

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE IMPULSIÓN DE  
UNA MÁQUINA DE TERMOFIJADO DE TELA - RAMA DE  
1986**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECATRÓNICO**

**MARLON MOISES LY BELLIDO**

**PROMOCIÓN 2009-I**

**LIMA-PERU**

**2012**

# TABLA DE CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| PRÓLOGO  | 1  |
| CAPITULO I - INTRODUCCIÓN  | 3  |
| CAPITULO II - DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO                                   | 5  |
| CAPITULO III - CONCEPTOS PREVIOS   | 7  |
| 3.1 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA DC DE EXITACIÓN SEPARADA               | 7  |
| 3.1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO  | 7  |
| 3.1.2 CIRCUITO EQUIVALENTE   | 7  |
| 3.1.3 CURVAS DE TORQUE, CORRIENTE Y VELOCIDAD                            | 8  |
| 3.2 MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFÁSICOS AC CON ROTOR JAULA DE ARDILLA        | 11 |
| 3.2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO  | 11 |
| 3.2.2 CIRCUITO EQUIVALENTE   | 11 |
| 3.2.3 COMPORTAMIENTO DEL TORQUE GENERADO                                 | 11 |
| 3.2.4 CURVAS DE TORQUE, CORRIENTE Y POTENCIA                             | 12 |
| 3.3 SERVOMOTORES DE CORRIENTE ALTERNA AC CON ROTOR DE IMANES PERMANENTES | 13 |
| 3.3.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SERVOMOTOR                         | 13 |
| 3.3.2 VENTAJAS DE LOS SERVOMOTORES                                       | 13 |
| 3.3.2.1 Alta Velocidad   | 13 |
| 3.3.2.2 Baja Inercia ( J_ROTOR )   | 14 |
| 3.3.2.1 Minimizar la relación J_CODUCIDO/J_CONDUCTOR                     | 15 |
| 3.3.2.3 Alta densidad de torque ( $\rho$ )                               | 16 |
| 3.3.2.4 Requerimientos de espacio  | 17 |
| 3.3.2.5 Dispositivo de realimentación de posición                        | 17 |
| 3.3.3 DESVENTAJAS DE LOS SERVOMOTORES                                    | 19 |
| 3.3.4 CUADRO COMPARATIVO   | 19 |
| 3.4. CAMBIO DE MOTORES DC POR MOTORES AC                                 | 19 |
| 3.5 SELECCIÓN DE MOTORREDUCTORES   | 21 |
| 3.5.1 FACTOR DE SERVICIO DE LA APLICACIÓN (FB)                           | 21 |
| 3.5.2 FACTOR DE SERVICIO DEL REDUCTOR (FB)                               | 22 |
| 3.5.3 ÍNDICE DE REDUCCIÓN O RATIO (i)                                    | 22 |
| 3.5.4 PAR O TORQUE ( $M_a$ ) A LA VELOCIDAD DE SALIDA DEL REDUCTOR       | 23 |
| 3.5.5 RENDIMIENTO MECÁNICO   | 23 |
| 3.5.6 TIPO DE REDUCTOR   | 23 |
| 3.5.7 TIPO DE EJE DE SALIDA  | 24 |
| 3.5.8 FORMA DE MONTAJE   | 25 |
| 3.5.9 POSICIÓN DE MONTAJE  | 27 |
| 3.5.10 SENTIDO DE GIRO Y POSICIÓN DEL EJE HUECO/SÓLIDO                   | 27 |
| 3.5.11 POSICIÓN DE CAJAS DE BORNERAS                                     | 27 |
| 3.6 TEORIA DE LOS CONVERTIDORES DE FRECUENCIA                            | 28 |
| 3.6.1 ETAPAS DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA                                | 28 |
| 3.6.2 ESQUEMA BÁSICO   | 28 |
| 3.6.3 ETAPA INVERSORA DE POTENCIA  | 29 |
| 3.6.4 RESISTENCIA DE FRENADO Y FRENO CHOPPER                             | 29 |
| 3.6.5 TÉCNICA PWM (MODULACIÓN DEL ANCHO DE PULSOS)                       | 29 |
| 3.6.6 MODOS DE CONTROL DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA                      | 32 |
| 3.6.6.1 Modo de control Escalar o V/F                                    | 32 |
| 3.6.6.2 Modo de control Vectorial o VFC                                  | 33 |
| 3.6.6.3 Modo de control de flujo de corriente o CFC                      | 35 |
| 3.7 SELECCIÓN DE UN CONVERTIDOR DE FRECUENCIA                            | 36 |
| 3.7.1 CONDICIONES PROPIAS DEL CONVERTIDOR DE FRECUENCIA                  | 36 |

|   |    |
|---|----|
| 3.7.1.1 Datos de placa del motor eléctrico                      | 36 |
| 3.7.1.2 Voltaje de la red                                       | 36 |
| 3.7.1.3 Tipo de aplicación                                      | 36 |
| 3.7.1.4 Regeneración  | 38 |
| 3.7.2 CONDICIONES EXTERNAS DEL CONVERTIDOR DE FRECUENCIA        | 38 |
| 3.7.2.1 Tablero de alojamiento                                  | 38 |
| 3.7.2.2 Derrateo por altura                                     | 39 |
| 3.7.2.3 Calidad de energía                                      | 39 |
| 3.7.2.4 Interferencias de Radiofrecuencia RFI                   | 40 |
| 3.7.2.5 Efecto capacitivo en los cables                         | 41 |
| 3.7.2.6 Transitorios de voltaje y corriente                     | 41 |
| <br>  |    |
| CAPITULO IV - ACCIONAMIENTOS ORIGINALES DE LA MÁQUINA           | 43 |
| 4.1 MOTOR N°1: JOTA DE ENTRADA                                  | 43 |
| 4.2 MOTOR N°2: FOULARD  | 45 |
| 4.3 MOTOR N°3: SOBREALIMENTADOR DE ENTRADA                      | 46 |
| 4.4 MOTORES N°4 y 5: PRESIONADORES DE TELA                      | 47 |
| 4.5 MOTORES N°6 y 7: CADENAS                                    | 48 |
| 4.6 MOTOR N°8: SOBREALIMENTADOR DE SALIDA                       | 49 |
| 4.7 MOTOR N°9: SOBREALIMENTADOR DE SALIDA y ENROLLADOR          | 50 |
| <br>  |    |
| CAPITULO V - ACCIONAMIENTOS SELECCIONADOS PARA LA MODERNIZACIÓN | 52 |
| 5.1 MOTOR N°1: JOTA DE ENTRADA                                  | 52 |
| 5.2 MOTOR N°2: FOULARD  | 54 |
| 5.3 MOTOR N°3: SOBREALIMENTADOR DE ENTRADA                      | 56 |
| 5.4 MOTOR N°4 y 5: PRESIONADORES DE TELA                        | 58 |
| 5.5 MOTOR N°6 y 7: CADENAS                                      | 60 |
| 5.6 MOTOR N°8 y 9: SOBREALIMENTADOR DE SALIDA Y ENROLLADOR      | 62 |
| 5.7 COMPARACIÓN DE PRECIOS                                      | 64 |
| 5.8 VARIADORES DE FRECUENCIA SELECCIONADOS                      | 65 |
| <br>  |    |
| CAPITULO VI - INSTALACIÓN DEL SISTEMA                           | 67 |
| 6.1 INSTALACIÓN MECÁNICA DE LOS MOTORREDUCTORES                 | 67 |
| 6.1.1 HERRAMIENTAS Y MATERIAL NECESARIO                         | 67 |
| 6.1.2 ANTES DE EMPEZAR CON LA INSTALACIÓN MECÁNICA              | 67 |
| 6.1.3 TRABAJOS PREVIOS  | 68 |
| 6.1.4 INSTALACIÓN DEL MOTORREDUCTOR                             | 68 |
| 6.1.5 FALLOS DE FUNCIONAMIENTO                                  | 69 |
| 6.2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA DEL VARIADORES DE FRECUENCIA          | 69 |
| 6.2.1 HERRAMIENTAS Y MATERIAL NECESARIO                         | 69 |
| 6.2.2 ANTES DE EMPEZAR CON LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA             | 69 |
| 6.2.3 INSTALACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA                    | 70 |
| 6.2.3.1 Conexión de la parte fuerza y freno                     | 70 |
| 6.2.3.2 Conexión de la resistencia de frenado                   | 70 |
| 6.2.3.3 Conexión de la parte de control                         | 70 |
| 6.2.3.4 Conexión del bus de comunicación SBUS                   | 71 |
| 6.2.3.5 Conexión de la interfaz RS485                           | 71 |
| 6.2.3.6 Conexión de la tarjeta de lectura del resolver DER11B   | 71 |
| 6.2.3.7 Conexión del cable de control para el resolver          | 71 |
| 6.2.3.8 Conexión de entradas y salidas digitales adicionales    | 72 |
| 6.2.3.9 Conexión de entradas análogas adicionales               | 72 |
| 6.3 INSTALACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL                          | 73 |
| 6.4 INSTALACIÓN DEL PANEL OPERADOR                              | 74 |
| <br>  |    |
| CAPITULO VII - PROGRAMACIÓN DE LA LÓGICA DE CONTROL             | 76 |
| 7.1 LÓGICA DE CONTROL – PRIMERA PARTE                           | 76 |
| 7.2 LÓGICA DE CONTROL – SEGUNDA PARTE                           | 78 |

|  |    |
|--|----|
| 7.3 LÓGICA DE CONTROL – TERCERA PARTE  | 81 |
| 7.4 LÓGICA DE CONTROL – CUARTA PARTE   | 82 |
| 7.5 LÓGICA DE CONTROL – QUINTA PARTE   | 83 |
| <br>   |    |
| CAPITULO VIII - ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO INTEGRAL                             | 84 |
| 8.1 MANTENIMIENTO PREDICTIVO   | 84 |
| 8.1.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO                                     | 84 |
| 8.1.2 MAQUINARIA A REALIZAR EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO                          | 85 |
| 8.1.3 VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO                                      | 85 |
| 8.1.4 PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO                   | 86 |
| 8.1.5 EL INFORME TÉCNICO CONTENDRÁ LOS SIGUIENTES PUNTOS                         | 86 |
| 8.1.6 INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS PREDICTIVO  | 86 |
| 8.1.6.1 Analizador de vibraciones y condición de rodamientos                     | 86 |
| 8.1.6.2 Analizador del Aceite  | 87 |
| 8.1.6.3 Termómetro infrarrojo con puntero láser                                  | 87 |
| 8.1.6.4 Alineador láser de ejes  | 87 |
| 8.1.6.5 Multímetros digitales (variables eléctricas)                             | 87 |
| 8.1.6.6 Pinzas amperimétricas  | 88 |
| 8.1.6.7 Megohmetros  | 88 |
| 8.1.7 MANTENIMIENTO PREDICTIVO CON UN CONVERTIDOR DE FRECUENCIA<br>SEW EURODRIVE | 88 |
| 8.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEW EURODRIVE                                       | 89 |
| 8.2.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO                                     | 89 |
| 8.2.2 VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO                                      | 90 |
| 8.2.3 FASES DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO   | 90 |
| 8.2.4 PARTES DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO  | 90 |
| 8.2.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UN MOTORREDUCTOR SEW EURODRIVE                 | 91 |
| 8.2.5.1 Periodos de inspección y mantenimiento                                   | 91 |
| 8.2.5.2 Inspección / mantenimiento del reductor                                  | 92 |
| 8.2.5.3 Comprobación del nivel de aceite   | 92 |
| 8.2.5.4 Comprobación del aceite  | 92 |
| 8.2.5.5 Cambio de aceite   | 92 |
| 8.2.6 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UN CONVERTIDOR DE FRECUENCIA<br>SEW EURODRIVE  | 93 |
| 8.2.6.1 Consideraciones importantes antes de empezar                             | 93 |
| 8.2.6.2 Recomendaciones  | 93 |
| 8.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO SEW EURODRIVE                                       | 94 |
| 8.3.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO                                     | 94 |
| 8.3.2 VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO PLANIFICADO                          | 95 |
| <br>   |    |
| CAPITULO IX - BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN PARA EL CLIENTE                        | 96 |
| <br>   |    |
| CONCLUSIONES   | 97 |
| <br>   |    |
| BIBLIOGRAFÍA   | 98 |

## PRÓLOGO

El presente informe de suficiencia tiene el propósito de describir las etapas que se realizaron para modernizar los accionamientos que conforman el sistema de impulsión de tela de una máquina MONFORTS modelo MONTEX de 1986, la cual contaba con accionamientos de una tecnología discontinuada presentando problemas de producción por paradas imprevistas y altos costos de mantenimiento.

El primer capítulo consta de la introducción en donde se describe lo que se espera demostrar con el informe de suficiencia, la metodología del trabajo para llevar a cabo el proyecto, los alcances y limitaciones del estudio realizado. En el segundo capítulo se realiza la descripción del proyecto, el marco en el que se desarrolla, las características de la máquina, los procesos productivos que se llevan a cabo, y la tecnología original con la que se contaba. El tercer capítulo da al lector los conceptos previos para poder entender de una mejor manera la metodología de trabajo, es aquí donde se detalla los modelos matemáticos de los motores de corriente continua y motores de inducción con rotor jaula de ardilla para explicar su comportamiento en las aplicaciones; se menciona las ventajas de la tecnología con servomotores con rotor de imanes permanentes, el principio de funcionamiento de los variadores de frecuencia y sus modos de control, las consideraciones que debemos tener en cuenta para una correcta selección de motorreductores y variadores de frecuencia. En el cuarto capítulo se detalla los accionamientos originales de la máquina desde el punto de vista de la mecánica a reemplazar, los motores de corriente continua y sus respectivas cajas reductoras mecánicas, sus características técnicas como velocidad nominal, torque entregado, ratio de la caja reductora, dimensiones y forma de montaje en caso de tener que realizar adaptaciones mecánicas para la modernización del sistema. En el quinto capítulo se detalla las características de las dos propuestas realizadas al cliente para la modernización del sistema, la primera con motores de tecnología estándar, motores de inducción con rotor jaula de ardilla mas accesorios como ventilación forzada y encoder incremental, y la segunda opción con tecnología de servomotores con rotor de imanes permanentes; los puntos a tomar en cuenta son características técnicas, performance, dimensiones y volúmenes de espacio ocupado, peso del accionamiento, costo de inversión y costo de mantenimiento. En el capítulo seis se describen las consideraciones tomadas en la instalación mecánica de los

servomotorreductores; la instalación eléctrica del tablero de control, los variadores de frecuencia y el panel operador – HMI (Interfaz Hombre Máquina). En el capítulo siete se demuestra la potencialidad de los variadores de frecuencia programables logrando el total desarrollo de la lógica de funcionamiento del sistema de impulsión de la máquina, tanto en control manual y automático, sin necesidad de utilizar un PLC adicional. En el capítulo siete se menciona el programa de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo aplicado a los accionamientos instalados. El capítulo final presenta los beneficios generados al cliente, tanto en horas hombre de mantenimiento ahorrado, lucro cesante por paradas de máquina imprevistas, atrasos con las entregas a los clientes, costo por repuestos descontinuados y los largos tiempo de entrega, confirmando así la gran utilidad del desarrollo en ingeniería realizado en este proyecto al lograr la confiabilidad óptima en la máquina y la satisfacción del cliente a nivel de jefatura y gerencia.

Es importante dar el agradecimiento a la empresa SEW DEL PERÚ SAC, en donde actualmente laboro con lo cargo de Ingeniero de Aplicaciones en el Área de Automatización de Accionamientos, y que me dio la oportunidad de ver este proyecto desde el levantamiento de datos hasta la ejecución y puesta en marcha del sistema. Así mismo, agradecer también a la empresa en donde se desarrolló este proyecto, la empresa CREDITEX SAA, la cual me dio todas las facilidades e información para documentar este informe, así mismo permitir captar material audio-visual para una mejor sustentación del proyecto. Agradecer a mi asesor el Ing. Manuel Luque Casanave que me apoyo en el transcurso de la elaboración de este documento brindándome su experiencia en campo para un mejor enfoque del informe.

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

El presente informe tiene su punto de partida con la solicitud de la empresa CREDITEX SAA a la empresa SEW PERÚ SAC para realizar una visita técnica a su planta, evaluar y plantear una solución a los problemas existentes en una de sus máquinas críticas en su proceso productivo, es así como SEW DEL PERÚ, empresa en la que actualmente laboro en el puesto de Ingeniero de Aplicaciones en el Área de Automatización de Accionamientos, me hace responsable para atender este proyecto y su eventual desarrollo.

El cliente me entrega información más detallada al momento de la visita técnica, menciona que el sistema de impulsión de tela presenta la mayor cantidad de inconvenientes, los cuales tienen origen en la antigüedad de los equipos, motores de corriente continua, y controladores electrónicos discontinuados difíciles de reparar o tener piezas de recambio, provocando paradas de producción imprevistas, incumplimiento en los tiempos de entrega de los pedidos, y por consiguiente pérdida de ingresos y confiabilidad con los clientes. Es así como inicia la evaluación de los 9 accionamientos a reemplazar en el sistema de impulsión de tela, desde el punto de vista mecánico, eléctrico y electrónico.

