$$

### 11) Cálculo de sumatoria de los torques para cada parte del perfil de velocidades

$$\begin{aligned} \text{Aceleración } M_{1\text{mot}^*} &= M_{\text{dyn1m}^*} + M1^* + M1G^* \\ &= 1,81 \text{ Nm} + 16,47 \text{ Nm} + 0,18 \text{ Nm} = 18,46 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\text{Mov. Uniforme } M_{2\text{mot}^*} = M2^* = 1,47 \text{ Nm}$$

$$\begin{aligned} \text{Desaceleración } M_{3\text{mot}^*} &= M_{\text{dyn3m}^*} + M3^* + M3G^* \\ &= -1,81 \text{ Nm} - 9,44 \text{ Nm} - 0,16 \text{ Nm} = -11,41 \text{ Nm} \end{aligned}$$

### 12) Cálculo térmico: Torque rms ( $M_{\text{rms}}$ ) y Velocidad media ( $n$ )

$$\begin{aligned} M_{\text{rms}} &= \sqrt{\frac{M_{1\text{mot}^*}^2 \cdot t_a + M_{2\text{mot}^*}^2 \cdot t_c + M_{3\text{mot}^*}^2 \cdot t_a + 0 \cdot t_p}{t_a + t_c + t_a + t_p}} = \\ &= \sqrt{\frac{18,46 \text{ Nm}^2 \cdot 0,25 \text{seg} + 1,47 \text{ Nm}^2 \cdot 0,15 \text{seg} + (-11,41 \text{ Nm})^2 \cdot 0,25 \text{seg} + 0 \text{ Nm}^2 \cdot 0,65 \text{seg}}{0,25 \text{seg} + 0,15 \text{seg} + 0,25 \text{seg} + 0,65 \text{seg}}} \\ &= 9,53 \text{ Nm} \end{aligned}$$

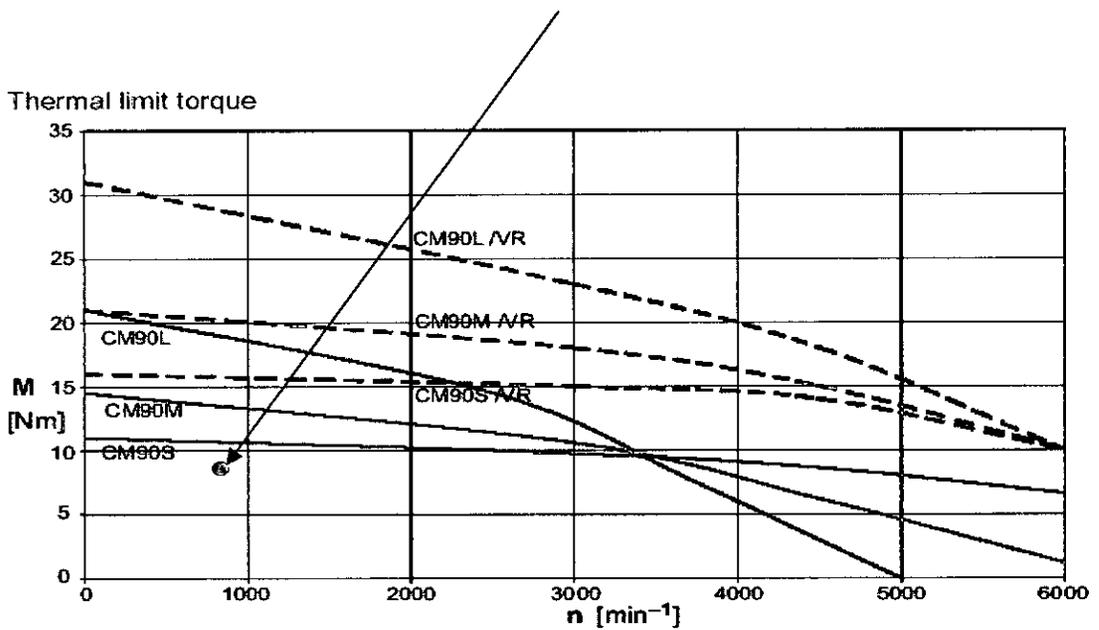
$$n = \frac{\frac{1}{2} n^* \cdot t_a + n^* \cdot t_c + \frac{1}{2} n^* \cdot t_a + 0 \cdot t_p}{t_a + t_c + t_a + t_p} = \frac{n^* \cdot (t_a + t_c)}{t_z} =$$

$$\frac{2482rpm \cdot (0,25seg + 0,15seg)}{1,3seg} = 764 rpm$$

Con éstas coordenadas (9,53 Nm; 764 RPM) ingreso al grafico de límite térmico del torque correspondiente al servomotor.

### GRAFICA N° 3

#### TORQUE RMS - VELOCIDAD MEDIA



Fuente: SEW Eurodrive

Verificamos entonces que el servomotor elegido CM90S (curva azul) cumple con el torque eficaz requerido por la aplicación.

#### Cálculo dinámico: Torque pico y Velocidad máxima

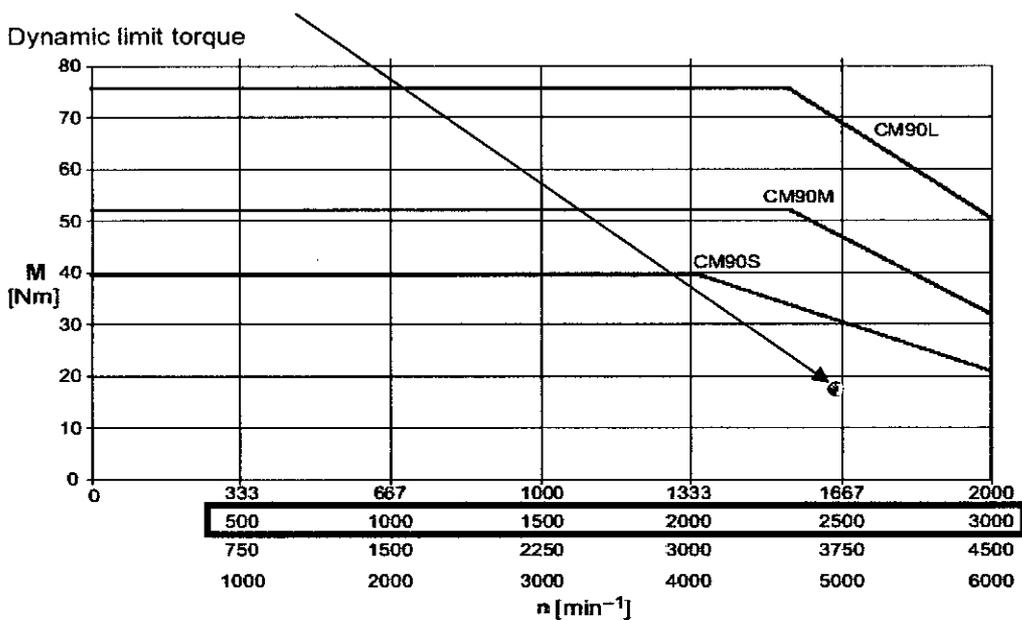
Recordemos: Torque máximo:  $M_{1mot^*} = 18,46 \text{ Nm}$

Velocidad máxima:  $n^* = 2482 \text{ rpm}$

Con estas coordenadas ingreso en el gráfico de límite dinámico del torque correspondiente al servomotor (3000 rpm):

### GRAFICA N° 4

#### TORQUE PICO - VELOCIDAD MAXIMA



Fuente: SEW Eurodrive

El servomotor elegido CM90S cumple con el torque máximo requerido por la aplicación.