Lo que se desea detallar en este informe son las etapas que se desarrollaron en este proyecto desde la toma de datos hasta la puesta en marcha del sistema y sustentar las ventajas de implementar el nuevo sistema de impulsión de la tela utilizando tecnología de servomotores con rotor de imanes permanentes comparándolo con la tecnología estándar, motores de inducción con rotor de jaula de ardilla; los puntos a tomar en cuenta son performance, características técnicas, dimensiones, volumen de espacio ocupado y costo de inversión y mantenimiento.

Los alcances de este informe son netamente aplicativos a la industria y se basa en el estudio de los motores de corriente continua, motores de inducción con rotor jaula de ardilla, servomotores con rotor de imanes permanentes y variadores de frecuencia. En el estudio de los servomotores nos limitamos solo a mencionar su principio de funcionamiento y sus

características en performance, más no un análisis del modelo matemático debido a la información restringida de esta nueva tecnología.

Todo este informe es un resumen de la experiencia vivida durante su desarrollo y los resultados obtenidos son mantenimiento correctivo cero en 9 meses de trabajo continuo a la fecha y performance óptima del sistema.



## CAPITULO II

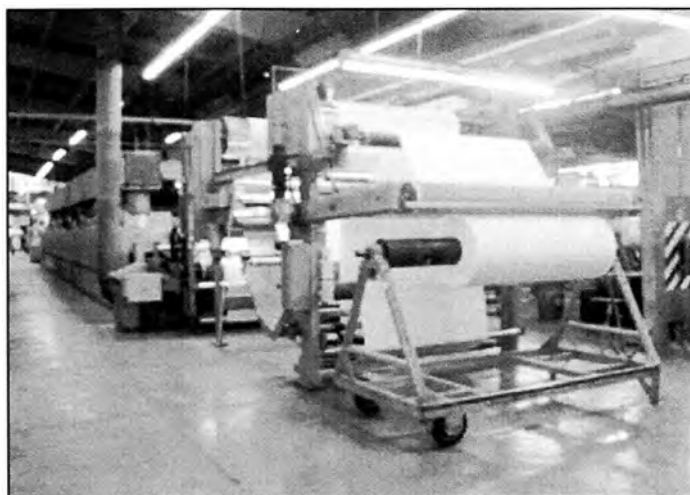
### DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto se desarrolla en la empresa Creditex SAA situado en Los Hornos 185 Urb. Vulcano Ate-Vitarte, Lima, Perú.



*Figura 2.1: LOGO CREDITEX*

La máquina en donde se realizó el trabajo pertenece al rubro textil y se le conoce como Rama Monforts, modelo Montex, diseñada para dar tratamiento a la tela la cual es utilizada para la elaboración de camisas, pantalones, y demás ropa de vestir, entre los tratamientos realizados a la tela se encuentran los destinados para procesos químicos y físicos.



*Figura 1.2: RAMA MONFORTS, MODELO MONTEX*

Los procesos realizados en la RAMA MONFORT son los siguientes:

Termofijado del ancho de tela:

Se uniformiza el ancho a través de dos cadenas que sostienen cada lado de la tela y cuya distancia es regulable, luego es sometido a las cámaras de calor donde estas características físicas son fijadas por acción de la temperatura.

Tratamiento químico a la tela:

Previo a la etapa de la cámara de calor, en la zona denominada FOULARD, la tela puede ser tratada por agentes químicos los cuales luego reaccionarán por efecto de la temperatura, estos agentes pueden dar propiedades previas a la tela necesarias para realizar siguientes procesos, como por ejemplo una coloración de la tela o estampado de la tela.

Acabado de tela:

Se le añaden soluciones químicas a la tela, las cuales tendrán la reacción química en las cámaras de calor, para darle propiedades finales como por ejemplo suavizantes o termofijado de los estampados.

Secado de tela:

La tela es sometida a una temperatura de secado en las 6 cámaras de calor con temperatura regulada para poder extraer la humedad en la tela adquirida en procesos previos.

La Rama Monforts, modelo Montex, tiene fabricación en Alemania en el año 1986 con una longitud aproximada de 50 metros de los cuales 20 metros son 6 cámaras de secado con temperatura controlada para diferentes procesos, el sistema de impulsión de tela posee 9 accionamientos conforme al nivel tecnológico de esa época, la instalación fue equipada con motores de corriente continua controlados vía reguladores tiristorizados. El sincronismo de la instalación se obtiene mediante el llamado "sistema de control digital".

Con el correr de los años esta tecnología se fue haciendo obsoleta comenzando así a tener problemas principalmente con el sistema de impulsión, y la respectiva adquisición de repuestos para sus reparaciones y con un número significativo de paradas imprevistas.

## CAPITULO III

### CONCEPTOS PREVIOS

#### 3.1 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA DC DE EXITACIÓN SEPARADA

##### 3.1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Según la Ley de Lorentz, cuando un conductor por el que pasa una corriente eléctrica se sumerge en un campo magnético, el conductor sufre una fuerza perpendicular al plano formado por el campo magnético y la corriente.

En la Figura 3.1 se muestra el esquema de un motor DC simplificado, en donde se muestra la influencia de la Ley de Lorentz para generar el movimiento en el eje del motor.

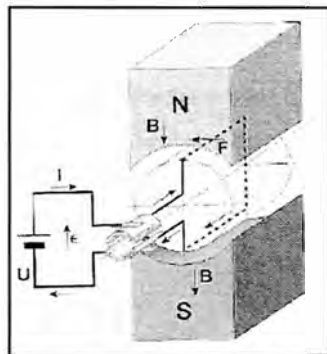


Figura 3.1: MOTOR DC SIMPLIFICADO

##### 3.1.2 CIRCUITO EQUIVALENTE

El inductor crea un campo magnético: este campo puede ser de magnetos (imanes permanentes) o bobinas en el estator.

En un motor DC, la armadura lleva conductores. Estos están montados en un rotor móvil alrededor de un eje fijo y rota bajo la influencia de un campo magnético.

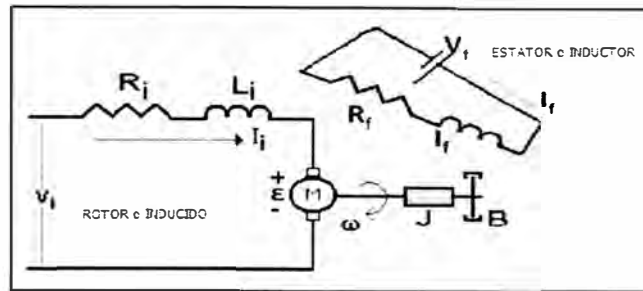


Figura 3.2: MODELO ELÉCTRICO EQUIVALENTE

- $V_i$ : Tensión de alimentación del rotor o armadura en Volts.
- $I_i$ : Corriente que circula por el rotor, intensidad de armadura en Amperios.
- $R_i$ : Resistencia del bobinado del rotor en ohms.
- $L_i$ : Inductancia del bobinado del rotor en henrios.
- $\varepsilon$ : Fuerza contra-electromotriz del motor en Volts.
- $V_f$ : Tensión de alimentación del estator o de campo en Volts.
- $I_f$ : Corriente que circula por el estator, intensidad de campo en Amperios.
- $R_f$ : Resistencia del bobinado del estator en ohms.
- $L_f$ : Inductancia del bobinado del estator en henrios.
- $\omega$ : Velocidad de rotación del rotor en rad/seg.
- $J$ : momento de inercia equivalente del eje rotor con carga en  $\text{Kg.m}^2$ .
- $B$ : Coeficiente de rozamiento viscoso.
- $K_b$  = Constante de fuerza contra-electromotriz en Volts.seg.
- $K_p$  = constante de torque electromagnético en Newton.metro/Amperios.
- $\tau_e$  = Torque generado por el campo magnético del estator en Newton.metro.
- $\tau_f$ : Torque generado por la fricción en Newton. metro.
- $\tau_c$ : Torque resultante en Newton. metro.

### 3.1.3 CURVAS DE TORQUE, CORRIENTE Y VELOCIDAD

Solucionando el modelo matemático y considerando que el valor de la constante  $L_i$  para motores de corriente continua separadamente excitado es aproximadamente cero tenemos:

$$\omega(t) = \frac{V_i}{\beta} \times \left(1 - e^{-\left(\frac{\beta}{\gamma}\right)t}\right) \dots \text{ecuación N}^\circ 3.1$$

Se define a las constantes  $\beta$  y  $\gamma$  como:

$$\gamma = \frac{R_i \times J}{K_p}; \quad \beta = \frac{R_i \times B}{K_p} + K_b;$$

En la figura 3.3 se grafica la ecuación 3.1 en donde podemos ver el comportamiento de la velocidad en función del tiempo.

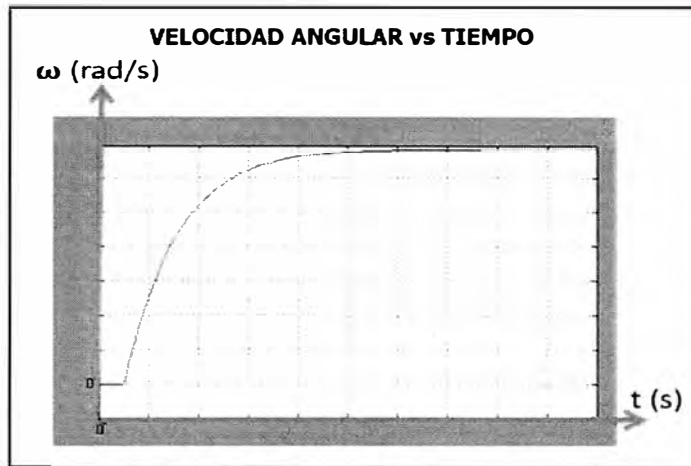


Figura 3.3: VELOCIDAD ANGULAR vs TIEMPO

El comportamiento de la fuerza contra-electromotriz con respecto al tiempo está expresada en la ecuación 3.2.

$$\varepsilon = K_b \times \omega(t) \dots \text{ecuación N}^\circ 3.2$$

En la figura 3.4 se grafica la ecuación 3.2 en donde podemos observar el comportamiento de la fuerza contra-electromotriz con respecto al tiempo:

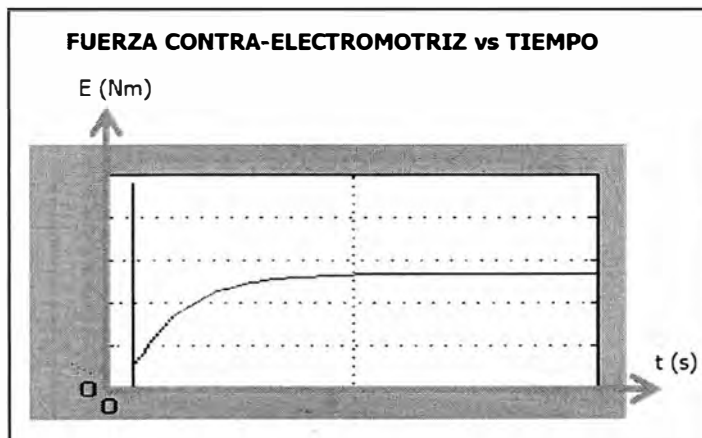


Figura 3.4: FUERZA CONTRA-ELECTROMOTRIZ vs TIEMPO

El comportamiento de la corriente de armadura con respecto al tiempo está expresada en la ecuación 3.3.

$$I_i(t) = \frac{v_i}{K_p} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{J}{\gamma} \right) \times e^{-\left(\frac{\beta}{\gamma}\right)t} \right] \dots \text{ecuación N}^\circ 3.3$$

En la figura 3.5 se grafica la ecuación 3.3 en donde podemos observar el comportamiento de la corriente que circula en el rotor en función del tiempo.

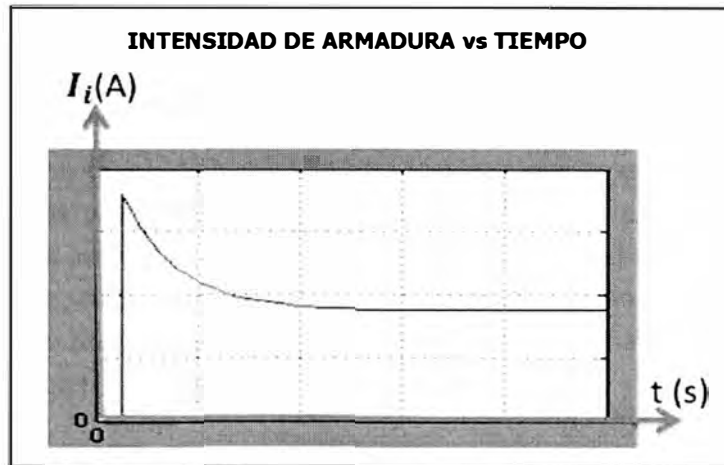


Figura 3.5: INTENSIDAD DE ARMADURA vs TIEMPO

El comportamiento del torque generado en el rotor con respecto al tiempo esta expresado en la ecuación 3.4

$$\tau_e = K_p \cdot I_i(t) \dots \text{ecuación N}^\circ 3.4$$

En la figura 3.6 se grafica la ecuación 3.4 en donde podemos observar el comportamiento del torque generado en el rotor en función del tiempo

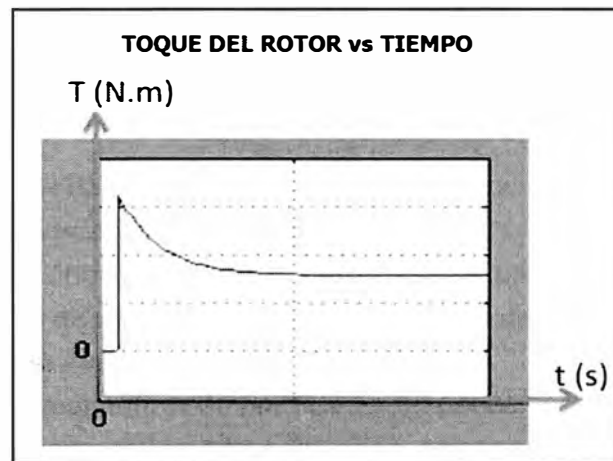


Figura 3.6: TORQUE DEL ROTOR vs TIEMPO

El comportamiento de los motores DC se pueden observar de las curvas:

- Muy buen control de velocidad.
- Torque constante en todo el rango de velocidad.
- Alto toque al arranque.

## 3.2 MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFÁSICOS AC CON ROTOR JAULA DE ARDILLA

### 3.2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El estator de un motor trifásico de inducción está formado por un conjunto de tres bobinas, las cuales son alimentadas por un sistema trifásico de corrientes, esto da origen a un campo magnético giratorio de módulo constante. Al colocar dentro del estator un número espiras montadas sobre un eje, cuyo único movimiento permitido es el de rotación, tendremos como resultado una variación de flujo en un circuito cerrado, esto originará una fuerza electromotriz inducida (Ley de Faraday).

### 3.2.2 CIRCUITO EQUIVALENTE

El circuito equivalente del motor trifásico de inducción o asíncrono, puede asimilarse al de un transformador. Las pérdidas por la resistencia en el hierro del estator son despreciables.

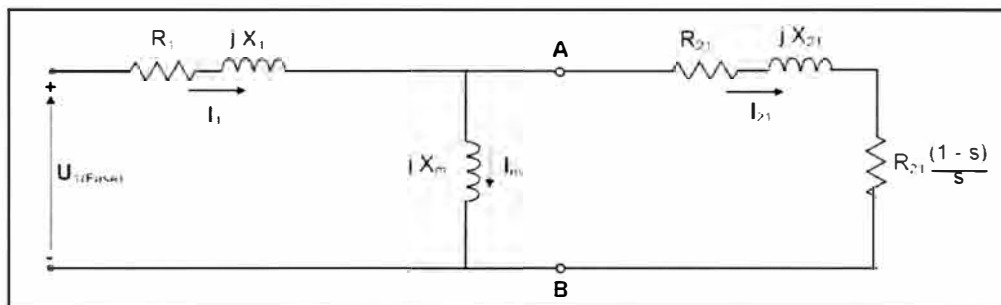


Figura 3.7: CIRCUITO EQUIVALENTE APROXIMADO DE UNA FASE DEL MOTOR TRIFÁSICO DE INDUCCIÓN

- $U_1$ : Tensión de fase de alimentación al motor en Volts.
- $I_1$ : Corriente estatórica con carga en Amperios.
- $R_1$ : La resistencia óhmica de la bobina estatórica de una fase en ohm.
- $X_1$ : Reactancia de dispersión de la bobina estatórica de una fase en ohm.
- $X_m$ : Reactancia de magnetización por fase en ohm.
- $I_m$ : Intensidad de magnetización por fase en Amperios.
- $I_{21}$ : Intensidad en el rotor en Amperios.
- $R_{21}$ : La resistencia óhmica en el conductor del rotor en ohm.
- $X_{21}$ : Reactancia de dispersión en el conductor del rotor en ohm.

### 3.2.3 COMPORTAMIENTO DEL TORQUE GENERADO

A medida que aumenta la velocidad del rotor, también lo hace el torque y después de pasar por el un valor máximo disminuye bruscamente. La zona de funcionamiento, es la que se encuentra a la derecha del valor máximo de torque, y a la velocidad en la que se iguala el torque del motor con el torque resistente de acuerdo a lo mostrado en la figura 3.8.

En esta zona el motor se adapta a pequeños cambios en el torque resistente, a saber:

- ✓ Si el torque resistente aumenta, el eje del motor tiende a disminuir su velocidad, con lo cual aumenta el torque del motor hasta que ambas se igualan (Punto A), y se mantiene en esa nueva situación.