Hasta ahora hemos seleccionado el reductor y el servomotor:

**K47:  $i = 9.1$  - CM90S/TF/RH1M/KK: 3000 rpm**

### 13) Selección del controlador MOVIDRIVE

Teniendo en cuenta el torque máximo solicitado por la aplicación ( $M_{1\text{mot}^*} = 18,46 \text{ Nm}$ ) buscamos en la siguiente tabla:

TABLA N° 2  
TORQUE MAXIMO DEL SERVO DEPENDIENDO  
DEL CONVERTIDOR QUE LO GOBIERNE

2. Nominal speed  $n_N = 3000 \text{ rpm}$ :

Motor		MOVIDRIVE® MDX61B...-6_3 (AC 400/500 V units) in the SERVO operating modes (P=50)								
		0005	0008	0011	0014	0015	0022	0030	0040	0055
CM90S	$M_{\text{max}}$				12.0	9.0	12.4	15.7	21.2	27.4
	Nm (lb in)				(106)	(80)	(110)	(139)	(188)	(243)
CM90M	$M_{\text{max}}$						11.8	15.0	20.4	26.6
	Nm (lb in)						(104)	(133)	(181)	(235)
CM90L	$M_{\text{max}}$								20.7	27.3
	Nm (lb in)								(183)	(242)
CM112S	$M_{\text{max}}$								22.2	29.3
	Nm (lb in)								(196)	(259)
CM112M	$M_{\text{max}}$									28.2
	Nm (lb in)									(250)

Fuente: SEW Eurodrive

El controlador MOVIDRIVE seleccionado es el MDX61A0040-5A3-4-00 el cual proporciona la corriente necesaria para alcanzar un torque máximo de 21,2 Nm para el caso de un servomotor CM90S de 3000 rpm.

#### 14) Cálculo de potencia regenerativa ( $p_B$ ) y selección de resistencia de frenado

Cálculo del factor de duración del ciclo **cdf** (cyclic duration factor):

- Corresponde a la parte del tiempo del ciclo en que se produce la regeneración, en éste caso el cdf sería la relación entre el tiempo que dura la desaceleración con respecto al tiempo total del ciclo.

$$cdf = \frac{ta}{tz} = .100\% = 19.2\%$$

Cálculo de la Potencia regenerativa ( $p_B$ ):

$$p_B[kW] = n * .|M3mot*| \frac{2\pi}{60 \frac{s}{min} \cdot 1000} = \frac{n * .|M3mot*|}{9550} =$$
$$= \frac{2482rpm \cdot |-11,41Nm|}{9550} = 2,96 kW$$

Entonces con 19,2% y 2,96 kW ingresamos a la tabla y seleccionamos la resistencia de frenado BW168-T de 4,8 kW.

## TABLA N° 3

### FACTOR DE DURACIÓN DE CICLO Y POTENCIA REGENERATIVA

#### 6.1.4 Assignment to AC 400/500 V units (...-5\_3)

Braking resistor type BW...	BW090-P52B	BW100-005	BW100-006	BW072-003	BW072-005	<b>BW168</b>	BW268
Part number	824 563 0	826 269 1	821 701 7	826 058 3	826 060 5	820 604 X	820 715 1
Braking resistor type BW...-T			BW100-006-T			BW168-T	BW268-T
Part number			1820 419 8			1820 133 4	1820 417 1
Continuous braking power (= 100% cdf)	0.10 kW	0.45 kW	0.6 kW	0.23 kW	0.45 kW	0.8 kW	1.2 kW
Load capacity	0.15 kW	0.60 kW	1.1 kW	0.31 kW	0.60 kW	1.4 kW	2.2 kW
At 19,2 % cdf	0.2 kW	0.83 kW	1.9 kW	0.42 kW	0.83 kW	2.6 kW	3.8 kW
At 12% cdf	0.4 kW	1.11 kW	3.6 kW	0.58 kW	1.11 kW	4.8 kW	7.2 kW
At 6% cdf	0.7 kW	2.00 kW	5.7 kW	1.00 kW	2.00 kW	7.6 kW	11 kW
Observe the regenerative power limit of the inverter! (= 150% of the recommended motor power → technical data)							
Resistance value R <sub>GW</sub>	90 Ω ±35%	100 Ω ±10%		72 Ω ±10%		68 Ω ±10%	
Trip current (of F16) I <sub>F</sub>	-	0.8 A	2.4 A	0.6 A	1 A	3.4 A	4.2 A
Design	PTC	Flat-design	Wire resistor on ceramic core	Flat-design		Wire resistor on ceramic core	
Connections / Tightening torque	Cable	Cable	Ceramic terminals 2.5 mm <sup>2</sup> (AWG13) 0.5 Nm	Cable		Ceramic terminals 2.5 mm <sup>2</sup> (AWG13) 0.5 Nm	
Degree of protection	IP20	IP54	IP20 (when installed)	IP54		IP20 (when installed)	
Ambient temperature θ <sub>U</sub>	-20 ... +40 °C						
Type of cooling	KS = self-cooling						
For MOVDRIVE® (recommended)	0005 ... 0014	0005 ... 0022	0015 ... 0040	0005 ... 0014		0005 ... 0040	0015 ... 0040

1) cdf = Cyclic duration factor of the braking resistor in relation to a cycle duration T<sub>D</sub> ≤ 120 s.

Fuente: SEW Eurodrive

### 15) Cálculo de exactitud de posicionamiento

$$\Delta s = \Delta s_G + \Delta s_E + \Delta s_M$$

$\Delta s_G$  Holgura del reductores: (/R) reductores con holgura reducida; (STD)

reductores estándar (tomamos holgura de salida máximo)

$$\Delta s_G(R) = \frac{D \cdot \pi}{360^\circ} \cdot \varphi(R) = \frac{0,175m \cdot \pi}{360^\circ} \cdot \frac{11}{60/^\circ} = 0,28 \text{ mm} = \pm 0,14 \text{ mm}$$

$$\Delta s_G(R) = \frac{D \cdot \pi}{360^\circ} \cdot \varphi(R) = \frac{0,175m \cdot \pi}{360^\circ} \cdot \frac{23}{60/^\circ} = 0,58 \text{ mm} = \pm 0,29 \text{ mm}$$

$s_E$  : Error de encoder (IPOS)

$\Delta s_M$  : Holgura de componentes mecánicos

Tomamos  $\Delta s_M = 0$  por tratarse de un acoplamiento directo (direct drive) ya que suponemos que no hay transmisión de cadena o faja.

Cálculo  $\Delta s$  para reductor con holgura reducida:

$$\Delta s = \Delta s_G(R) + \Delta s_E + \Delta s_M = \pm 0,14mm \pm 0,015mm + 0 = \pm 0,155 mm$$

Calculo  $\Delta s$  para reductor estándar:

$$\Delta s = \Delta s_G(STD) + \Delta s_E + \Delta s_M = \pm 0,29mm \pm 0,015mm + 0 = \pm 0,305 mm$$

#### **4.6 FASES DEL PROYECTO**

Para desarrollar este proyecto se trabajó de acuerdo al siguiente Diagrama

Gantt:

TABLA N° 4

DIAGRAMA GANTT: ETAPAS DEL PROYECTO

Id	Nombre de Tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	<b>Etapa N°1: Recopilación de información</b>	3 días	15/02/2016	17/02/2016
2	* Ver funcionamiento del horno in situ	2 días	15/02/2016	16/02/2016
3	* Identificar parámetros necesarios para el control	1 día	17/02/2016	17/02/2016
4	<b>Etapa N°2: Análisis de la información obtenida</b>	6 días	22/02/2016	01/03/2016
5	* Cálculo para la selección de equipos	5 días	22/02/2016	26/02/2016
6	* Envío de Propuesta Técnica-Económica	1 día	01/03/2016	01/03/2016
7	<b>Etapa N°3: Sustentación de la propuesta</b>	3 días	12/04/2016	14/04/2016
8	* Sustentación de propuesta y responder consultas	3 días	12/04/2016	14/04/2016
9	<b>Etapa N°4: Respuesta del cliente</b>	2 días	16/06/2016	05/07/2016
10	* Aprueba propuesta	1 día	16/06/2016	16/06/2016
11	* Envía orden de compra	1 día	05/07/2016	05/07/2016
12	<b>Etapa N°5: Procesar pedido del cliente</b>	2 días	06/07/2016	07/07/2016
13	* Se ingresa el pedido al sistema SAP	1 día	06/07/2016	06/07/2016
14	* Se envía orden de compra a casa matriz Alemania	1 día	07/07/2016	07/07/2016
15	<b>Etapa N°6: Entrega de equipos al cliente</b>	1 día	25/08/2016	25/08/2016
16	* Entrega de equipos bajo la supervisión almacén	1 día	25/08/2016	25/08/2016
17	<b>Etapa N°7: Montaje y puesta en marcha</b>	4 días	27/09/2016	04/10/2016
18	* Supervisión del montaje de equipos	2 días	27/09/2016	28/09/2016
19	* Programación de convertidores y pta. en marcha	2 días	03/10/2016	04/10/2016
20	<b>Etapa N°8: Conformidad del proyecto</b>	2 días	05/10/2016	07/10/2016
21	* Mantenimiento y Proyectos dan conformidad	1 día	05/10/2016	05/10/2016

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6.1 Etapa N° 1: Recopilación de información.