- ✓ Si el torque resistente se reduce, el eje del motor tiende a aumentar su velocidad, con lo cual disminuye el torque del motor hasta que ambas se igualan (Punto B), y se equilibra en la nueva situación.

En esta zona que es la de funcionamiento estable, la variación de la velocidad con el torque es muy pequeña.

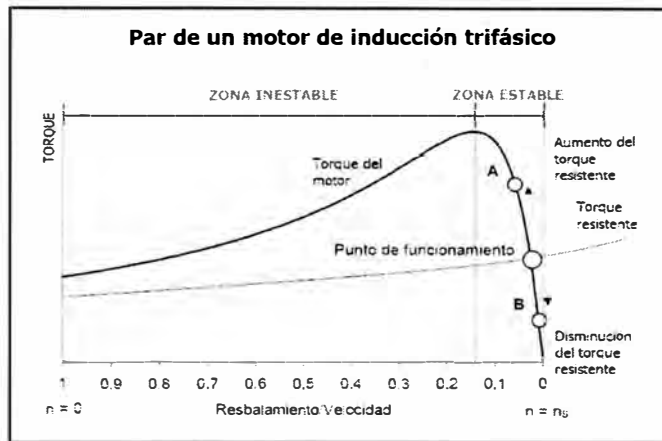


Figura 3.8: PAR DEL MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO

Los motores de inducción o asíncronos son aptos para aquellos requerimientos en los cuales no se deba mantener una velocidad constante, ya que este tipo de motores, disminuye ligeramente su velocidad con el aumento de la carga en su eje.

### 3.2.4 CURVAS DE TORQUE, CORRIENTE Y POTENCIA

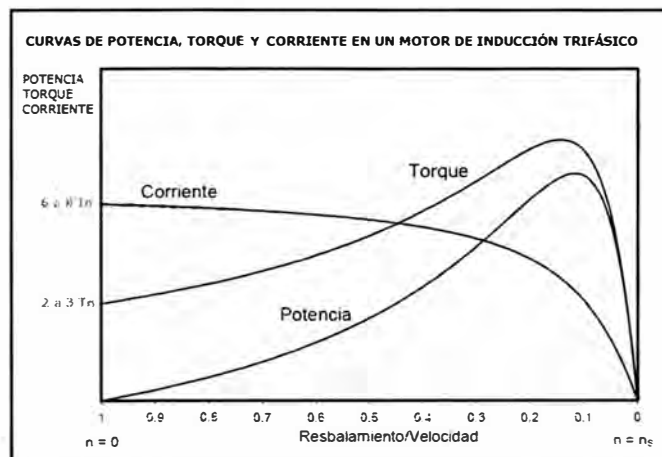


Figura 3.9: CURVAS DE POTENCIA, TORQUE Y CORRIENTE EN UN MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO

El comportamiento de los motores de inducción se pueden observar de las curvas:

- ✓ No tiene un muy buen control de velocidad.
- ✓ Tiene una zona inestable considerable.
- ✓ El par no es constante en todo el rango de velocidades.
- ✓ El torque al arranque es moderado.
- ✓ La corriente de arranque es considerablemente alta.



### 3.3 SERVOMOTORES DE CORRIENTE ALTERNA AC CON ROTOR DE IMANES PERMANENTES

#### 3.3.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SERVOMOTOR

En la figura 3.10 el campo magnético rotatorio creado por las tres bobinas ejerce efectos en el magneto colocado en el centro, dicho magneto sigue el campo magnético rotatorio y rota a la misma velocidad por lo que decimos que el magneto y el campo resultante son síncronos.

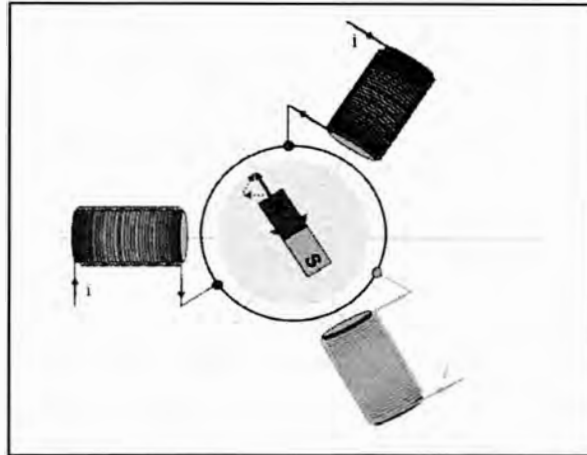


Figura 3.10

#### 3.3.2 VENTAJAS DE LOS SERVOMOTORES:

##### 3.3.2.1 Alta Velocidad

Velocidad Síncrona

$$n_s = \frac{f \cdot p}{60} \dots \text{ecuación N}^\circ 3.5$$

- $n_s$ : Velocidad de sincronismo en RPM.
- $f$ : Frecuencia de las corrientes estatóricas en Hz.
- $p$ : Pares de polos magnéticos.

Si esto fuera un motor de inducción deberíamos restarle el resbalamiento, los servomotores al poseer imanes permanentes adquieren la característica que el campo del rotor se alinee al campo del estator girando a la misma velocidad síncrona.

En la figura 3.11 se observa que se genera Coggin "aleatorio" pues los magnetos no están separados a la misma distancia. Esto mejora la performance a baja velocidad.



Figura 3.11 ROTOR DE IMANES PERMANENTES

### 3.3.2.2 Baja Inercia ( $J_{ROTOR}$ )

Los servomotores tienen una inercia más baja que los motores de inducción para el mismo torque nominal.

En la figura 3.12 podemos apreciar la comparación de las inercias entre un rotor de motor de inducción (derecha) y un rotor de servomotor (izquierda) los cuales entregan los mismos torque nominales.

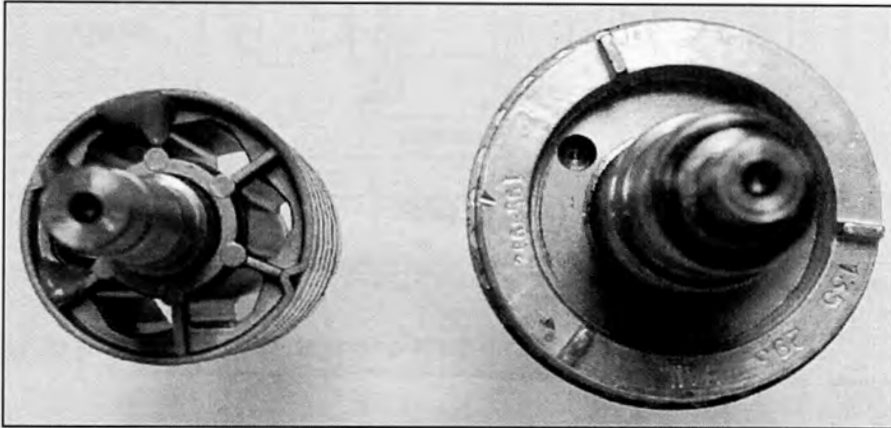


Figura 3.12

En la figura 3.13 podemos apreciar los valores en comparación de un motor con un torque de  $\cong 2,7$  Nm

| Motor Type            | Inercia $J_{rotor}$<br>( $\times 10^{-4}$ Kg $m^2$ ) | Factor |
|-----------------------|--|--------|
| 6 pole induction      | 6.6  | 66     |
| 4 pole induction      | 4.4  | 44     |
| 2 pole induction      | 4.6  | 46     |
| 6 pole servo 3000 rpm | 0.1  | 1      |
| 6 pole servo 4500 rpm | 0.1  | 1      |
| 6 pole servo 6000 rpm | 0.1  | 1      |

Figura 3.13

Otra de las contribuciones de una baja inercia es que el nivel de aceleración que se pueden alcanzar en un servomotor es mucho mayor al de un motor de inducción.

$$\alpha_{ROTACIÓN} = \frac{T_i}{J_{ROTOR} + J_{CARGA}} \dots \text{ecuación N}^\circ 3.6$$

- $T_i$  : Torque interno en Newton.metro.
- $\alpha_{ROTACIÓN}$  : Aceleración angular del rotor en rad/seg<sup>2</sup>.
- $J_{ROTOR}$  : Inercia del rotor en Kg.m<sup>2</sup>.
- $J_{CARGA}$  : Inercia de la carga en Kg.m<sup>2</sup>.

Debido a que la inercia del rotor es menor, la aceleración de rotación para un mismo torque entregado es mayor y con esto el servomotor posee una excelente performance dinámica (rápida aceleración. y desaceleración).

### 3.3.2.1 Minimizar la relación $J_{\text{CONDUCIDO}}/J_{\text{CONDUCTOR}}$

En un sistema como se muestra en la figura 3.14 la relación entre la inercia del elemento conducido y el elemento conductor determina la estabilidad del sistema, no teniendo este valor superar el valor de 10.

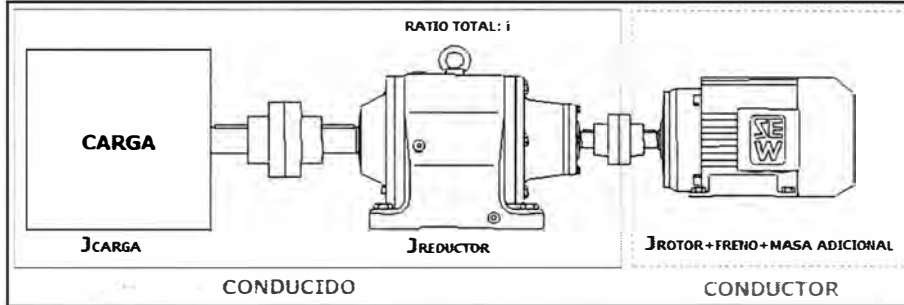


Figura 3.14

$$\text{Factor de aceleración de las masas} = \frac{\text{Todos los momentos de inercia externos referidos a la velocidad del motor}}{\text{Momento de inercia en el extremo del motor}} \dots \text{ecuación N}^\circ 3.7$$

La ecuación 3.7 se puede expresar de modo simplificado como:

$$J_{\text{RATIO}} = \frac{J_{\text{CONDUCIDO}}}{J_{\text{CONDUCTOR}}} \dots \text{ecuación N}^\circ 3.8$$

Donde:

- $J_{\text{RATIO}}$ : Factor de aceleración de masas
- $J_{\text{CONDUCIDO}}$ : Todos los momentos de inercia referidos a la velocidad del motor
- $J_{\text{CONDUCTOR}}$ : Momento de inercia en el extremo del motor

"Todos los momentos de inercia externos referidos a la velocidad del motor" son los momentos de inercia de la maquinaria accionada y el reductor, reducido a la velocidad del motor.

$$J_{\text{CONDUCIDO}} = J_X + J_{\text{REDUCTOR}} \dots \text{ecuación N}^\circ 3.9$$

Donde:

- $J_X$ : Momento de inercia de la carga reducido al eje del motor
- $J_{\text{REDUCTOR}}$ : Momento de inercia del reductor reducido al eje del motor

El cálculo para escalar hacia abajo a la velocidad del motor se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$J_X = \frac{J_{\text{CARGA}}}{\left(\frac{n}{n_M}\right)^2} \dots \text{ecuación N}^\circ 3.10$$

Donde:

- $J_{\text{CARGA}}$ : Momento de inercia de la carga reducido al eje del reductor
- $n$ : Velocidad de salida del reductor
- $n_M$ : Velocidad del motor

"Momento de inercia en el extremo del motor" es el momento de inercia del motor y, si está instalado, el freno, el ventilador pesado y/o masa adicional.

$$J_{CONDUCTOR} = J_{ROTOR} + J_{FRENO} + J_{VENTILADOR\ PESADO} + J_{MASA\ ADICIONAL} \dots \text{ecuación N}^\circ 3.11$$

Reemplazando las ecuaciones 3.9 y 3.11 en 3.8 tenemos:

$$J_{RATIO} = \frac{\left(\frac{J_{CARGA}}{i^2}\right) + J_{REDUCTOR}}{J_{ROTOR} + J_{FRENO} + J_{VENTILADOR\ PESADO} + J_{MASA\ ADICIONAL}} \dots \text{ecuación N}^\circ 3.12$$

Finalmente mencionamos que la opción de ventilador pesado no está disponible para servomotores SEW, pero si contamos con la opción de colocar una masa adicional al rotor en caso de tener una carga extrema, mejorando así la estabilidad del sistema.

### 3.3.2.3 Alta densidad de torque ( $\rho$ )

La densidad de torque está determinada por la relación entre el torque entregado y el volumen del accionamiento y se expresa numéricamente en la ecuación 3.13.

$$\rho = \frac{TORQUE}{VOLUMEN} \dots \text{ecuación N}^\circ 3.13$$

En la figura 3.15 se muestra un comparativo entre los volúmenes de motores de inducción y servomotores con Torque  $\cong 2,7\text{Nm}$

| Motor Type            | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Factor |
|-----------------------|---------------------------|--------|
| 6 pole induction      | 1696                      | 9      |
| 4 pole induction      | 1696                      | 9      |
| 2 pole induction      | 1696                      | 9      |
| 6 pole servo 3000 rpm | 188                       | 1      |
| 6 pole servo 4500 rpm | 188                       | 1      |
| 6 pole servo 6000 rpm | 188                       | 1      |

Figura 3.15

Este factor mencionado en la figura 3.15 puede mostrarse de manera directa en la figura 3.16



Figura 3.16

Al tener una alta densidad de torque le da al servomotor una capacidad de sobrecarga (hasta 3,5 veces).

### 3.3.2.4 Requerimientos de espacio

Las diferencias en longitud de un motor de inducción y un servomotor de imanes permanentes se comparan en la figura 3.17 para motores que entregan 2.7Nm.

| Motor Type            | Length (cm) | Length Factor |
|-----------------------|-------------|---------------|
| 6 pole induction      | 28,5        | 2.32          |
| 4 pole induction      | 28,5        | 2.32          |
| 2 pole induction      | 28,5        | 2.32          |
| 6 pole servo 3000 rpm | 12.2        | 1             |
| 6 pole servo 4500 rpm | 12.2        | 1             |
| 6 pole servo 6000 rpm | 12.2        | 1             |

Figura 3.17

Este factor mencionado en la figura 3.17 puede mostrarse de manera directa en la figura 3.18.

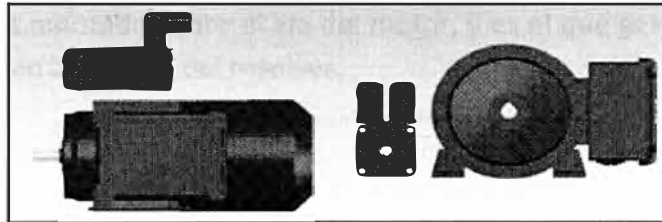


Figura 3.18

### 3.3.2.5 Dispositivo de realimentación de posición

El resolver es usado para determinar la posición absoluta del eje del motor sobre una revolución.

El resolver opera con el principio de un transformador rotativo. Tanto rotor, como el estator son bobinados.



Figura 3.19: RESOLVER

El estator está constituido por dos bobinados, desplazados entre sí a un ángulo igual a 90°.

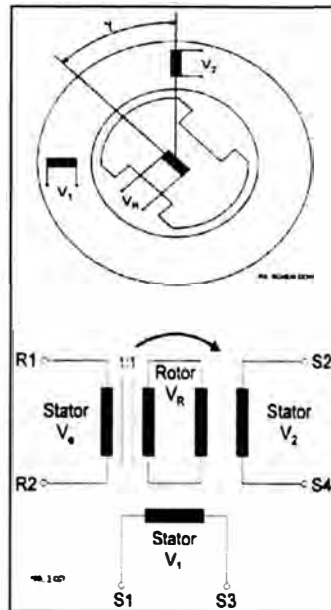


Figura 3.20: DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL RESOLVER

El rotor del resolver es montado sobre el eje del motor, y es el que generará el cambio de los voltajes que se inducirán al estator del resolver.

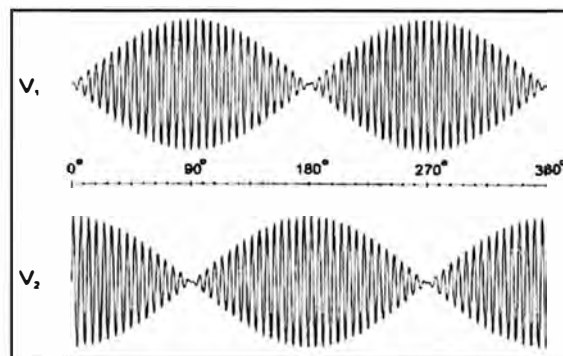


Figura 3.21: SEÑAL MODULADA DE SALIDA DEL RESOLVER

Con este elemento de realimentación el servomotor adquiere las siguientes características:

- Precisión en el posicionamiento
- Precisión en control de la velocidad
- Control en todo el rango de velocidad
- Torque estático y Dinámico
- Estabilidad en el torque

### 3.3.3 DESVENTAJAS DE LOS SERVOMOTORES

- Son más costosos por tamaño.
  - Requieren dispositivo de realimentación para todo tipo de aplicación.
  - Requiere electrónica para hacer mover al motor.
  - Requiere mayor conocimiento de inercias
  - Se necesita un conocimiento más detallado de toda la aplicación
- ✓ CDF (ciclo)
  - ✓ Valores térmicos
  - ✓ Forma de movimiento
  - ✓ Inercias

### 3.3.4 CUADRO COMPARATIVO

| CARACTERÍSTICAS                 | MOTOR CC                          | MOTOR DE AC con VDF               | MOTOR AC con VDF<br>En lazo cerrado | MOTOR<br>PMSM = Servo             |
|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| RANGO DE CONTROL                | 100 (300) :1                      | 10 (20) :1                        | 100:1                               | 300:1                             |
| CAPACIDAD DE SOBRECARGA         | 150 ... 200                       | 150                               | 170                                 | 300                               |
|                                 |                                   |                                   |                                     |                                   |
| VENTILACIÓN FORZADA             | SI                                | SI                                | SI                                  | NO                                |
| TORQUE ESTÁTICO                 | LIMITADO                          | NO                                | LIMITADO                            | SI                                |
| MANTENIMIENTO                   | EXTENSO                           | POCO                              | POCO                                | POCO                              |
| OPERACIÓN CON MASAS GRANDES     | EXCELENTE                         | BUENO                             | BUENO                               | Dificultades al tener bajo JMOTOR |
| PRECISIÓN EN EL POSICIONAMIENTO | Depende del Tacogen.y periféricos | Notan bueno como con lazo cerrado | ± 50 minutos angulares              | ± 5 minutos angulares             |

Figura 3.22: CUADRO COMPARATIVO DE CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES

### 3.4. CAMBIO DE MOTORES DC POR MOTORES AC

- ✓ Un MOTOR DC necesita un mantenimiento preventivo constante.
  - ✓ El mantenimiento preventivo y correctivo de un MOTOR DC es costoso.
  - ✓ Las partes y piezas que se cambian en el mantenimiento de un Motor DC muchas veces no son originales, debido a que el fabricante ya no fabrica dichas partes y piezas (descontinuadas).
  - ✓ Son pocos los fabricantes que siguen dando soporte a este tipo de motores y controladores.
  - ✓ Si el variador electrónico del MOTOR DC se malograra, el costo por la reparación o por un equipo nuevo, sería sumamente costoso.
  - ✓ La importación de un controlador para un motor DC es costoso y el tiempo de entrega es muy largo.
- 
- ✓ Un MOTOR AC no necesita un mantenimiento preventivo frecuente.
  - ✓ El mantenimiento preventivo y correctivo de un MOTOR AC es mucho más barato que el de un MOTOR DC.
  - ✓ El costo de un MOTOR AC, es mucho menor que el costo de un MOTOR DC. La relación en costos es de 4 a 1 aproximadamente.
  - ✓ Si el convertidor de frecuencia sufriera daño, la reparación o el cambio por un equipo nuevo no es caro respecto a un variador electrónico para motor DC. El tiempo de entrega por el reemplazo es sumamente rápido.
  - ✓ Son muchos los fabricantes que dan soporte a este tipo de motores y controladores.



### 3.5 SELECCIÓN DE MOTORREDUCTORES

#### 3.5.1 FACTOR DE SERVICIO DE LA APLICACIÓN (FB)

Para dimensionar y seleccionar correctamente un ACCIONAMIENTO es imprescindible el conocimiento exacto de su **aplicación**. Las condiciones de servicio y su influencia sobre el reductor, se expresan internacionalmente en los llamados FACTORES DE SERVICIO ( $f_B$ ) cuyas curvas son mostradas en el diagrama siguiente:

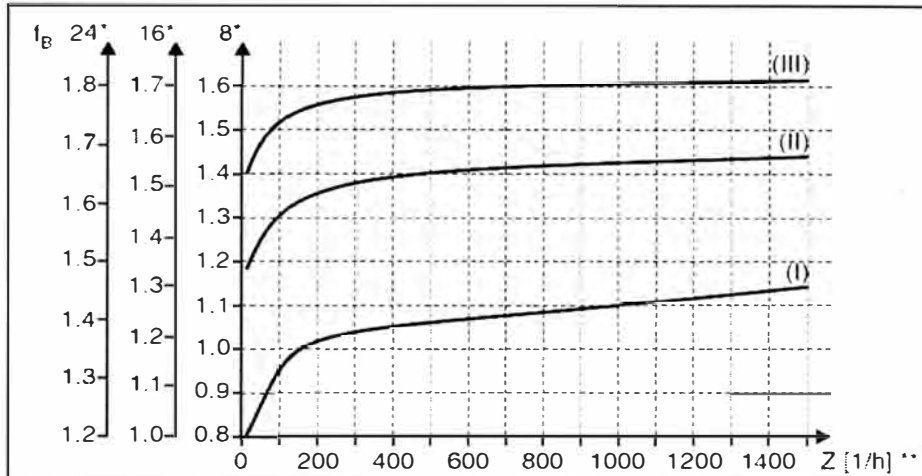


Figura 3.23: FACTOR DE SERVICIO  $f_B$

- ✓ \*Tiempo de operación diaria en Horas/Día
- ✓ \*\*Frecuencia de arranques Z: Los ciclos incluyen todos los procedimientos de arranque y frenado, así como los cambios de de baja a alta velocidad, y viceversa.

Los valores de las curvas de “Factores de Servicio” resultaron de experiencias prácticas y fueron comprobados científicamente en pruebas de laboratorio. La carga equivalente sobre el reductor, en relación al torque nominal o la carga radial nominal, es mayor o menor en proporción al factor de servicio  $f_B$ .

A continuación mencionamos los diferentes tipos de carga que se consideran en las curvas de “Factor de Servicio”:

#### 1. Masas uniformes, pequeñas, a ser aceleradas:

Ventiladores, bombas centrífugas, agitadores, mezcladores de líquidos y semilíquidos de densidad constante, perforadoras, máquinas lavadoras y embotelladoras de bebidas, mesas de montaje, transportadores de correas, elevadores inclinados, elevadores para cargas pequeñas, plataformas, alimentadores de hornos, puertas correderas, transportadores de tornillos con velocidad constante, alimentadores, enlatadoras, elevadores, etc.

## 2. Choques moderados, masas medias a ser aceleradas :

Ventiladores pesados, bombas de engranajes y rotativas, agitadores, mezcladores para líquidos de densidad variable, amasadores, ganchos, portones, transportadores de correa trabajando en servicio irregular, elevadores de servicio pesado, hornos rotativos, tambores, molinos de bola, bases giratorias, balancines, etc.

## 3. Choques pesados, masas grandes a ser aceleradas:

Bombas de émbolo, centrífugas, transportadores vibratorios, prensas de estampar, guillotinas, transportadora de rodillos accionados, máquinas de fundición, prensas, tambores de limpieza, mezcladores de goma, molinos para cemento, etc.

Para los tipos de carga mencionados se tiene un factor de aceleración de las masas admisible asociados a ellos:

- ✓ Uniforme: Factor de aceleración de las masas admisibles  $\leq 0.2$ .
- ✓ Choques moderados: Factor de aceleración de las masas admisibles  $\leq 3$ .
- ✓ Choques fuertes: Factor de aceleración de las masas admisibles  $\leq 10$ .

En las tablas de potencias de SEW, todos los accionamientos son calculados con velocidades de salida que puedan desarrollar un servicio continuo en máquinas accionadas con carga uniforme y pequeñas masas a ser aceleradas (Tipo de carga I).

De esta forma, los reductores de engranajes helicoidales y cónicos trabajan dentro del rango de resistencia permanente a la fatiga.

### 3.5.2 FACTOR DE SERVICIO DEL REDUCTOR ( $F_B$ )

El factor de servicio de un reductor de velocidad se define como el número de veces que este es capaz de soportar el torque generado por el sistema. Generalmente, el factor de servicio se calcula basado en la potencia nominal del motor instalado.

$$F_B = \frac{M_n}{M_a} \dots \text{ecuación N}^\circ 3.14$$

- $F_B$ : Factor de Servicio
- $M_n$ : Torque nominal de la caja reductora
- $M_a$ : Torque a la velocidad de salida

### 3.5.3 ÍNDICE DE REDUCCIÓN O RATIO ( $i$ )

Es la relación entre la velocidad del motor y la velocidad de salida del reductor. El índice de reducción se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$Ratio (i) = \frac{\text{Velocidad del Motor}}{\text{Velocidad a la Salida de Reductor}} \dots \text{ecuación N}^\circ 3.15$$

### 3.5.4 PAR O TORQUE ( $M_a$ ) A LA VELOCIDAD DE SALIDA DEL REDUCTOR

Es el máximo torque para romper la inercia y permitir el movimiento rotativo.

$$M_a [Nm] = \frac{9550 \times P [kW]}{n_s [RPM]} \dots \text{ecuación N}^\circ 3.16$$

- P: Potencia nominal en la entrada [kW].
- $M_a$ : Torque nominal en la salida [Nm].
- $n_s$ : Velocidad en la salida [RPM].

### 3.5.5 RENDIMIENTO MECÁNICO

Es la relación entre la Potencia Absorbida y la Potencia Motriz.

$$\eta_{\text{Mecánico}} = \frac{\text{Potencia Absorbida}}{\text{Potencia Motriz}} \dots \text{ecuación N}^\circ 3.17$$

Los reductores SEW tienen una eficiencia de 1.5% de pérdidas por etapa del reductor.

### 3.5.6 TIPO DE REDUCTOR

La clasificación de reductor está dada por el tipo de engranajes que utilizan, estos pueden ser:

1. Reductor de engranajes helicoidales de ejes coaxiales (TIPO R).

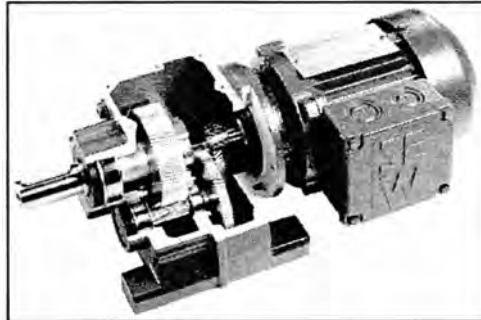


Figura 3.24

2. Reductor de engranajes helicoidales de ejes paralelos (TIPO F).

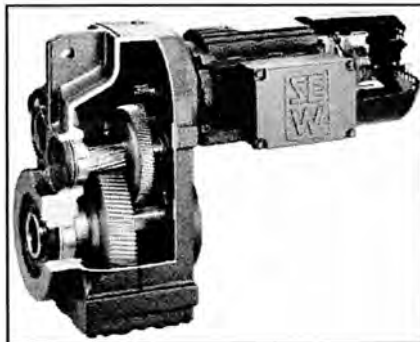


Figura 3.25

3. Reductor de engranajes cónico-helicoidales de ejes perpendiculares (TIPO K).

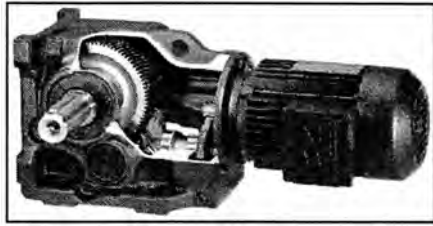


Figura 3.26

4. Reductor de tornillo sinfín-corona con par helicoidal de entrada (TIPO S).

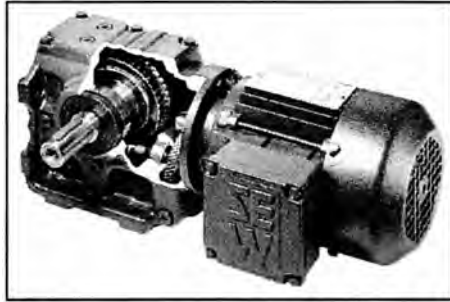


Figura 3.27

### 3.5.7 TIPO DE EJE DE SALIDA

Los tipos de ejes de salida se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Eje sólido de 1 lado.

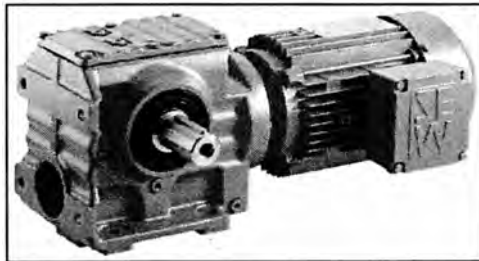


Figura 3.28

2. Eje hueco con chaveta.



Figura 3.29

3. Eje sólido de 2 lados.



Figura 3.30

4. Eje hueco con anillo de contracción.

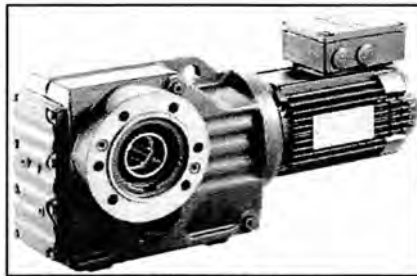


Figura 3.31

### 3.5.8 FORMA DE MONTAJE

Los reductores dependiendo de su configuración pueden ser montados de las siguientes maneras:

1. Montaje por Brida.

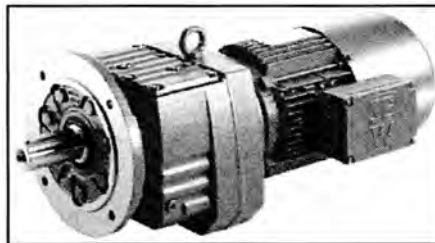


Figura 3.32

2. Montaje por "Campana" RM.



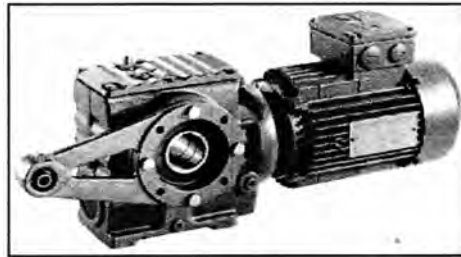
Figura 3.33

3. Montaje por Patas y Base para Motor (+polea).



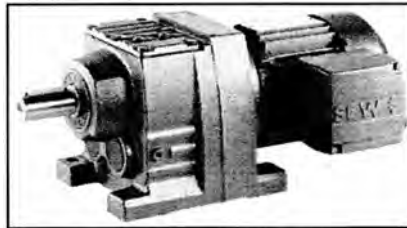
*Figura 3.34*

4. Montaje Directo al Eje más Brazo de Torque.



*Figura 3.35*

5. Montaje por Patas.



*Figura 3.36*

6. Montaje por Patas y Tapa de Entrada.



*Figura 3.37*

### 3.5.9 POSICIÓN DE MONTAJE

Las posiciones de montaje de los motorreductores son las siguientes

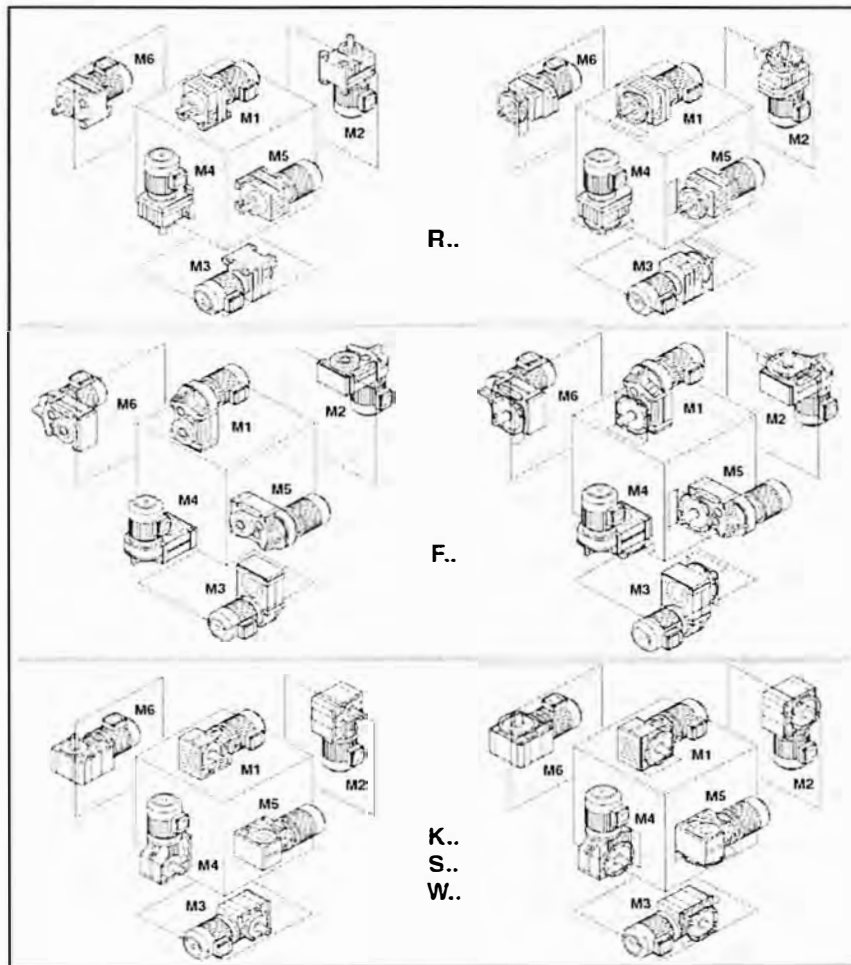


Figura 3.38

### 3.5.10 SENTIDO DE GIRO Y POSICIÓN DEL EJE HUECO/SÓLIDO

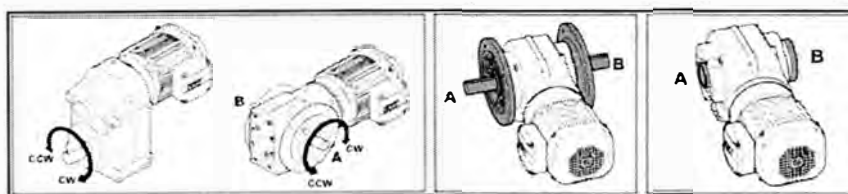


Figura 3.39

### 3.5.11 POSICIÓN DE CAJAS DE BORNERAS

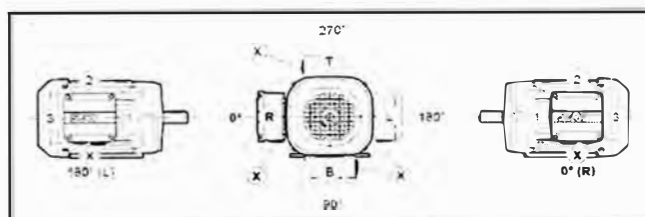


Figura 3.40

### 3.6 TEORIA DE LOS CONVERTIDORES DE FRECUENCIA

#### 3.6.1 ETAPAS DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA

Los convertidores de frecuencia cuentan con tres etapas básicas, la primera es la llamada etapa rectificadora o etapa de enlace  $V_{DC}$  en donde la tensión de entrada, tensión alterna, es rectificadora a una tensión continua. Esta tensión continua pasa a la segunda etapa llamada etapa de bus de enlace, la cual posee filtros para eliminar el rizado, por último se tiene la etapa inversora la cual consiste de tiristores comandados por el CPU del variador para crear una onda modulada de tensión y frecuencia eficaz, la cual se entregará al motor ó servomotor.