Para realizar la recopilación de la información se realizaron los siguientes pasos:

##### \* Ver funcionamiento del horno in situ.

El horno tiene una capacidad de fundir 6 toneladas de chatarra y es alimentado a través de un transformador, que transforma 10000 voltios a

250 Voltios con 10000 amperios; luego cada electrodo es accionado por un motor de corriente continua con un reductor de engranajes cónicos, ambos mueven un winche que a la vez hace mover el portaelectrodo quien sujeta al electrodo.

Cada electrodo forma 1 fase, el arco eléctrico es formado por las 3 fases, es decir por los 3 electrodos que deben tener cierta distancia cada uno del "cerrito" de la chatarra, éstos deben moverse de manera vertical de abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo de manera permanente.

**\* Identificar los parámetros necesarios para el control**

El acercamiento o alejamiento del cerrito genera un aumento o disminución de la corriente, entonces el parámetro a controlar es la corriente, debe mantenerse en un rango de 8000 a 9000 amperios.

Otro parámetro muy importante es la corriente de consumo a plena carga que tienen los equipos originales, es 12 amperios trabajando con una alimentación de 440 voltios.

**4.6.2 Etapa N° 2: Análisis de la información obtenida.**

**\* Cálculo para la selección de equipos**

Se hacen los cálculos necesarios para seleccionar los equipos electromecánicos y electrónicos que se necesitarán para el buen funcionamiento de los electrodos. Luego los cálculos pasan revisión por el Gerente Técnico para su aprobación final.

**\* Envío de propuesta técnica – económica**

Se procede a realizar la propuesta y enviarla al cliente, luego se coordinará la fecha para la sustentación.

**4.6.3 Etapa N° 3: Sustentación de la propuesta.**

**\* Sustentación de la propuesta y respuestas a consultas**

Se reunió con los ingenieros de proyectos y mantenimiento de MEPSA y se procedió a sustentar la propuesta técnica – económica, durante la sustentación surgen preguntas como: ¿me aseguras que va a funcionar?, no se quemarán los servos?, ¿cada qué tiempo se debe cambiar el lubricante?, ¿cada qué tiempo se debe hacer mantenimiento preventivo?

**4.6.4 Etapa N° 4: Respuesta del cliente.**

- \* Los ingenieros de MEPSA responden aprobando la propuesta.
- \* El departamento de Logística envía una orden de compra.

**4.6.5 Etapa N° 5: Procesar pedido del cliente.**

- \* Internamente se procesa el pedido a través del sistema SAP.
- \* Enviamos una orden de compra a la casa matriz de SEW Eurodrive en Bruchsal – Alemania para la importación de los equipos. El tiempo de entrega ofrecido a MEPSA es de 6 a 7 semanas.

#### **4.6.6 Etapa N° 6: Entrega de equipos al cliente**

\* Se entregan los equipos a MEPSA bajo la supervisión del jefe de almacén.

#### **4.6.7 Etapa N° 7: Supervisión del montaje y puesta en marcha.**

Supervisamos el montaje de los equipos dando las recomendaciones necesarias para dar la aprobación que todo esté conforme.

Se procede a realizar la programación de los equipos electrónicos, luego se hacen las pruebas en vacío y después con carga.

#### **4.6.8 Etapa N° 8: Conformidad del proyecto.**

Los departamentos de proyectos y mantenimiento de MEPSA dan la conformidad del proyecto, luego lo llevan al área de Contabilidad y Finanzas para que se proceda con el pago respectivo.

## **V. EVALUACIÓN TÉCNICO - ECONÓMICO**

Rubilar en su artículo "Evaluación Técnica Económica de Proyectos Industriales" dice lo siguiente:

La evaluación técnica económica es una herramienta analítica que responde a la pregunta sobre si un proyecto es o no rentable y si se recomienda su implementación a través de la asignación de los recursos financieros requeridos o por el contrario si se rechaza el proyecto analizado por no tener factibilidad económica y por generar futuras pérdidas financieras al no ser capaz de originar flujos que amorticen las inversiones requeridas y costos asociados al proyecto analizado.

### **5.1 Evaluación Técnica**

Durante el tiempo que se sustentó la propuesta técnica se aseguró que los equipos cubren una garantía de 1 año contra defectos de fabricación, aparte se comentó en su momento que tenemos la experiencia en ejecutar mejoras de automatización sacándole el máximo provecho a las máquinas.

Ahora el horno viene trabajando 6 meses consecutivos su producción de fundición de chatarra de forma continua, ya no tienen esas paradas imprevistas; además se está consumiendo menos energía de la que se consumía con los equipos originales.

## 5.2 Evaluación Económica

El proyecto de mejora es viable porque la empresa MEPSA tiene los recursos para llevarlo a cabo, además el problema que tiene cada vez es mayor porque el tiempo de no producción va en aumento y los costos de mantenimiento de sus equipos también están aumentando.

Analizándolo por varias aristas definitivamente el proyecto es viable.

Luego de los primeros seis meses de operación los resultados son los siguientes:

TABLA N°5  
PRODUCCIÓN MENSUAL DE COLADA DE CHATARRA  
EN EL HORNO #2

(En Dólares Americanos)

	Costo de 1 colada (\$)	Tiempo para producir 1 colada (hr)	Horas sin trabajar/día	Producción Mensual (\$)
ANTES	20.000,00	3	3	4'200.000,00
AHORA	20.000,00	3	0	4'800.000,00

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 6**  
**COSTO DE ENERGÍA DEL HORNO #2**  
 (En Dólares Americanos)

(Costo de 1 kW. Hora para el Horno #2 = US\$ 18,00)

	Consumo de Corriente de un Electrodo (A)	Costo de Energía/colada (\$)	Costo de Energía Mensual (\$)
ANTES	12,00	486,00	116.640,00
AHORA	4,00	162,00	38.880,00

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 7**  
**EQUIPOS VENDIDOS A MEPSA**  
 (En Soles)

Ítem	Descripción	Precio Unitario (S/.)	Cantidad	Precio Total (S/.)
1	Servoreductor	18.181,75	3	54.545,25
2	Convertidor de frecuencia	8.293,50	3	24.880,50
3	Programación y puesta en marcha	3.000,00	1	3.000,00
				<b>82.425,75</b>

Fuente: Elaboración propia

MEPSA pagó por el proyecto de mejora un total de S/. 82.425,75; aproximadamente: **US\$ 25.361,77** + IGV. (TC: 3,25)

## **VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 Conclusiones**

El Perú registra tasas de crecimiento en los últimos años que demuestran algunas mejoras en los rubros económicos, estamos creciendo y se genera la necesidad de atender requerimientos diversos en los campos de la ingeniería relacionados a la generación y utilización de la energía, el diseño de elementos electromecánicos, el control y la automatización de sistemas donde la función del ingeniero termina siendo clave dado su criterio técnico que sirve para mejorar y ahorrar recursos.

Se cumplió con el objetivo de mejorar la automatización de los electrodos en el horno de fundición de arco eléctrico de 6 Ton. Al cumplir los primeros 6 meses de funcionamiento la mejora se nota porque ahora el horno trabaja de forma continua, ya no tienen paradas sin planificar, de acuerdo a la tabla N° 5 hay un incremento de la producción que es de una colada más por día que en un mes son US\$ 600.000,00 más de colada de chatarra producida, es un incremento de producción del 14.3%; además de acuerdo a la tabla N° 6 hay un ahorro de energía de US\$ 77.760,00 al mes equivalente al 66.7% de ahorro.

La inversión se justifica porque el costo para MEPSA fue de US\$ 25.361,77; ésta inversión la puede pagar en menos de 1 mes comparado con las mejoras mencionadas.

La mejora de la automatización se debe a que los mecanismos son capaces

de realizar acciones repetitivas en forma continua y rápida sin errores, también porque se consigue una mayor precisión y exactitud dentro del pequeño espacio físico que existe entre los electrodos y el cerrito de la chatarra, además hay una mejora en la productividad volviendo al horno más eficiente generando ahorros en el consumo de energía.

Conocer el funcionamiento de los electrodos en un horno de fundición de arco eléctrico fue de gran ayuda porque entendí que es la madre del funcionamiento del horno; mucho depende que los mecanismos tengan un diseño adecuado para poder mantener el arco eléctrico entre los electrodos y así garantizar una buena fundición de la chatarra.

Esto ayudó a mejorar el sistema de automatización de la posición de electrodos en un horno de fundición de arco eléctrico de 6 Ton.

Se elaboró un plan empezando por absorber los conocimientos de las funciones del horno, luego se procedió con el análisis viendo las condiciones extremas que podrían darse, después los cálculos para seleccionar los equipos.

Durante la ejecución se procedió a supervisar los montajes, luego la programación y las pruebas en vacío y con carga.

De esta manera se llegó a la mejora del sistema de automatización de la posición de electrodos en un horno de fundición de arco eléctrico de 6 Ton.

Los parámetros principales son el rango de corriente que necesitan los electrodos para formar el arco y mantenerlo, además también es importante el peso de todo el conjunto que se va a mover como electrodos, porta electrodos y winche. Esto me lleva a calcular el torque necesario para mover las cargas y hacer una buena selección de los equipos para mejorar el sistema de automatización de la posición de electrodos en un horno de fundición de arco eléctrico de 6 Ton.

De acuerdo al párrafo anterior, una vez escogido los equipos electromecánicos podré hacer una buena selección de los controladores electrónicos quienes darán las órdenes para los movimientos y así mejorar el sistema de automatización de la posición de electrodos en un horno de fundición de arco eléctrico de 6 Ton.

## **6.2 Recomendaciones**

Recomiendo en actividades similares se coordine mejor las visitas de ambas partes, el problema mayor sobre todo para el área de mantenimiento fue cuando tienen que acudir a ver algún problema y demoraban mucho para estar en la reunión o a veces se postergaba.

Recomiendo que MEPSA lleve ahora un control periódico del comportamiento de los picos de corriente, eso traerá como consecuencia elaborar un plan de mantenimiento preventivo.

Recomiendo usar accionamientos de mejor tecnología, como son los servomotores de imanes permanentes, reductores de velocidad de buena eficiencia con sus respectivos controladores electrónicos, la mejora en la productividad, eficiencia y disminución de mermas está asegurada.

## VII. REFERENCIALES

- CENTRO INTEGRADO POLITÉCNICO ETI. **Servoaccionamientos (control de ejes)**. España.  
Disponible en:  
<http://www.etitudela.com/celula/downloads/servoaccionamientos.pdf>
  
- DYNA. **La tecnología de los motores de imanes permanentes**.  
Revista de ingeniería. España. Noviembre 2014.  
Disponible en: <http://www.dynapubli.com/noticias-PD/la-tecnologia-de-motores-de-imanes-permanentes>
  
- ENRÍQUEZ BERCIANO, José Luis y Otros. **Acería Eléctrica. Parte 1**. Monografía. España. Universidad Politécnica de Madrid. 2009  
Disponible en:  
[http://oa.upm.es/1929/1/Aceria\\_electrica\\_MONO\\_2009.pdf](http://oa.upm.es/1929/1/Aceria_electrica_MONO_2009.pdf)
  
- ESPINOZA MONTES, Ciro. **Metodología de investigación tecnológica**. Perú. Primera edición. 2010.
  
- GALVIS GELVIS, Carlos Andrés y Otros. **Automatización y Control**. Universidad Industrial de Santander. Artículo. España. Mayo 2008.

Disponible en: <https://www.slideshare.net/zilafar/automatizacin-y-control>. Consultado el 15 de Abril del 2017.

- HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto y Otros. **Metodología de la investigación**. Editorial Mc Graw Hill Interamericana de México S.A. Cuarta edición. México. 2007.

- JACCARD, Luis Ricardo. **Operación del Horno eléctrico de arco – con ejemplos**. Brasil. 2014

Disponible en: <http://www.jaccard.com.br/operacao.pdf>

- LABEA. **Catálogo de productos, sección hornos**. Fabricante de maquinaria para acerías. España.

Disponible en: [http://www.labea.com/documentos/catalogo\\_cas.pdf](http://www.labea.com/documentos/catalogo_cas.pdf)

- MADÍAS, Jorge. **El impacto de las recientes innovaciones en los hornos eléctricos de arco**. Artículo. Argentina. Abril 2013.

Disponible en:

file:///C:/Users/pedelvic/Downloads/El%20impacto%20de%20las%20recientes%20innovaciones%20en%20los%20hornos%20el%C3%A9ctricos%20de%20arco.pdf. Artículo web. Consultado el 10 de Abril del 2017.

- PAGINA WEB. **Conceptodefinición.de.**

Disponible en: <http://conceptodefinicion.de/mecanica/>. Consultada el 10 de Marzo.

- RUBILAR FIGUEROA, Roberto. **Evaluación Técnica Económica de Proyectos Industriales.** INDEC Chile Ingeniería. Chile. Presentación. Consultado el 25 de Abril del 2017.

Disponible en:

<http://es.calameo.com/read/002601037921ef33ed769>

- SEW EURODRIVE. **Presentaciones varias y catálogos de productos.** Alemania. Primer fabricante de accionamientos en el mundo.

Disponible en:

<https://www.drivegate.biz/com/https://www.drivegate.biz/com/>

Consultada durante los meses de Marzo y Abril del 2017.

- UNIVERSIDAD DE OVIEDO. **Acería Eléctrica Tema 4.** España.

Disponible en:

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema4.FabricacionAcero.AceriaElectrica.pdf>

## VIII. ANEXOS Y PLANOS

### ANEXO N° 1

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SERVOREDUCTOR

Servoreductor de engranajes cónicos marca SEW EURODRIVE con freno, palanca de desbloqueo, resolver y sensor de temperatura.

##### Especificaciones Técnicas:

Modelo: **K97CMPZ80M/BY/HR/KY/RH1M/KK**

Velocidad nominal del motor [rpm]: 2000

Velocidad de salida [rpm]: 16

Índice de reducción total: 123,93

Par de salida [Nm]: 4300

Par de salida dinámica [Nm]: >4710

Factor de servicio SEW-FB: 1,85

Posición de montaje: M4A

Pintura imprimación: 9005 Negro intenso (511F9505)

Posición de conexión/caja de bornes [°]: 270

Entrada de cable/ Posición del conector: X

Salida permitida con carga radial  $n = 1400\text{rpm}$  [N]: 40000

Par de motor [Nm]: 18,70

Factor de duración: S1-100%

Tensión del motor [V]: 400

Esquema de conexionado: DT11

Corriente estática ( $I_0$ ) [A]: 9,30

Corriente permitida máxima ( $I_{max}$ ) [A]: 48

Clase de aislamiento: F

Tipo protección del motor: IP65

Peso neto [Kg]: 175

Par de frenado [Nm]: 40

Voltaje del freno [V]: 230

Características adicionales:

- BME- Rectificador de freno
- BY- freno de disco
- Caja de bornes, motor y cableado del encoder sujetables
- HR- palanca de desbloqueo
- KTY- Sensor de temperatura
- RH1M- Resolver

## ANEXO N° 2

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CONVERTIDOR

Convertidor de frecuencia de función vectorial marca SEW EURODRIVE

Especificaciones Técnicas:

Modelo: MOVIDRIVE 61B

Tipo: **MDX61B0040-5A3-4-00**

Numero de parte: 8279608

DATOS DE ENTRADA DEL CONVERTIDOR:

Tensión nominal de la red [Vmains]: 3 x AC 380 - 500 V.

Frecuencia nominal de la red [fmains]: 50/ 60 Hz  $\pm$  5%.

Corriente nominal de entrada [IN]: AC 8,6 A.

DATOS DE SALIDA DEL CONVERTIDOR:

Potencia del motor recomendado [PMot]: 4 kW / 5,4 HP

Corriente nominal de salida [IN]: AC 9,5 A.

Valor mínimo permitido de resistencia de frenado [RBW\_min]: 68 ohm.

INFORMACIÓN GENERAL:

Grado de protección: IP20.

Masa [Kg]: 3,5

Talla: 1

Dimensiones (ancho x alto x profundidad): 105 x 314 x 234 mm.

FUNCIONALIDAD:

Rango de velocidad del motor: -6000 a 0 a 6000 RPM.