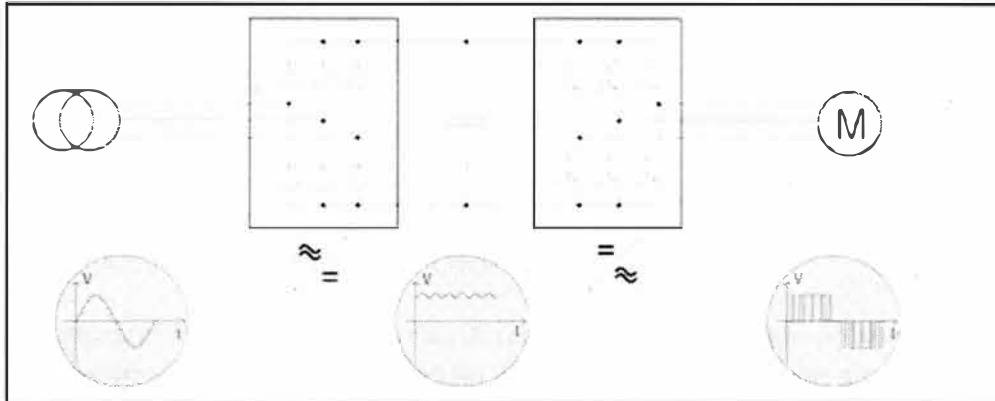


Figura 3.41: ETAPAS DE UNA VARIADOR DE FRECUENCIA

#### 3.6.2 ESQUEMA BÁSICO

El variador de frecuencia cuenta adicionalmente con módulos de sensado de corriente, voltaje, los cuales junto a las señales de entrada (analógicas y/o digitales) serán utilizados en la lógica programada en el CPU para poder comandar el control de disparo de los tiristores y señales de salidas (analógicas y/o digitales).

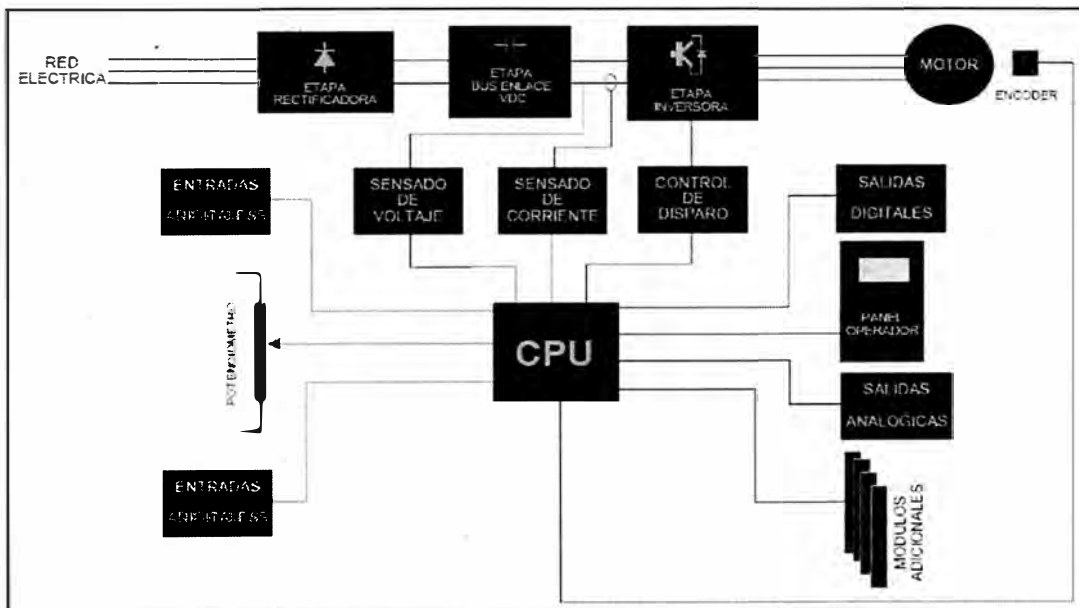


Figura 3.42: ESQUEMA BÁSICO DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA



### 3.6.3 ETAPA INVERSORA DE POTENCIA

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 son conectados en paralelo a cada transistor de potencia, para prevenir voltajes inducidos.



Figura 3.43: ETAPA INVERSORA DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA

### 3.6.4 RESISTENCIA DE FRENADO Y FRENO CHOPPER

Cuando se produce el frenado o una corriente regenerativa, la energía producida no retorna a la fuente de alimentación provocando falla en el variador en caso de ser alta la regeneración, sino ésta es convertida en calor por la resistencia de frenado BW.

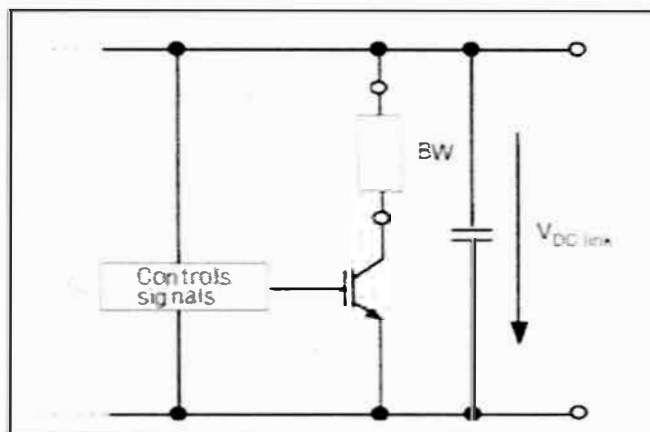
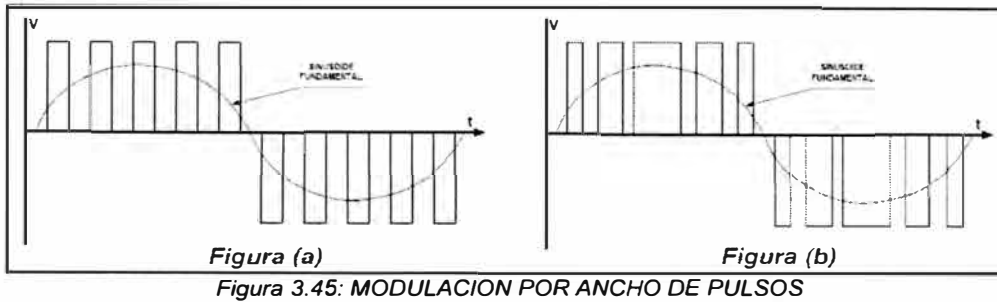


Figura 3.44: RESISTENCIA DE FRENADO

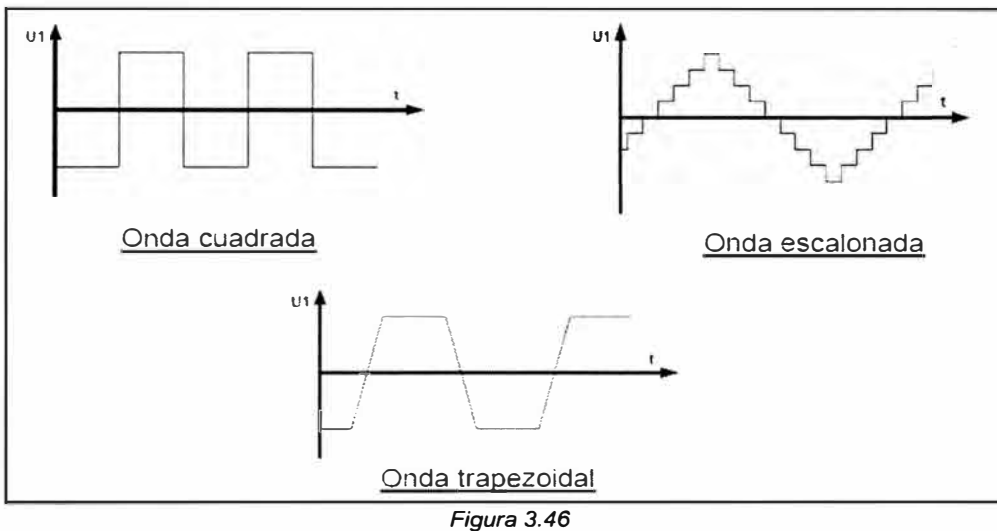
### 3.6.5 TÉCNICA PWM (MODULACIÓN DEL ANCHO DE PULSOS)

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. Como se muestra en la forma de onda de la figura 3.45 (a), los transistores del circuito inversor son conmutados, de tal manera que producen pulsos de igual ancho.

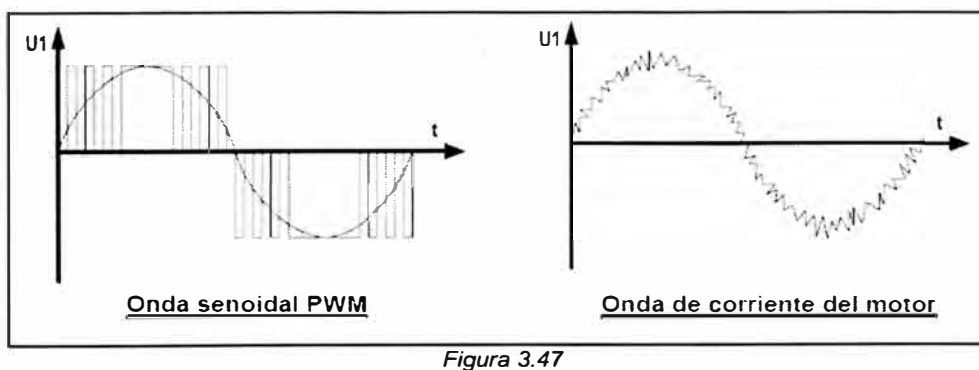
Una mejora en la forma de onda, en función de la disminución de la cantidad de armónicos, puede ser obtenida variando los periodos de conmutación, como se muestra en la figura 3.45 (b).



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 3.46.



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, observe la figura 65.



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 se muestra en la figura 66.

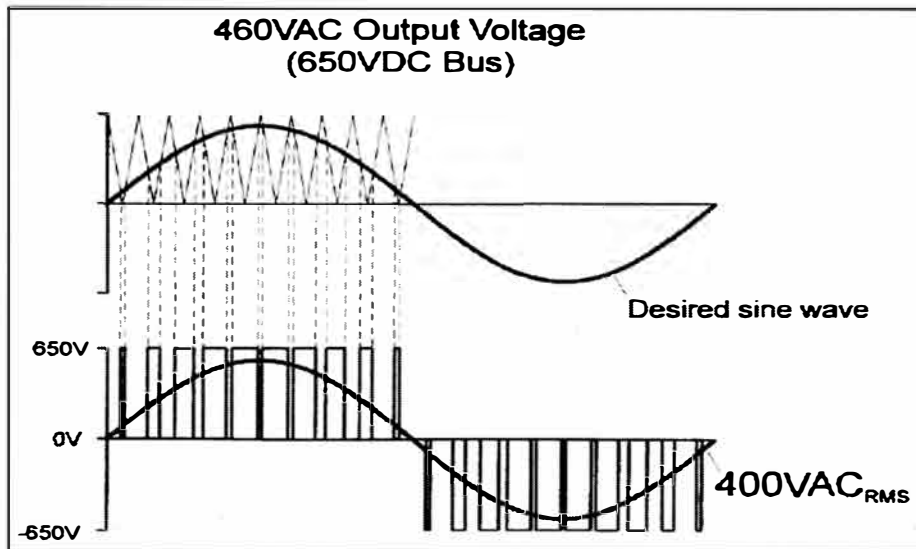


Figura 3.48

Como resultado se obtiene una tensión y corriente como en la figura 67.

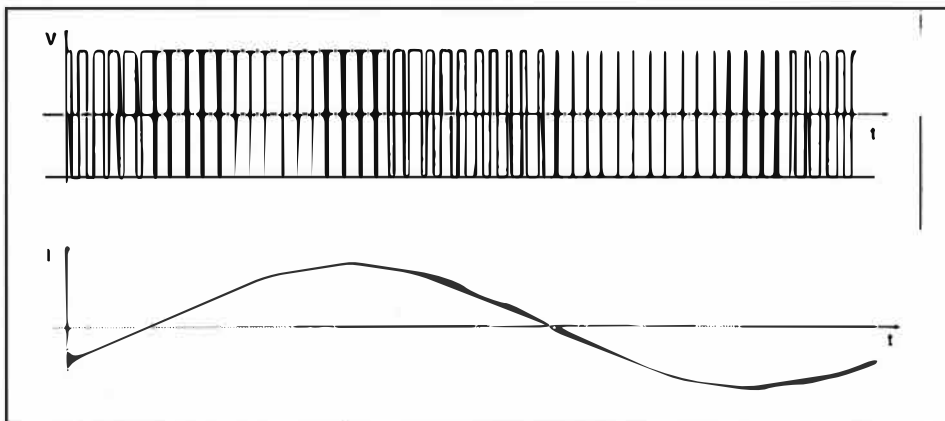


Figura 3.49: TENSIÓN Y CORRIENTE DE SALIDA DE VARIADOR

### 3.6.6 MODOS DE CONTROL DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA

#### 3.6.6.1 Modo de control Escalar o V/F:

Lo que se busca en las técnicas de control es variar la velocidad del motor manteniendo el torque en el eje del motor constante en todo momento. Según lo analizado anteriormente en motores de inducción de corriente alterna con rotor jaula de ardilla tenemos:

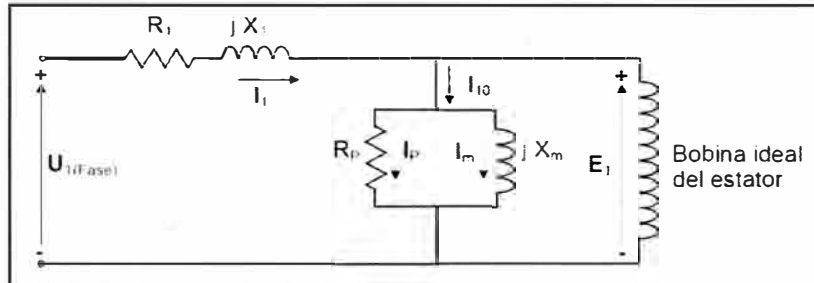


Figura 3.50 CIRCUITO EQUIVALENTE DE UNA FASE DEL ESTATOR

El torque del motor depende de la corriente de magnetización  $I_m$

$$\tau = K_1 \times I_m \dots \text{ecuación N}^\circ 3.18$$

Por lo tanto, para mantener un torque constante en este tipo de motores, debemos mantener la  $I_m$  también constante, las pérdidas por la resistencia en el hierro del estator son despreciables y las pérdidas en el devanado del estator.

$$I_m = \frac{U_1}{X_m} = \frac{U_1}{2\pi \cdot L \cdot f} = \frac{1}{2\pi L} \cdot \frac{U_1}{f} \dots \text{ecuación N}^\circ 3.19$$

Por lo tanto, para mantener una corriente de magnetización constante es necesario mantener la relación  $\frac{U_1}{f}$  constante.

- Si  $U_1/f >$  valores de diseño: saturación magnética.
- Si  $U_1/f <$  valores de diseño: disminuye la capacidad de producción de torque del motor.

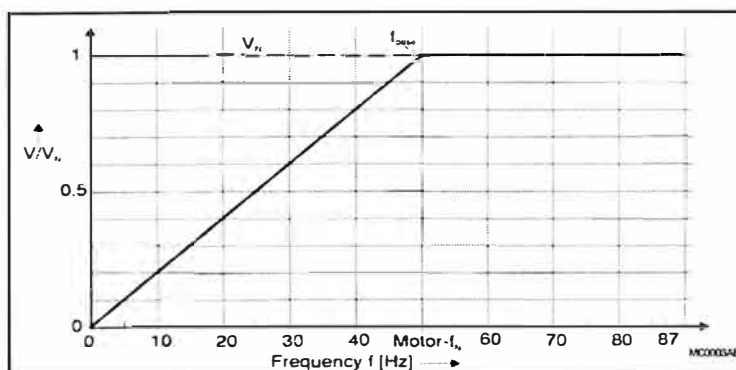


Figura 3.51: CONTROL ESCALAR (FRECUENCIA DE DISEÑO 50 Hz)

En la figura 70 podemos observar la característica del torque del motor (frecuencia de diseño 50Hz) operado con un convertidor de frecuencia en control escalar (curva V/F)

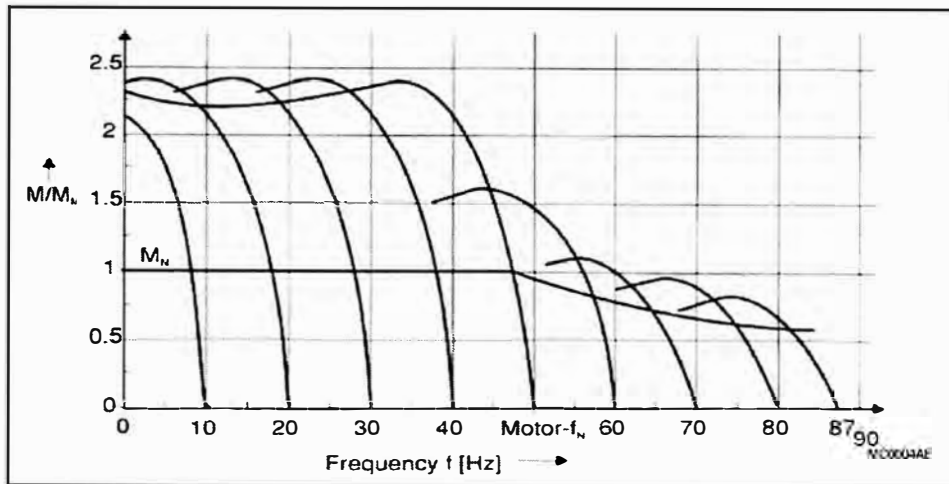


Figura 3.52: (FRECUENCIA DE DISEÑO 50 Hz)

Las características de este control son las siguientes:

- No realiza cálculos del modelo de motor
- Dificultad de trabajo a torque constante en bajas revoluciones
- Se aplica solo a aplicaciones estándar de variación de velocidad

#### 3.6.6.2 Modo de control Vectorial o VFC:

Conocido como sensorless vector control, Voltage Flux Control (VFC) usa 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 estándar V/f (típico 0.3% con un rango 200:1)

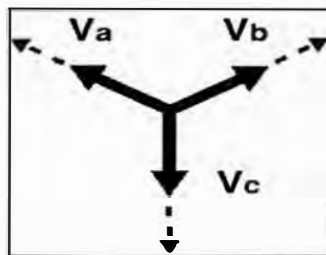


Figura 3.53: MODO DE CONTROL VECTORIAL (VFC)

En la figura 3.54 podemos observar el comportamiento del torque con respecto a la velocidad del motor, el control vectorial entonces tiene una mejor regulación de torque a velocidades bajas mejorando la performance del sistema.

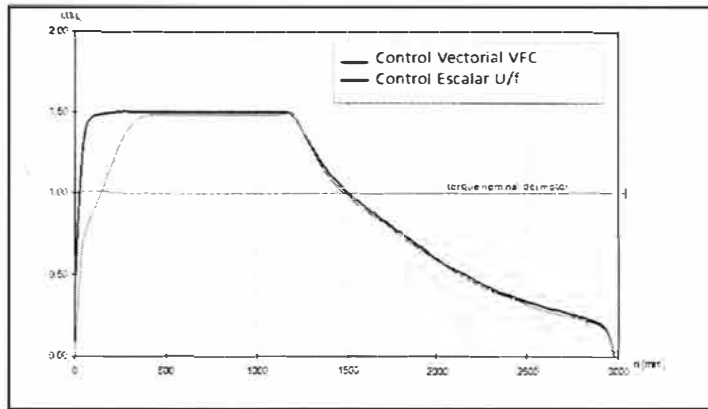


Figura 3.54: CONTROL VECTORIAL vs CONTROL ESCALAR

En la figura 3.55 se muestran el comportamiento del torque en motores con y sin ventilación forzada, se debe tener en cuenta que a velocidades menores a 500 RPM los motores de inducción necesitan de una ventilación forzada, de no tenerlo el torque decae netamente por un tema térmico.

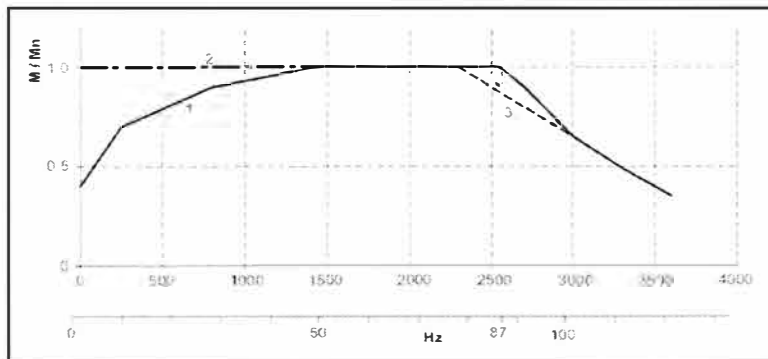


Figura 3.55

- Curva 1: Motor sin ventilación forzada
- Curva 2 y 3: Motor con Ventilación forzada

Las características de este control son las siguientes:

- Realiza cálculos permanentes en base al modelo de motor especificado
- Torque constante desde 1 Hz
- Muy buena performance en dinámica y estabilidad de velocidad
- Recomendado para aplicaciones que requieran respuesta rápida a variaciones de carga y estabilidad de torque a bajas revoluciones.

### 3.6.6.3 Modo de control de flujo de corriente o CFC

CurrentFlux Control usa un modelo de motor sofisticado para crear voltajes de fases independientes los que son calculados en un lazo de corriente de alta velocidad. Esta tecnología permite tener control de torque y una excelente regulación de velocidad (típico 0.01% con un rango 5000:1)

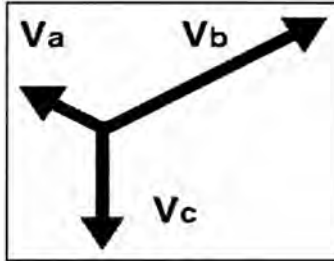


Figura 3.56: MODO DE CONTROL DE FLUJO DE CORRIENTE (CFC)

En la figura 3.57 se muestra un cuadro comparativo entre los controles VFC y CFC.

| Características             | VFC  | CFC                                       |
|-----------------------------|--|---|
| Torque Máximo               | Sin realimentación de encoder mínimo 150% a 0.5 Hz, con encoder mínimo 150% a velocidad cero | con encoder. mínimo 160% a velocidad cero |
| Tiempo de esta. de torque   | aprox. 8 ms  | approx. 2 ms                              |
| Precisión de velocidad      | muy buena (sin encoder. 0.3%)  | excelente (altas demandas 0.01%)          |
| Control de torque           | no disponible  | si  |
| Un motor o grupo de motores | Apto para un o grupo de motores  | Apto para un motor                        |

Figura 3.57: CUADRO COMPARATIVO ENTRE LOS CONTROLES VFC Y CFC

En la figura 3.58 se muestra gráficamente el tiempo de estabilización del troque.

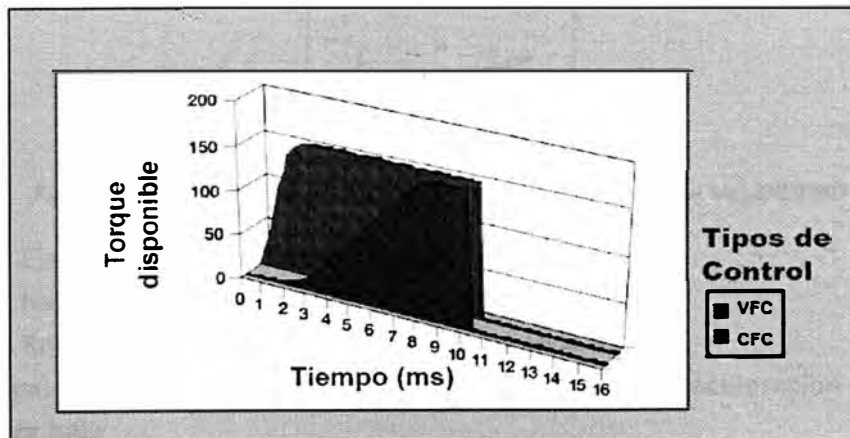


Figura 3.58: TIEMPOS DE ESTABILIZACIÓN VFC Y CFC

El control CFC se puede aplicar a motores de inducción de corriente alterna, cuando lo aplicamos a servomotores, si la tecnología del variador de frecuencia lo permite, este modo de control se denominará control SERVO.

### 3.7 SELECCIÓN DE UN CONVERTIDOR DE FRECUENCIA

Para seleccionar correctamente un convertidor de frecuencia y garantizar su correcta operación en un determinado sistema, se deben cumplir dos condiciones:

#### 1. Condiciones propias del convertidor de frecuencia

Son las consideraciones técnicas que se deben tener en cuenta para dimensionar correctamente el convertidor de frecuencia, utilizando los datos de placa del motor a controlar, las características técnicas del tipo de aplicación, y el voltaje de alimentación.

#### 2. Condiciones externas al convertidor de frecuencia

Son las consideraciones técnicas que debemos tener en cuenta para garantizar la correcta operación del convertidor de frecuencia, debido a todos los agentes externos que intervienen en su montaje, instalación y operación.

#### 3.7.1 CONDICIONES PROPIAS DEL CONVERTIDOR DE FRECUENCIA

##### 3.7.1.1 Datos de placa del motor eléctrico

Los DATOS DE PLACA del motor eléctrico que se controlará: Voltaje nominal, Intensidad de corriente nominal, potencia nominal, velocidad nominal, frecuencia nominal, etc.

##### 3.7.1.2 Voltaje de la red eléctrica.

Voltaje de la red eléctrica que alimentará al convertidor de frecuencia

##### 3.7.1.3 Tipo de aplicación

- Motores con carga inicial y carga dependiente de la velocidad

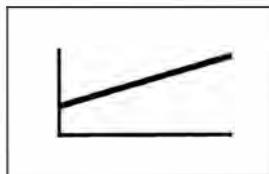


Figura 3.59: CARGA INICIAL Y CARGA DEPENDIENTE DE LA VELOCIDAD

- Ejemplo: Cintas transportadoras
- Rango de velocidad bajo. - (motor sin encoder)
- Rango de velocidad alto - (motor con encoder)
- Cargas dinámicas: Alto torque de arranque para la aceleración seguido de una carga baja

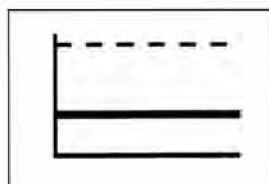


Figura 3.60: CARGAS DINÁMICAS



- Ejemplo: Grúas Puente
- Rango de velocidad bajo. - (motor sin encoder)
- Rango de velocidad alto - (motor con encoder)
- Muy alta dinámica – (motor con encoder o servo)
- Cargas estáticas: carga estática alta y estable con picos de sobrecarga

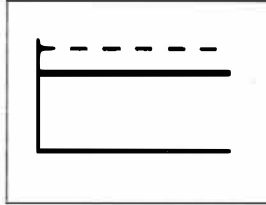


Figura 3.61: CARGAS ESTÁTICAS

- Ejemplo: Elevadores
- Rango de velocidad bajo - (motor sin encoder)
- Rango de velocidad alto - (motor con encoder)
- Carga que disminuye en proporción inversa a la velocidad

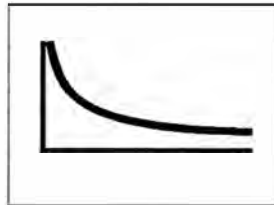


Figura 3.62: CARGA QUE DISMINUYE EN PROPORCIÓN INVERSA A LA VELOCIDAD

- Ejemplo: Bobinadoras
- Control de torque – (motor con encoder o servo)
- Carga que aumenta en proporción inversa a la velocidad

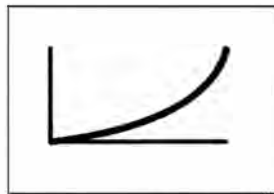


Figura 3.63: CARGA QUE AUMENTA EN PROPORCIÓN INVERSA A LA VELOCIDAD

- Ejemplo: Ventiladores y bombas
- Baja carga a baja velocidad sin picos (motor sin encoder)

Es muy importante determinar el TIPO DE APLICACIÓN o el TIPO DE CARGA a accionar para:

- ✓ Seleccionar el tipo de control que se necesitará configurar en el convertidor de frecuencia
- ✓ Seleccionar la resistencia de frenado. (si es necesario).

### 3.7.1.4 Regeneración

Ocurre cuando la velocidad de operación fijada (setpoint) por el convertidor es menor a la velocidad de rotación del motor.

Un convertidor de frecuencia con freno chopper para operación en 4Q, requiere una "Resistencia de Frenado" para absorber el exceso de energía de frenado. El freno chopper es conectado al circuito de "Enlace-DC", y conmuta automáticamente cuando el nivel de "Voltaje VDC-Link" es alcanzado.

La resistencia de frenado la cual es conectada al circuito del freno chopper, constantemente se encuentra absorbiendo energía, desde el circuito de "Enlace-DC" hasta el transistor de conmutación, abre el circuito cuando el nivel de Voltaje VDC-Link es alcanzado.

Durante el proceso de frenado, el transistor de conmutación de "Freno Chopper" es conmutado de "on" a "off" continuamente.

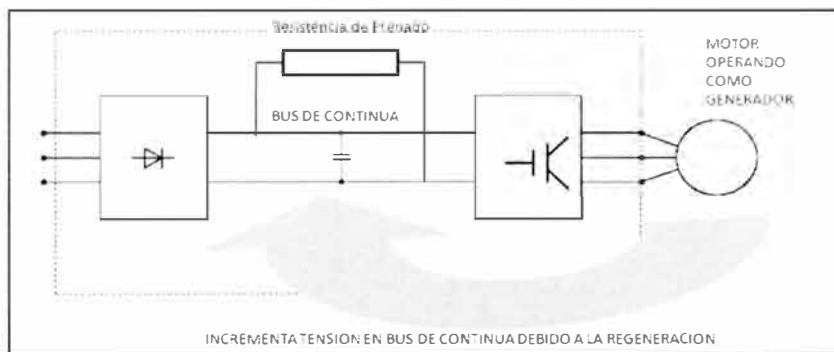


Figura 3.64: RESISTENCIA DE FRENADO Y REGENERACIÓN

## 3.7.2 CONDICIONES EXTERNAS DEL CONVERTIDOR DE FRECUENCIA

### 3.7.2.1 Tablero de alojamiento

Todo equipo electrónico deberá ser instalado dentro de un tablero eléctrico con grado de protección IP65 o NEMA 4, para evitar que el polvo y/o posibles salpicaduras de agua caigan sobre él.

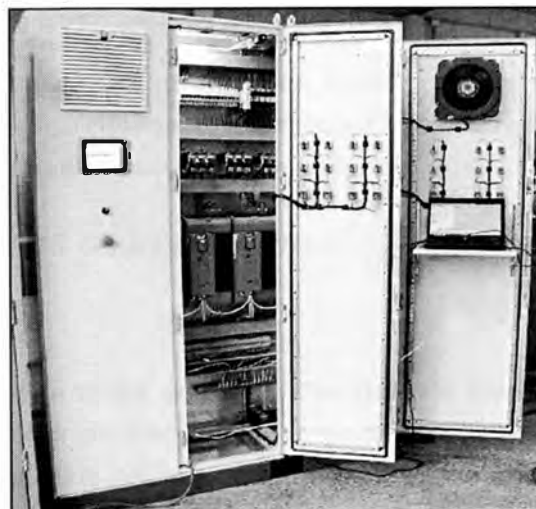


Figura 3.65: TABLERO ELÉCTRICO

Un gran porcentaje de equipos electrónicos (variadores de velocidad) sufren deterioro prematuro por problemas de polución en la figura 84 se muestra un mal ejemplo de cuidado del variador.

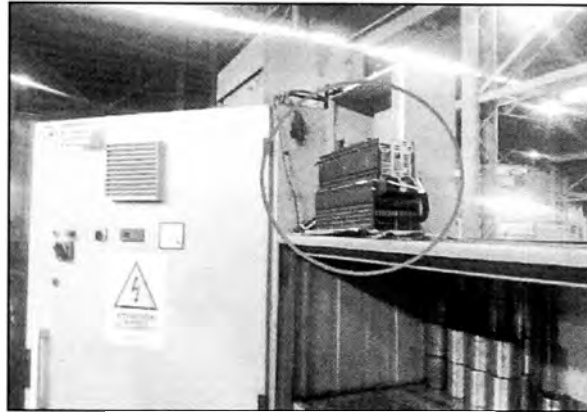


Figura 3.66: TABLERO ELÉCTRICO

### 3.7.2.2 Derrateo por altura

Los variadores de velocidad presentan problemas de reducción de potencia, cuando estos son instalados por encima de los 1,000 m.s.n.m.