Modo de control: V/f (escalar), VFC (vectorial).

Frecuencia de modulación PWM [KHz]: 4/8/12/16.

Autodiagnóstico y Autosintonización: Sí

Control PI integrado.

Gran capacidad de sobrecarga hasta 150 % IN.

Entradas y salidas programables:

Entrada Digitales programables: 8

Entrada análoga programable: 0 a 10 V, 0 a 20 mA, 4 a 20 mA

Salida digital programable: 6

Lógica de frenado.

Filtro de entrada EMC incorporado.

Evaluación de termistor de motor TF o TH.

Puesta en marcha desde panel o PC.

Opción de programación estructurada con IPOS.

Funciones de protección integradas.

Sobre-corriente.

Sobre-temperatura.

Falta y desbalanceo de fase.

Corto circuito

Transistor chopper de frenado incorporado.

Flujo de Aire Necesario: 40 m<sup>3</sup> /h

**Incluye:**

- Teclado DBG60B
- Reactancia de línea ND020-013
- Resistencia de frenado BW268-T
- Tarjeta de lectura de encoder DER11B
- Tarjeta de comunicación DFE33B Ethernet/IP - Modbus/TCP

## ANEXO N° 3

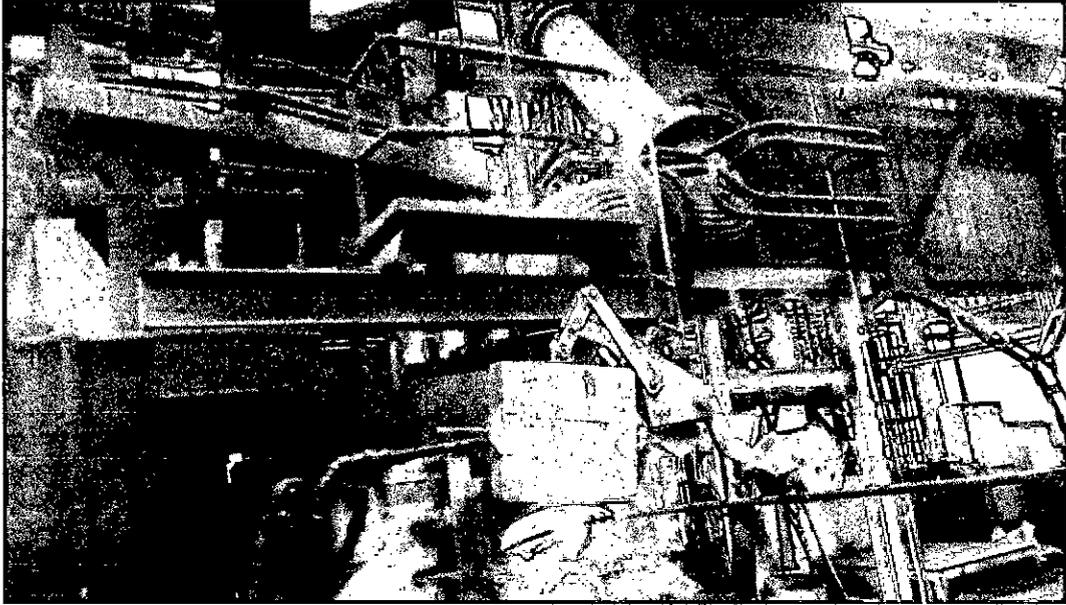
SERVOREDUCTORES SEW EURODRIVE  
PARA EL CONTROL DE ELECTRODOS



Fuente: METALURGICA PERUANA S.A.

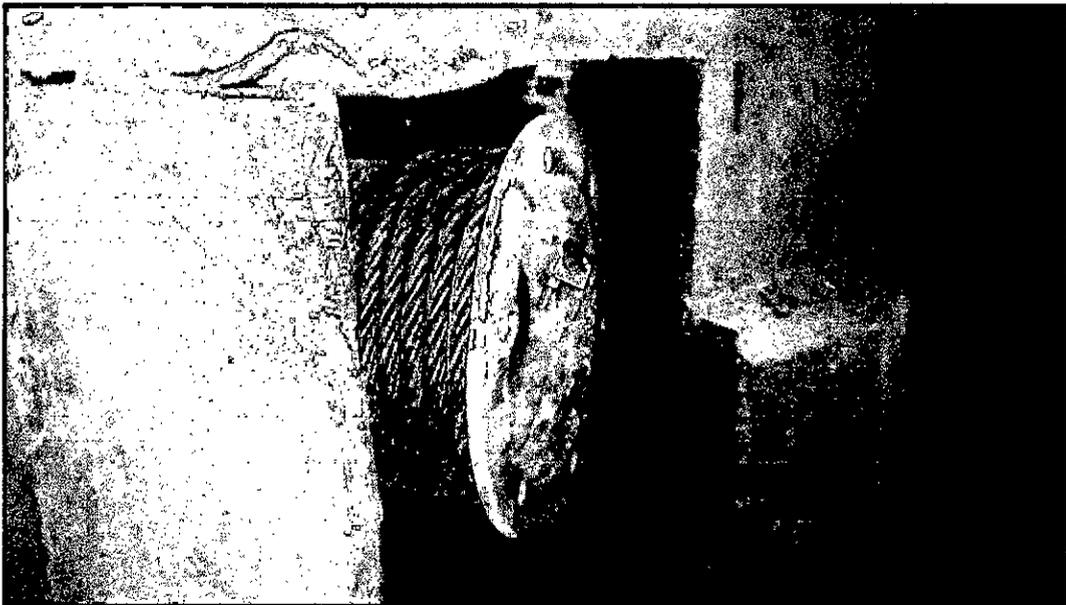
## ANEXO N° 4

### BRAZOS PORTAELECTRODOS



Fuente: METALURGICA PERUANA S.A.

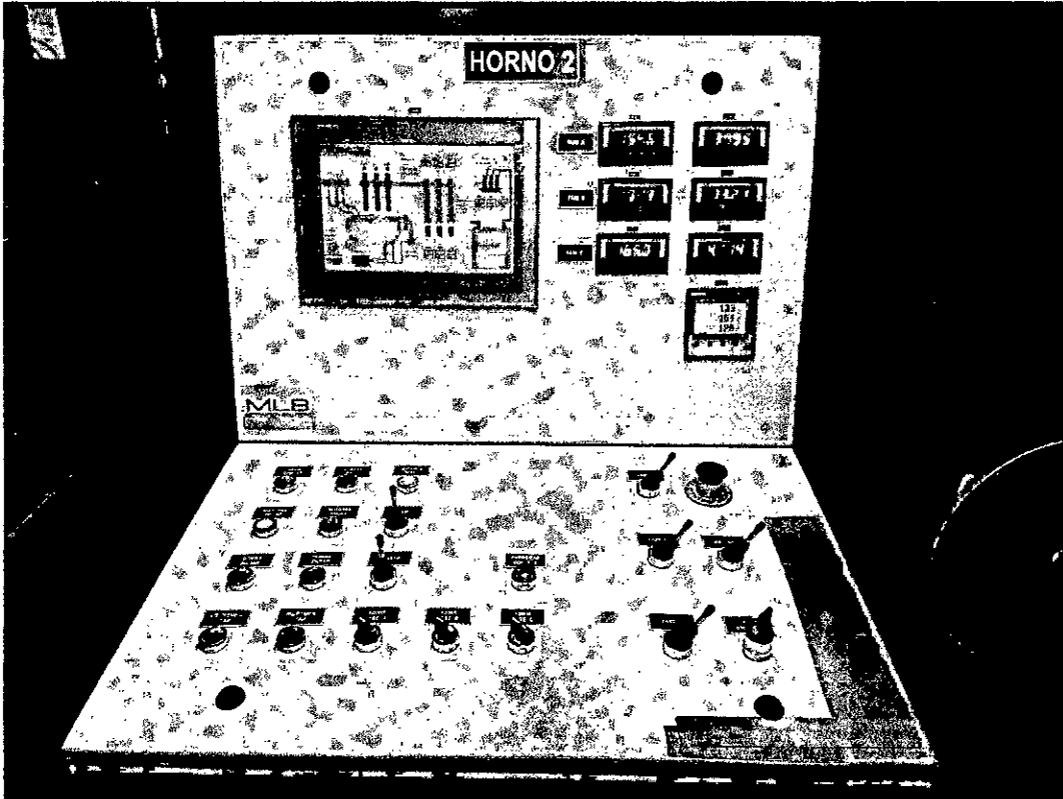
### WINCHE



Fuente: METALURGICA PERUANA S.A.

# ANEXO N° 5

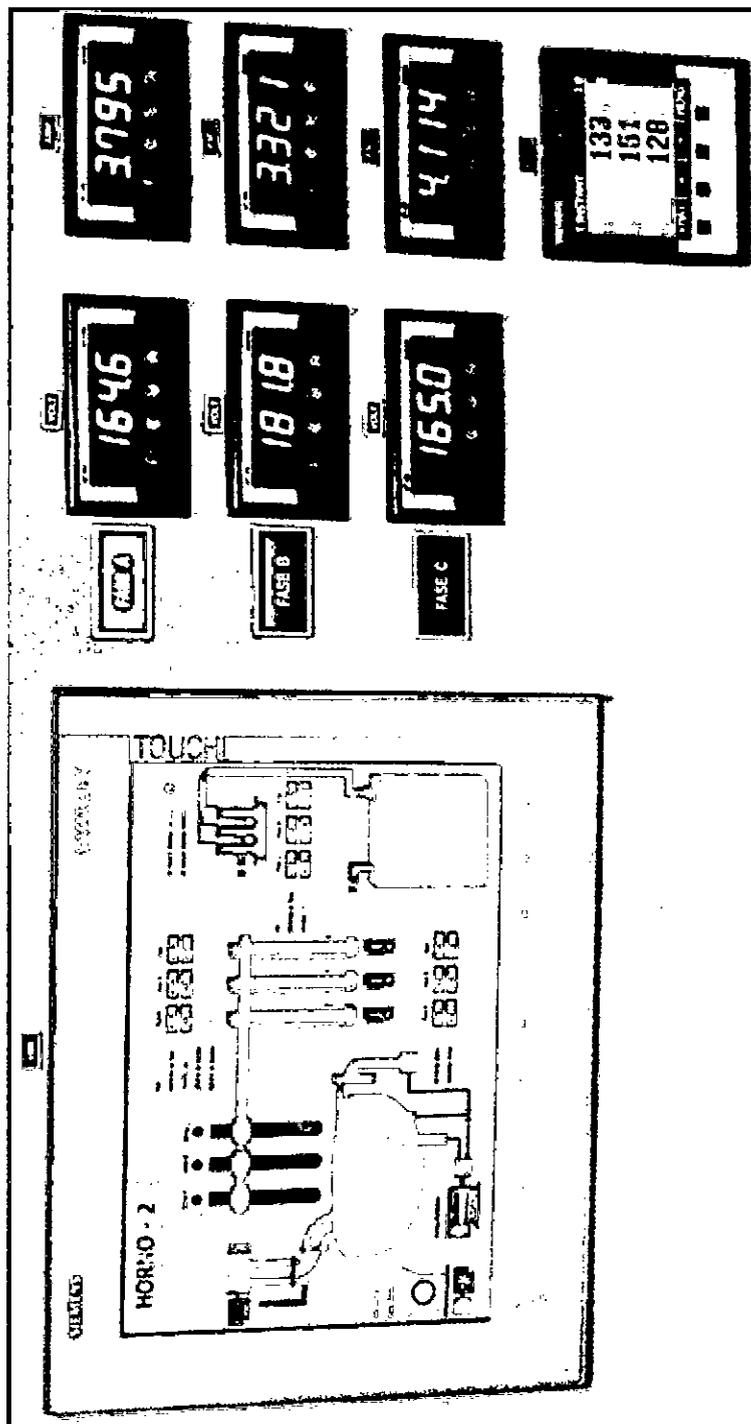
## TABLERO PUPITRE



Fuente: METALURGICA PERUANA S.A.

# ANEXO N° 6

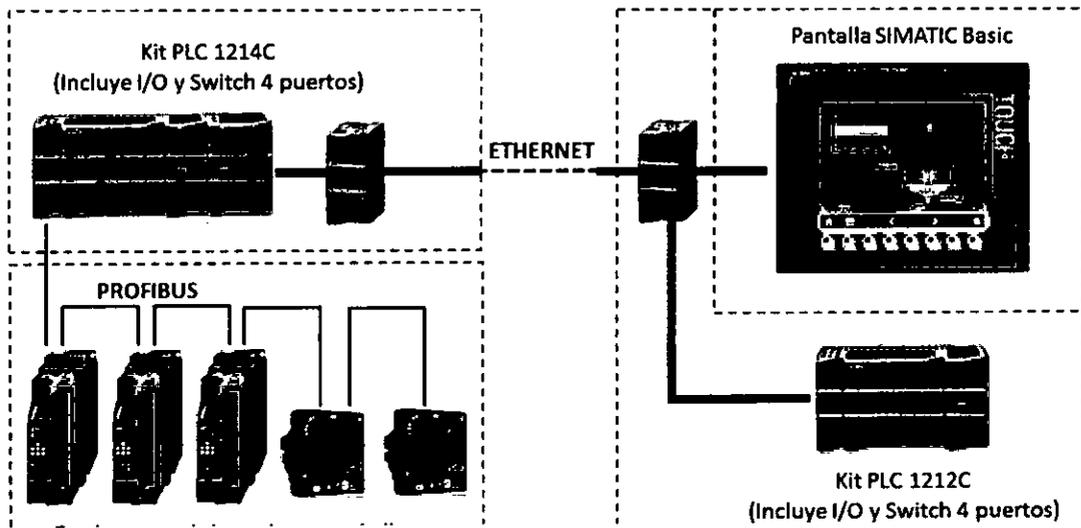
## PANEL HMI Y DISPLAYS DE CORRIENTE Y VOLTAJE DE LAS 3 FASES (ELECTRODOS)



Fuente: METALURGICA PERUANA S.A.

## ANEXO N°7

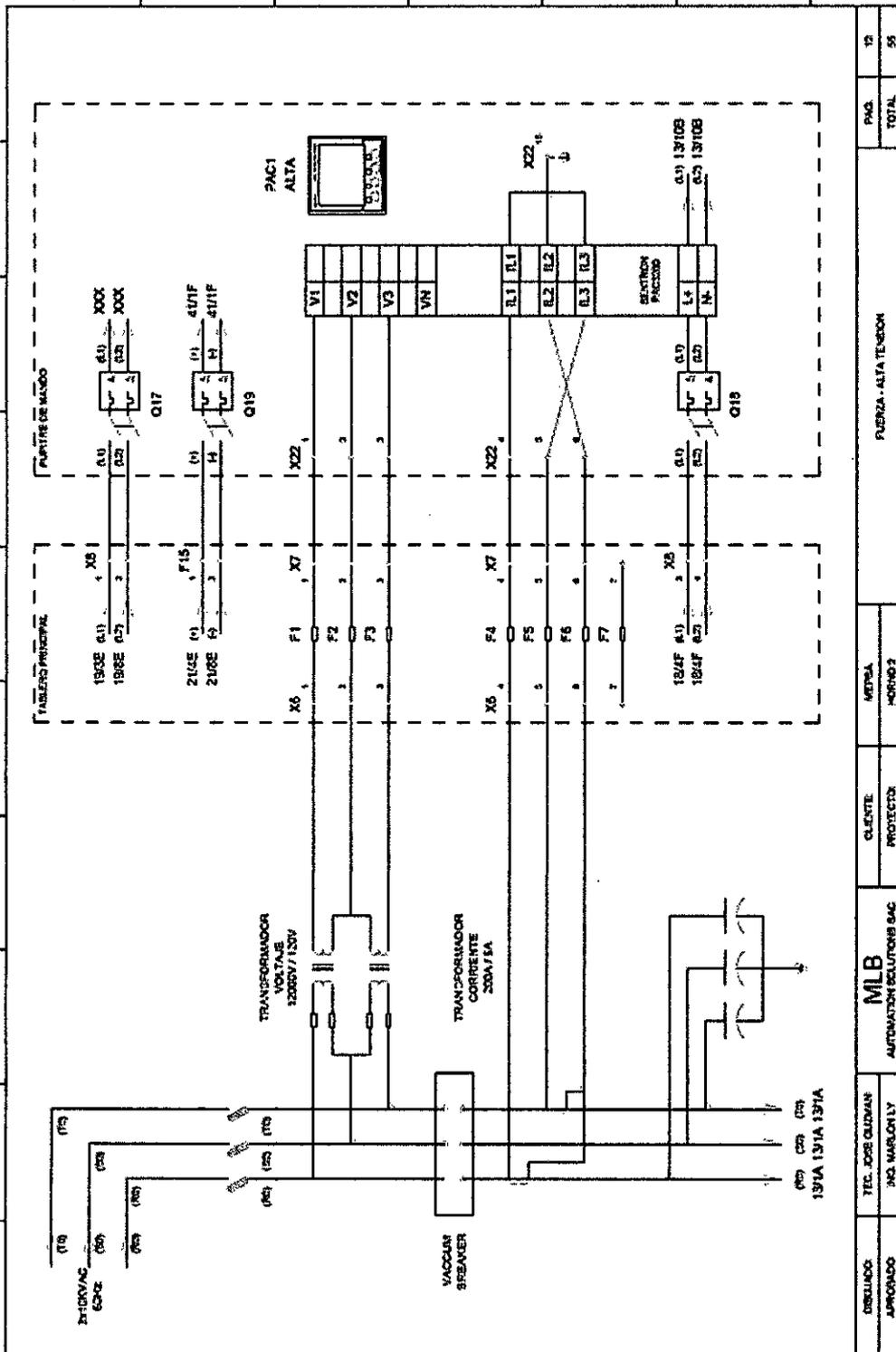
### COMUNICACIÓN ENTRE PANEL HMI, PLC's, CONVERTIDORES Y DISPLAYS DE CORRIENTE Y VOLTAJE