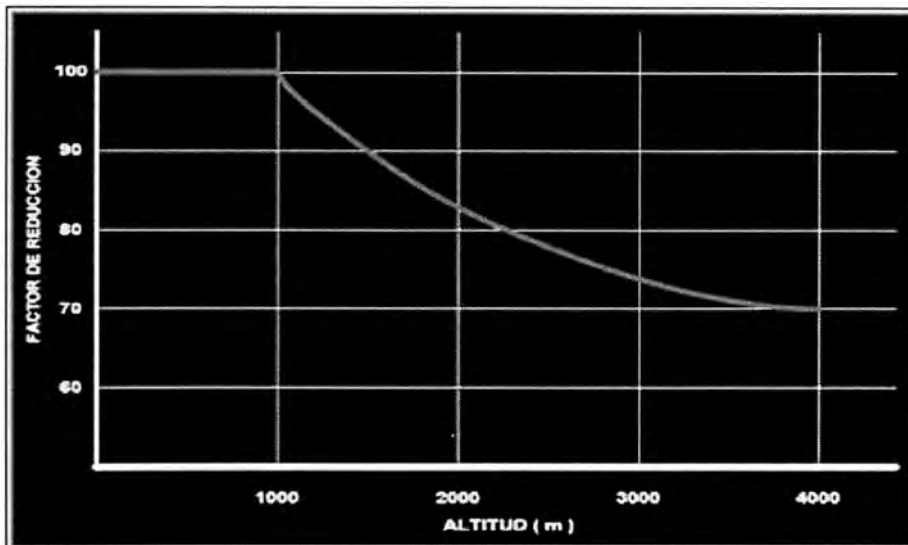


Figura 3.67: FACTOR DE REDUCCIÓN POR ALTURA

Debido al aumento de la altura, se produce un insuficiente intercambio de calor entre el variador de velocidad y el aire circundante, motivo por el cual el sistema de refrigeración se va haciendo insuficiente, ocasionando reducción de potencia.

$$FACTOR DE REDUCCIÓN = \frac{1\%}{100 \text{ m}} \dots \text{ecuación N}^\circ 3.20$$

### 3.7.2.3 Calidad de energía

Si existe la probabilidad que se tenga una mala CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA en el punto de alimentación del convertidor de frecuencia, entonces el equipo no debería ser instalado. El convertidor de frecuencia debería ser instalado en otro punto de red donde no se produzcan

voltajes transitorios y/o variaciones de voltaje. (No se alimenten grandes cargas –motores –del mismo punto de red).

Cuando se tiene problemas de voltajes transitorios y/o variaciones del voltaje de alimentación en el convertidor de frecuencia, se produce el deterioro prematuro del equipo, disminuyendo rápidamente su tiempo de vida útil. La bobina de choque (Line Choke) sirve para incrementar la protección al sobrevoltaje. Otra de las grandes ventajas de instalar bobinas de choque en los convertidores de frecuencia es para proteger los rectificadores frente a perturbaciones de red.

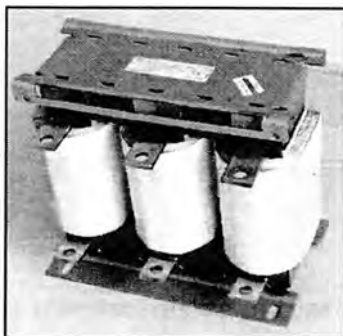


Figura 3.68: BOBINAS DE CHOQUE

Las armónicas pueden ocasionar una perturbación inaceptable sobre la red de distribución de energía eléctrica y causar:

- ✓ El recalentamiento de motores, cables y transformadores.
- ✓ El disparo de los interruptores automáticos.
- ✓ El sobrecalentamiento (y posible explosión) de capacitores.
- ✓ Deterioro prematuro de equipos electrónicos que se encuentran cerca al punto de alimentación donde se genera la THD.

La bobina de choque sirve para disminuir el %THD que pueda generar el convertidor de frecuencia hacia la red eléctrica. La bobina de choque sólo se disminuye el % de Distorsión Armónica Total.

#### 3.7.2.4 Interferencias de Radiofrecuencia RFI

Los disturbios EMC –Compatibilidad Electromagnética (generados por las Interferencias de radiofrecuencia –RFI) son producidos por la velocidad de conmutación de los transistores de potencia IGBT en el convertidor de frecuencia (conmutación PWM). Estos pueden propagarse a través de los cables de alimentación eléctrica de la red y hacia el espectro radioeléctrico.

En Alemania, la regulación de EMC (Regulación EMC 89/336/EEC) tuvo un periodo transitorio en establecimiento del estándar desde el 9.11.92 hasta Dic.95. El estándar menciona que todas las fábricas de equipamiento electrónico deberán tomar las medidas respectivas contra la emisión de interferencias y proporcionar un nivel apropiado de inmunidad contra los disturbios electromagnéticos. En SEW estos requerimientos son proporcionados por los filtros NF...Series.

Las interferencias de radiofrecuencia (RFI) no son destructivas, es decir no deterioran dispositivos electrónicos, pero si pueden producir interferencias con equipos electrónicos de telecomunicaciones, y pueden causar errores en el procesamiento de datos.

Para suprimir la emisión de interferencia RFI a la línea donde se ha conectado el convertidor de frecuencia se utilizan los FILTROS DE ENTRADA RFI.



Figura 3.69: FILTROS DE ENTRADA RFI

### 3.7.2.5 Efecto capacitivo en los cables

La velocidad de conmutación de los transistores de potencia en un convertidor de frecuencia, causa una corriente de carga capacitiva, en el cable alimentador del motor. La magnitud de la corriente depende de la frecuencia de modulación del PWM y la capacitancia del cable (dependiendo del tipo de cable, tipo de aislamiento, enmallado, longitud del cable y la naturaleza del circuito -layout).

Cuando la distancia entre el motor eléctrico y el convertidor de frecuencia supera los 100 metros (aproximadamente), debido al efecto capacitivo del cable eléctrico (por su longitud), es necesario instalar en el cable eléctrico que sale del convertidor de frecuencia al motor un FILTRO DE SALIDA, para eliminar el efecto capacitivo, ya que el convertidor de frecuencia es un equipo electrónico diseñado para alimentar una carga R + L (resistiva + inductiva), no está diseñado para alimentar una carga capacitiva.



Figura 3.70: FILTROS DE SALIDA

### 3.7.2.6 Transitorios de voltaje y corriente

Es importante obtener una resistencia eléctrica lo más baja posible para derivar a tierra FENOMENOS ELECTRICOS TRANSITORIOS (FETs), corrientes de falla estáticas y parásitas; así como ruidos eléctricos y de radio frecuencia.

Mantener los potenciales producidos por las corrientes de falla dentro de los límites de seguridad de modo que las tensiones de paso o de toque no sean peligrosas para los humanos y/o animales. Hacer que el equipamiento de protección sea más sensible y permita una rápida derivación de las fallas a tierra.

Proporcionar un camino de derivación a tierra de descargas atmosféricas, transitorios y de sobretensiones internas del sistema.

- ✓ Sistema de puesta a tierra para equipamiento eléctrico.
- ✓ Sistema de puesta a tierra para equipamiento electrónico.

Mientras en la planta industrial no se haya modernizado la red de distribución eléctrica para conseguir que exista una buena calidad de energía eléctrica, es necesario tener dos sistemas de puesta a tierra independientes.

Sólo las configuraciones de la figura 3.71 (C) y (D) garantizarán una correcta calidad de energía para alimentar a todo equipamiento electrónico como convertidores de frecuencia. HVAC (HIGH-VOLTAGE ALTERNATING CURRENT).

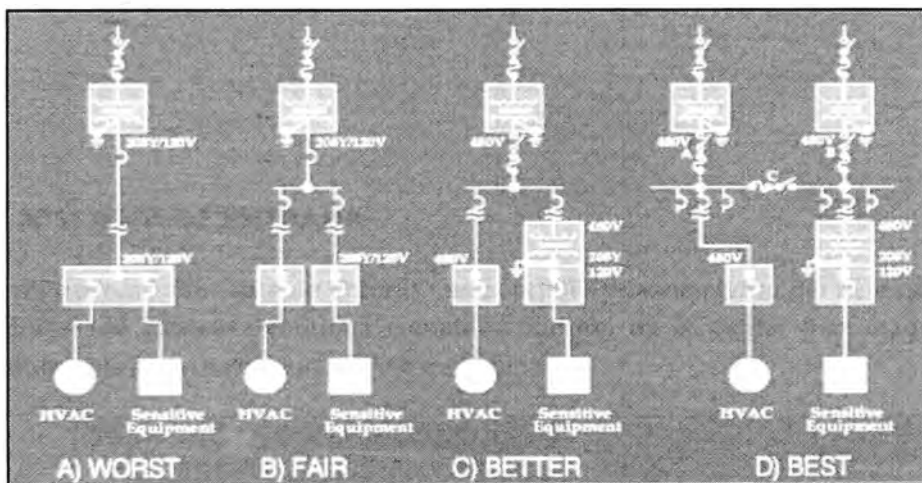


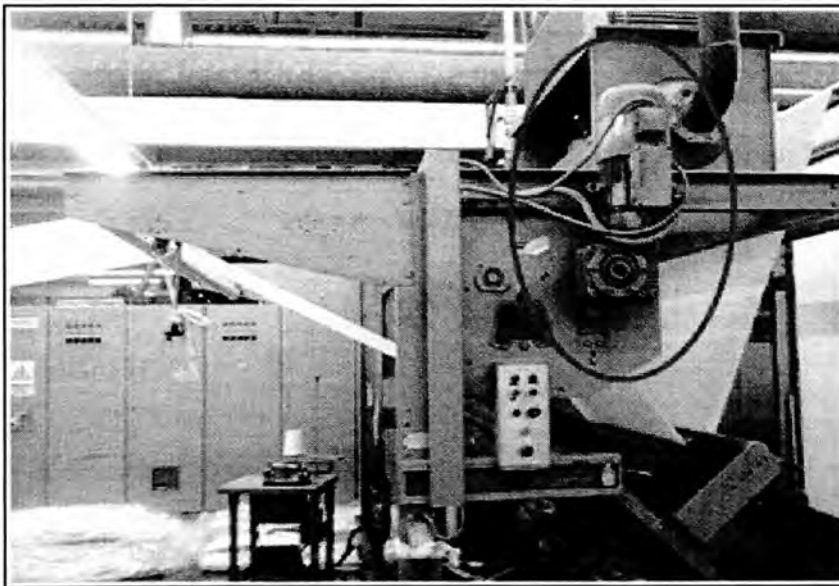
Figura 3.71: RED DE DISTRIBUCIÓN

## CAPITULO IV

### ACCIONAMIENTOS ORIGINALES DE LA MÁQUINA

#### 4.1 MOTOR N°1: JOTA DE ENTRADA

El accionamiento denominado “Jota de Entrada” es el primer accionamiento del sistema de impulsión, este motorreductor de corriente continua cumple la función de alimentar a la máquina de tela a procesar, acumular tela para realizar un cambio de bobina.



*Figura 4.1: MOTOR JOTA DE ENTRADA*

#### Datos de motor original:

- ✓ Marca del motor: LENZE (G-mot)
- ✓ Tipo de motor: GFT 112-2
- ✓ Tensión del motor: 260V / 340V
- ✓ Corriente nominal del motor: 18.7A / 14.3A
- ✓ Velocidad nominal del motor: 3250 RPM
- ✓ Potencia nominal del motor: 4.9 kW.

Datos del reductor:

Diámetro del eje hueco: 35 mm.

Índice de reducción: Se tomaron datos en funcionamiento para poder obtener el ratio del reductor, debido a que éste no contaba con la placa original.

Toma de datos N°1:

Para tomar datos de un sistema como el que se muestra en la figura 4.2 es necesario tener los conocimientos de cinemática.

Velocidad del motor = Velocidad angular de entrada al reductor = 101 RPM.

Velocidad del rodillo del tacómetro: 13 m/min (Perímetro del rodillo acoplado al reductor: 65 cm). Debido al eje hueco del accionamiento la forma de medir la velocidad de salida del motorreductor original fue a través del tacómetro colocado en la superficie del rodillo solidario al eje de salida de la Jota de Entrada.

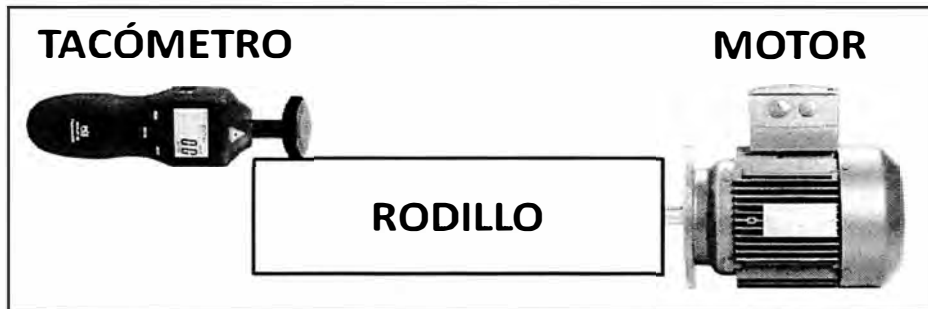


Figura 4.2

La velocidad lineal está relacionada directamente con la velocidad angular en RPM.

$$v_L = \pi * n * D \dots \text{ecuación N}^\circ 4.1$$

Donde:

- $v_L$  : Velocidad lineal [m/min];
- $n$  : Velocidad angular [RPM];
- $D$  : Diámetro[m];

Reemplazamos en la ecuación 60 para hallar la velocidad angular de salida del motorreductor:

$$n = \text{Velocidad Angular de Salida} = \frac{13}{0.645} = 20.15 \text{ RPM}$$

Con el valor obtenido en la ecuación 60 calculamos el ratio aproximado:

$$RATIO_{(aprox)} = \frac{\text{Velocidad Angular de Entrada}}{\text{Velocidad Angular de Salida}} = \frac{101}{20.15} = 5.01$$

Toma de datos N°2:

Velocidad del motor: 498 RPM



Velocidad del rodillo solidario al eje del motorreductor, medido con tacómetro: 62 m/min (Perímetro del rodillo: 65 cm, diámetro del tacómetro: 32 mm). La velocidad lineal está relacionada directamente con la velocidad angular en RPM. Reemplazamos en la ecuación 60 para hallar la velocidad de salida del motorreductor:

$$n = \frac{62}{0.645} = 96.12 \text{ RPM}$$

Con el valor obtenido calculamos el ratio aproximado:

$$RATIO = \frac{Velocidad \text{ del Motor}}{Velocidad \text{ de Salida}} = \frac{498}{96.12} = 5.18$$

**Ratio aproximadamente es: 5.10**

Velocidad en RPM nominal de salida del motorreductor:  $3250/5.10 = 637.25 \text{ RPM}$

Reemplazando en la ecuación 60 para obtener la velocidad lineal nominal:

$$v_L = \pi * 637.25 * \frac{0.645}{\pi} = 411.02 \text{ m/min}$$

## 4.2 MOTOR N°2: FOULARD

El accionamiento denominado "Foulard" cumple la función de trasladar el material entregado por la "Jota de entrada" a través de un contenedor de solución química los cuales reaccionarán más adelante en las cámaras de calor dándole las propiedades deseadas a la tela.

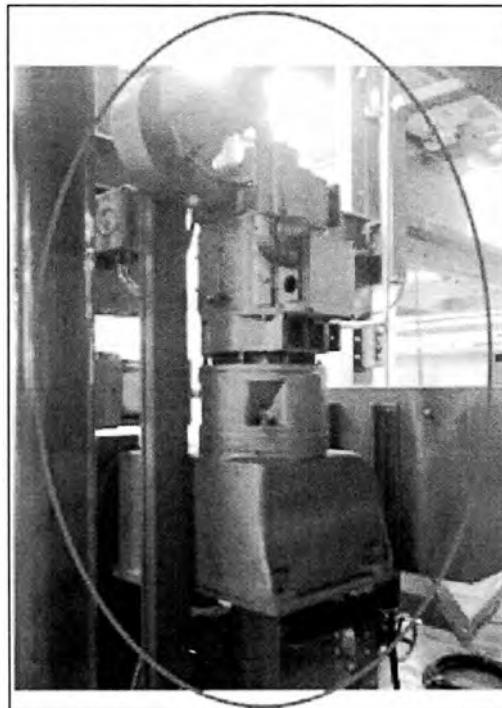


Figura 4.3: MOTOR FOULARD

Datos de motor original:

- ✓ Marca: LENZE
- ✓ Type: -----
- ✓ 440V---50A
- ✓ Velocidad Nominal: 3000 RPM
- ✓ Potencia Nominal: 19.5 kW.