Fuente: SEW Eurodrive

# PLANO N° 2

## FUERZA- ALTA TENSION

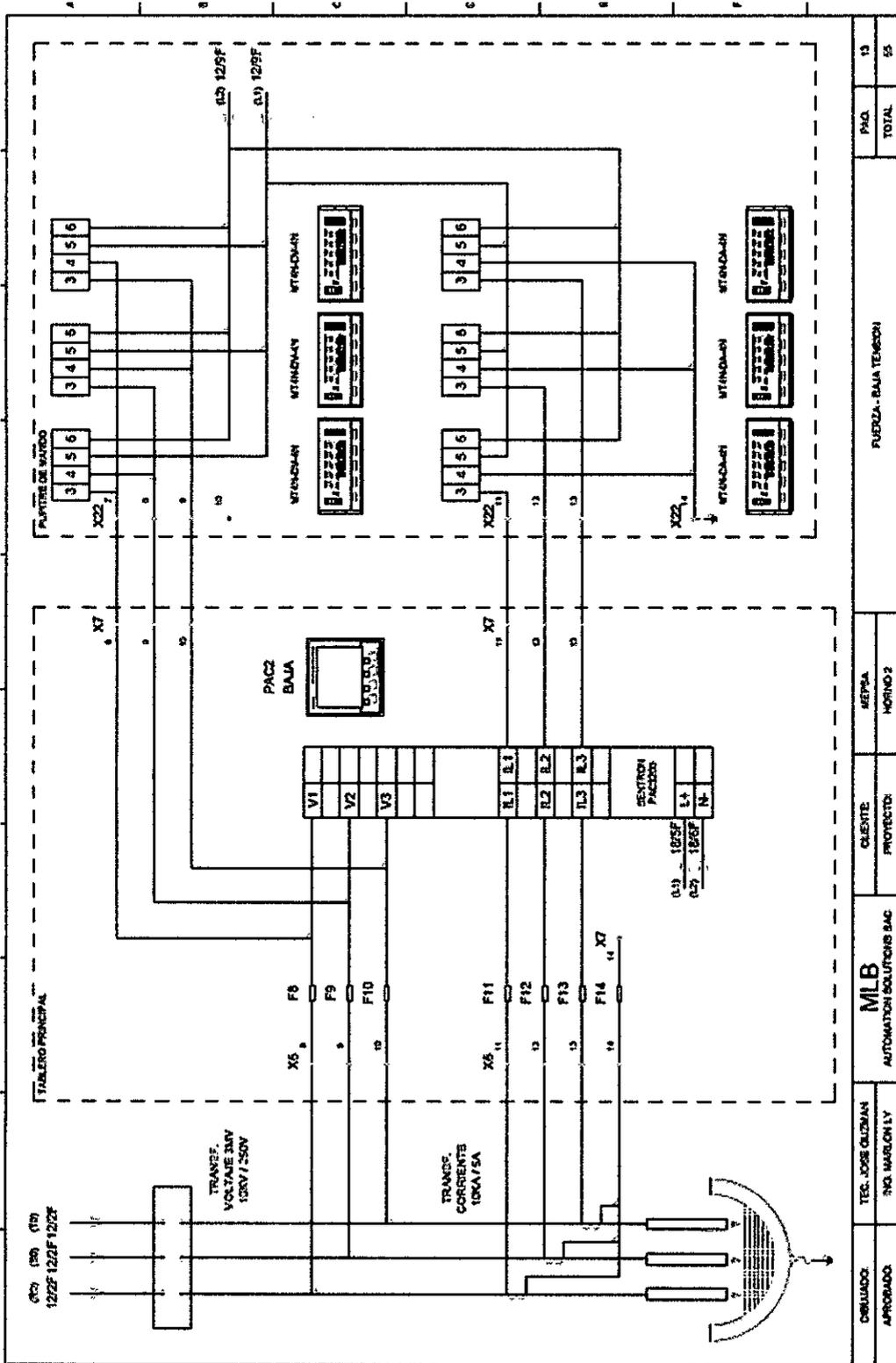


Fuente: MLB AUTOMATION SOLUTIONS S.A.C.

INGENIERO	TIC. JOSE OLIVERA	CLIENTE	METSA	PAG.	12
APROBADO	ING. MARLOLY	PROYECTOR	MORNO 2	TOTAL	55
<b>MLB</b> AUTOMATION SOLUTIONS S.A.C.			FUERZA- ALTA TENSION		

# PLANO N° 3

## FUERZA - BAJA TENSION



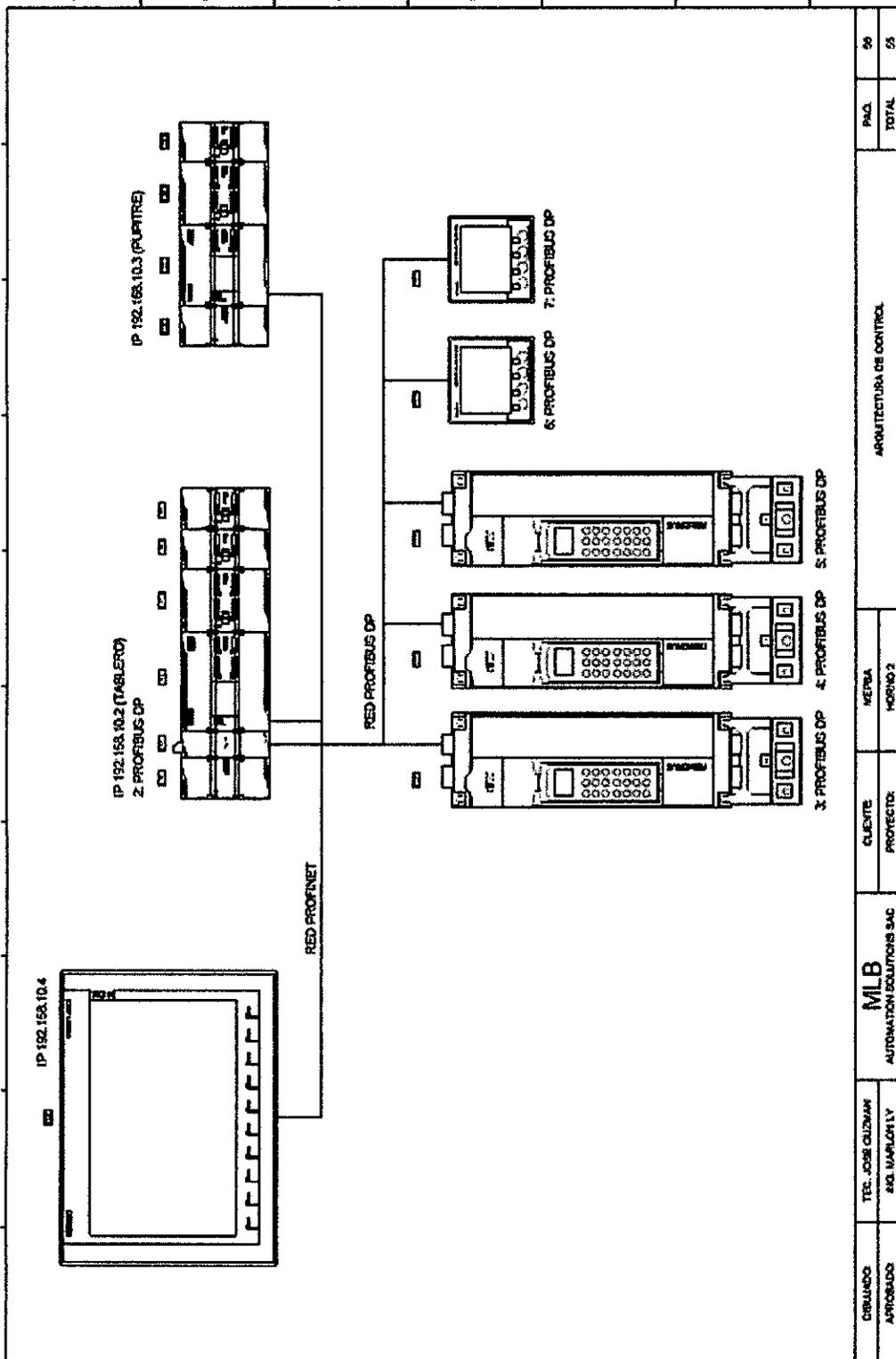
Fuente: MLB AUTOMATION SOLUTIONS S.A.C.

DISEÑADO:	TEC. JOSE OLIVIAN	CLIENTE:	MEPSA	PÁG.	13
APROBADO:	ING. MARCON LY	PROYECTO:	HONDO 2	TOTAL:	55
<b>MLB</b> AUTOMATION SOLUTIONS S.A.C.			FUERZA - BAJA TENSION		



# PLANO N° 5

## ARQUITECTURA DE CONTROL



Fuente: MLB AUTOMATION SOLUTIONS S.A.C.

Fuente: MLB AUTOMATION SOLUTIONS S.A.C.

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO
Q0	INT. TERMOMAGNETICO 3x125A	LV430631
Q1	INT. TERMOMAGNETICO 3x80A	EZC100N3080
Q2, ..., Q6	INT. TERMOMAGNETICO 3x16A	A9F74316
Q7, Q8	INT. TERMOMAGNETICO 2x16A	A9F74216
Q9	INT. TERMOMAGNETICO 2x4A	A9F74204
Q10, Q11	INT. TERMOMAGNETICO 2x2A	A9F74202
Q12, ..., Q15	INT. TERMOMAGNETICO 2x4A	A9F74204
Q17, Q18, Q19	INT. TERMOMAGNETICO 2x2A	A9F74202
G1	GUARDAMOTOR TERMOMAG. 6-10A	GV2P14
KM1, KM2	CONTACTOR 12A, 110VAC	LC1D12F7
POW	FUENTE 24VDC, 5A	2666750
F0, F15	BORNERA PORTA-FUSIBLE	037181
M0, M6	SWTICH ETHERNET S7-1200	66K7277-1AA10-0AA0
M1	MODULO PROFIBUS DP S7-1200	66K7 243-6D130-0X80
M2	CPU S7-1200 1214C	6ES7 214-1AG40-0XB0
M7	CPU S7-1200 1212C	6ES7 212-1AB40-0XB0
M3, M8	MODULO 18DI/16DO S7-1200	6ES7 223-1EL32-0XB0

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO
M4, M5	MODULO 8DI S7-1200	6ES7 221-1BF12-0XB0
M9	MODULO 16DI S7-1200	6ES7 221-1EM12-0XB0
X1, ..., X4	BORNERAS DOBLE PISO 4mm2	3044614
K1, ..., K20	RELE DE CONTROL 8 PIN - 24VDC	RIF-1-BPT/2x21
F1, ..., F14	PORTA-FUSIBLE	DF101
K21, K22, K23	RELE DE MANDO 8 PIN - 110VAC	RUMC21F7
K24	RELE DE MANDO 8 PIN - 220VAC	RUMC21P7
KM3, KM4, KM5	CONTACTOR 9A, 110VAC	LC1D09F7
RE1, RE2, RE3	RECTIFICADOR BME1.5	8257221
K25, K26, K27	RELE DE CONTROL 8 PIN - 24VDC	2981182
ND1, ND2, ND3	REACTANCIA DE LINEA 25A	ND020-13
VAR1, VAR2, VAR3	VARIADOR MOVIDRIVE MDX61B	MDX61B-0040-503-00
PAC1, PAC2	MEDIDOR PAC3200 - SIEMENS	7192112-08A00-3AA0
SOFT	SOFT STARTER SMC-3	150-C60NBD
VENT	VENTILACION PATA ARMARIO 770m3/h	3244.110
REJ	REJILLA	3243.200
LUM	LAMPARA PARA ARMARIO	4139.180

LEYENDA 1

PLANO N° 6

DELAJAO	TEC. JOSE CRIZMAN	<b>MLB</b> AUTOMATION SOLUTIONS SAC	CLIENTE	MEPSA	LEYENDA	PAG.	54
APROBADO	ING. MARLON LY		PROYECTO	HORNOS 2		TOTAL	55

Fuente: MLB AUTOMATION SOLUTIONS S.A.C.

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO
X5, X13	BORNERAS 10mm2	NSYTRV102
X6	BORNERAS 6mm2	NSYTRV02
X7	BORNERAS 4mm2	NSYTRV42
X8, X12	BORNERAS DOBLE PISO 4mm2	3044814
X15, ..., X19	BORNERAS DOBLE PISO 4mm2	3044814
X21, X24, X25, X26	BORNERAS DOBLE PISO 4mm2	3044814
X22, X23	BORNERAS DOBLE PISO 4mm2	3044814
K28, ..., K31	RELE DE CONTROL 8 PIN - 24VDC	RIF-1-8P7/2x21
X14	BORNERAS 16mm2	NSYTRV162
X9, X10, X11	BORNERAS 4mm2, 6mm2	NSYTRV42 / 62
T1, T2	CONTROLADOR DE TEMPERATURA	TCN4S
HMI	PANEL 12" KTP BASIC	6AV2 123-2MB03-0AX0
V1, V2, V3	MEDIDOR DE VOLTAJE	MTW4-AV
I1, I2, I3	MEDIDOR DE CORRIENTE	MTW4-AA
P1, P3, P5	PULSADOR LUMINOSO 24VDC VERDE	XB4BW33B5
P2, P4, P6	PULSADOR LUMINOSO 24VDC ROJO	XB4BW34B5
P7, P8	PULSADOR LUMINOSO 24VDC AZUL	XB4BW36B5

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO
P9	PULSADOR LUMINOSO 24VDC AMBAR	XB4BW35B5
P10, P11	JOYSTICK 2 DIR. CON RETORNO	XD4-PA22
P12, ..., P15	SELECTOR 2 POS. LUMINOSO VERDE	XB4BK123B5
P16, ..., P19	JOYSTICK 4 DIR. SIN RETORNO	XD4-PA14
P20	PARADA DE EMERGENCIA	XB4BS8442
P21	SELECTOR 2 POS. CON LLAVE	XB4BG21
ST/LV1, ...8	PULSADOR LUMINOSO 24VDC VERDE	XB4BW33B5
SP/LR1, ...8	PULSADOR LUMINOSO 24VDC ROJO	XB4BW34B5
TABLERO	TABLERO AUTOPORTADO	8206.500
PUPITRE	PUPITRE DE MANDO	MLB0001
P22, ..., P27	PULSADOR VERDE	XB4BA31
P30, ..., P35	PULSADOR VERDE	XB4BA31
P28, P29, P36	SELECTOR 2 POS. FIJAS	XB4BD21
P37	PULSADOR ROJO	XB4BA42

LEYENDA 2

PLANONº7

DISEÑADO:	TEC. JOSE GUZMAN	MLB AUTOMATION SOLUTIONS SAC	CLIENTE:	WEPSA	LEYENDA	PRO	55
APROBADO:	ING. MARLÓN LY		PROYECTO:	MORNO 2		TOTAL	55