Dimensiones del motor:

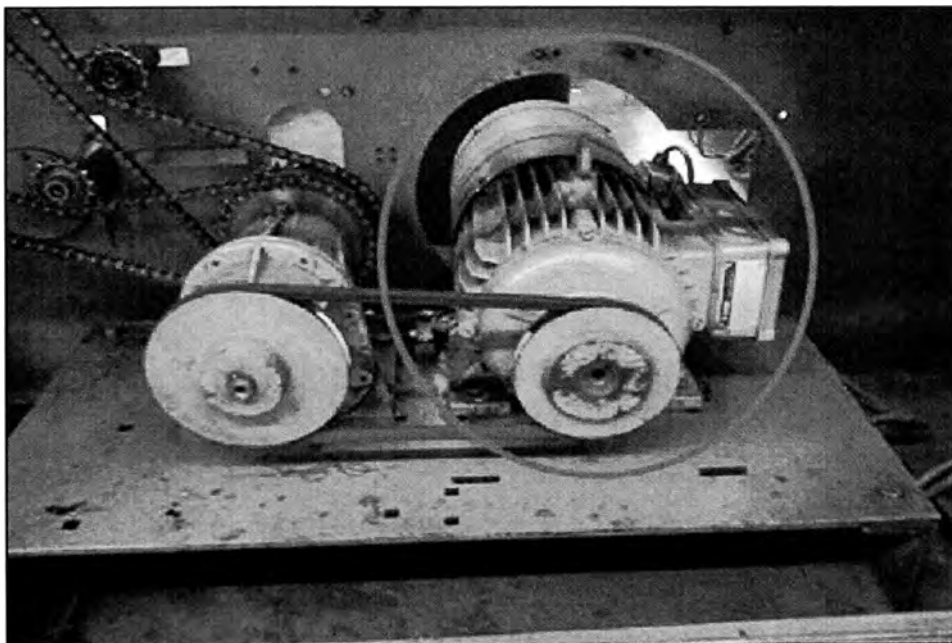
- ✓  $\varnothing$  del hombro descentrado: 230 mm
- ✓ Distancia entre centros de los agujeros: 265 mm
- ✓  $\varnothing$  del eje del motor: 42x110 mm
- ✓ Nota: Tener en cuenta el espacio para el montaje de un equipo de mayores dimensiones.

Datos del reductor:

Índice de reducción: 9.34

**4.3 MOTOR N°3: SOBREALIMENTADOR DE ENTRADA**

El accionamiento denominado “Sobrealimentador de Entrada” cumple la función de impulsar el material a las cámaras de calor en donde se darán las propiedades físicas (termofijado) y/o químicas (blancura, teñido, acabado) a la tela por medio de una reacción térmica.



*Figura 4.4: MOTOR SOBREALIMENTADOR DE ENTRADA*

Datos de motor original:

- ✓ Marca: LENZE (G-mot)
- ✓ Type: GFT 112-2

- ✓ 440V---12.2A.
- ✓ Velocidad Nominal: 3100 RPM
- ✓ Potencia Nominal: 4.6 kW.

*Dimensiones del motor:*

- ✓  $\varnothing$  del hombro descentrado: ---- mm
- ✓ Distancia entre centros de los agujeros: ---- mm
- ✓  $\varnothing$  del eje del motor: 27 mm

Datos del reductor:

No posee caja reductora.

#### 4.4 MOTORES N°4 y 5: PRESIONADORES DE TELA

Los accionamientos denominados "Presionadores de Tela" cumple la función de fijar la tela en las agujas de las cadenas, presionándolas contra estas y asiendo así posible el traslado de la tela a través de la cámara de calor.

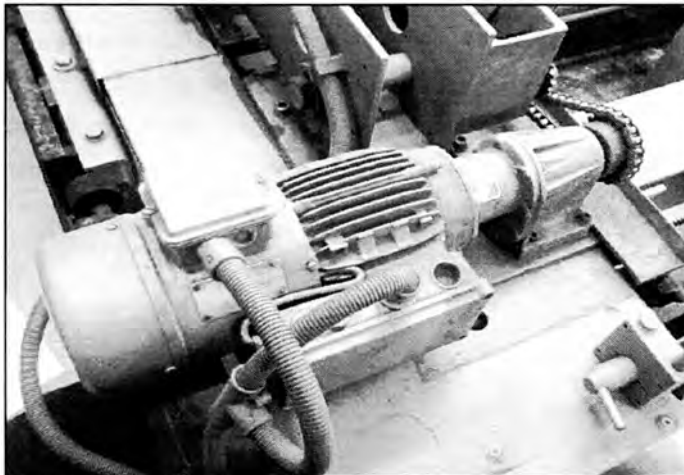


Figura 4.5: MOTOR PRESIONADOR DE TELA

Datos de motor original:

- ✓ Marca: LENZE (G-mot)
- ✓ Type: 43.550.54026
- ✓ 440V---2.7A
- ✓ 340V---0.2A           Err
- ✓ Velocidad Nominal: 3000 RPM
- ✓ Potencia Nominal: 0.8 kW.

*Dimensiones del motor:*

- ✓  $\varnothing$  del hombro descentrado: 80 mm
- ✓ Distancia entre centros de los agujeros: 100 mm
- ✓  $\varnothing$  del eje del motor: 19 mm

Datos del reductor:Toma de datos N°1:

- ✓ Velocidad del motor: 212RPM
- ✓ Velocidad del rodillo: 26 RPM

$$\text{RATIO} = \frac{\text{Velocidad del Motor}}{\text{Velocidad de Salida}} = \frac{212}{26} = 8.15$$

Toma de datos N°2:

- ✓ Velocidad del motor: 1143 RPM
- ✓ Velocidad del rodillo: 143 RPM

$$\text{RATIO} = \frac{\text{Velocidad del Motor}}{\text{Velocidad de Salida}} = \frac{1143}{143} = 7.99$$

En conclusión podemos decir que el ratio aproximadamente es: 8.0

#### 4.5 MOTORES N°6 y 7: CADENAS

Los accionamientos denominados “Motores de Cadenas” cumplen la función de trasladar el material a través de la camada de calor, la distancia entre las cadenas es regulable dando la posibilidad de uniformizar el ancho de la tela. Por otro lado, la velocidad lineal de las cadenas es la velocidad de máquina tomando entonces a uno de estos motores como el motor principal y el que será la referencia de los demás motores en el sincronismo.

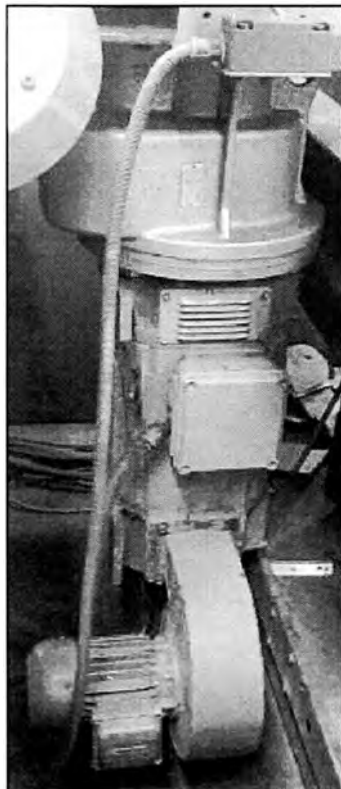


Figura 4.6 MOTOR DE CADENAS

Datos de motor original:

- ✓ Marca: LENZE
- ✓ 440V---50A
- ✓ Velocidad Nominal: 3000 RPM
- ✓ Potencia Nominal: 19.5 kW.

Dimensiones del motor:

- ✓  $\varnothing$  de la brida: 300 mm
- ✓  $\varnothing$  del hombro de centrado: 230 mm
- ✓ Distancia entre centros de los agujeros: 265 mm
- ✓  $\varnothing$  del eje del motor: 38x40 mm

Datos del reductor:

- ✓ Índice de reducción: 11.5

Dimensiones del reductor:

- ✓  $\varnothing$  de la brida: 300 mm
- ✓  $\varnothing$  del hombro de centrado: 230 mm
- ✓ Distancia entre centros de los agujeros: 265 mm
- ✓  $\varnothing$  eje hueco: 55x110 mm

#### 4.6 MOTOR N°8: SOBREALIMENTADOR DE SALIDA

El accionamiento denominado "Sobrealimentador de Salida" se encuentra en la salida de las cámaras de calor, e impulsa en material ya tratado para su posterior embobinado.



Figura 4.7: MOTOR SOBREALIMENTADOR DE SALIDA

Datos de motor original:

- ✓ Marca: LENZE (G-mot)
- ✓ Type: GFT 112-2
- ✓ 440V---12.2A
- ✓ 340V---0.63A      Err
- ✓ Velocidad Nominal: 3100 RPM
- ✓ Potencia Nominal: 4.6 kW.

*Dimensiones del motor:*

- ✓  $\varnothing$  del hombro descentrado: ---- mm
- ✓ Distancia entre centros de los agujeros: ---- mm
- ✓  $\varnothing$  del eje del motor: ---- mm

Datos del reductor:

- ✓ Marca SEW (Con campana adaptadora)
- ✓ Modelo: SA67/T/AM90
- ✓ Numero de serie: 41.0168031501.0001.09
- ✓ Índice de reducción: 10.03
- ✓ Posición de montaje: M4
- ✓ Dimensiones del reductor:
- ✓  $\varnothing$  del eje del reductor: 35 mm (eje especial)

**4.7 MOTOR N°9: ENROLLADOR**

El accionamiento denominado “Enrollador” cumple la función de enrollar el material que ha sido trabajado a través de toda la máquina embobinando el material el cual en algunos casos será llevado a un proceso posterior y en otros en un producto terminado.

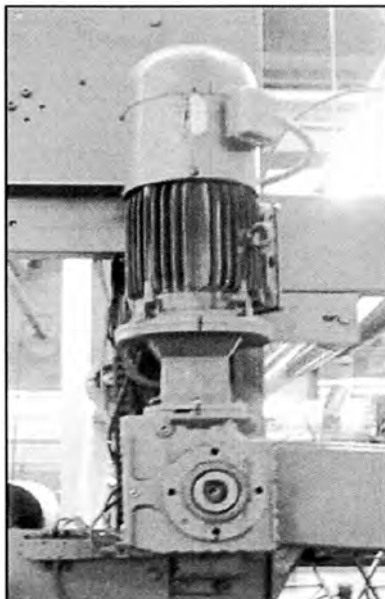


Figura 4.8: MOTOR ENROLLADOR

Datos de motor original:

- ✓ Marca: LENZE (G-mot)
- ✓ Type: GFT 112-2
- ✓ 440V---12.2A
- ✓ 340V---0.63A      Err
- ✓ Velocidad Nominal: 3100 RPM
- ✓ Potencia Nominal: 4.6 kW.

*Dimensiones del motor:*

- ✓  $\varnothing$  del hombro descentrado: ---- mm
- ✓ Distancia entre centros de los agujeros: ---- mm
- ✓  $\varnothing$  del eje del motor: ---- mm

Datos del reductor:

- ✓ Marca SEW (Con campana adaptadora)
- ✓ Modelo: SA67/T/AM132
- ✓ Numero de serie: 41.0168031501.0001.09
- ✓ Índice de reducción: 10.03
- ✓ Posición de montaje: M4

*Dimensiones del reductor:*

- ✓  $\varnothing$  del eje del reductor: 35 mm (eje especial)

## CAPITULO V

### ACCIONAMIENTOS SELECCIONADOS PARA LA MODERNIZACIÓN

#### 5.1 MOTOR N°1: JOTA DE ENTRADA

OPCIÓN N°1: MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA DE 2 POLOS, CON ROTOR JAULA DE ARDILLA, ENCODER Y VENTILACIÓN FORZADA - KA67/TDV132S2/VS/EV1S.

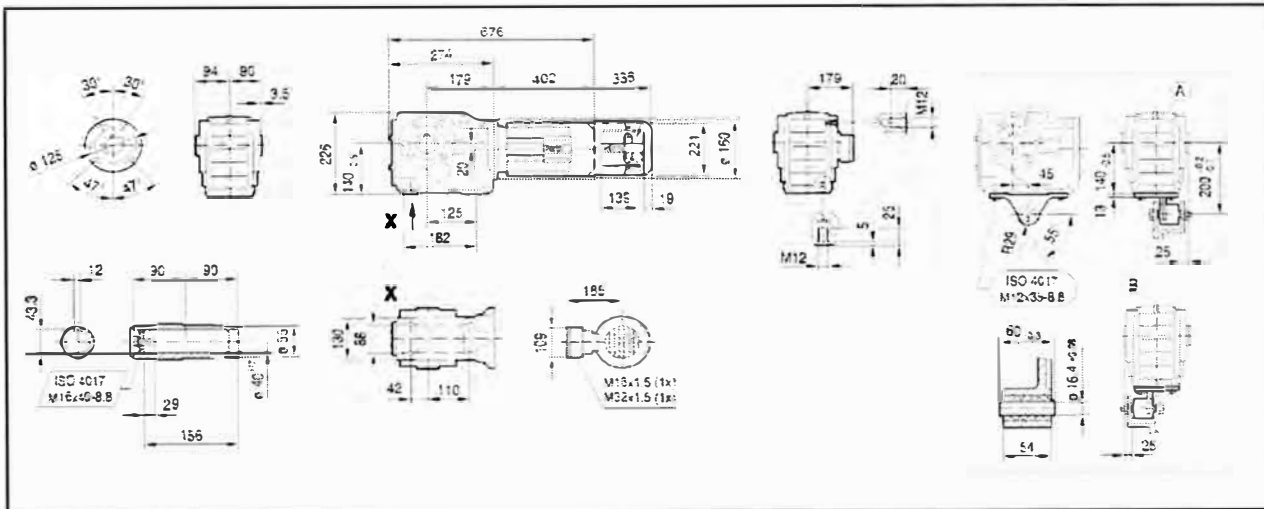


Figura 5.1: MOTOR JOTA DE ENTRADA – OPCIÓN N°1



**OPCIÓN N°2: SERVOMOTOR DE CORRIENTE CONTINUA, CON ROTOR DE IMANES PERMANENTES Y RESOLVER - KA47/T AQA140/2 CFM90M/TF/RH1M/KK.**

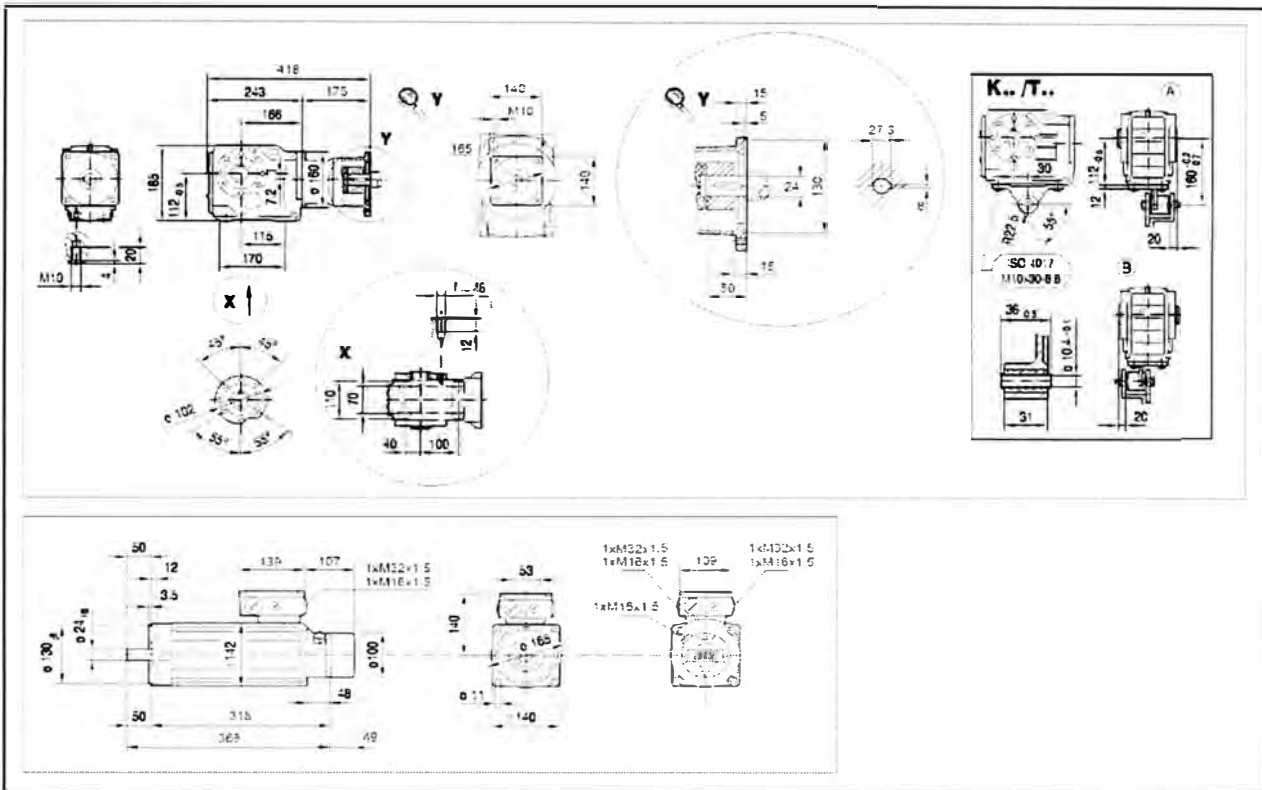


Figura 5.2: MOTOR JOTA DE ENTRADA – OPCIÓN N°2

En la figura 5.3 se presenta un cuadro comparativo entre la opción 1, 2 y el accionamiento original.

| Descripción de catálogo             | JOTA DE ENTRADA                                 |   |   |
|-------------------------------------|---|---|---|
|                                     | KA67/TOV132S2/VS/EV1S                           | KA47/T AQA140/2 CFM90M/TF/RH1M/KK               | ORIGINAL LENZE                                  |
| Potencia nominal:                   | 5.5 [kW]  | 5.5 [kW]  | 4.9 [kW]  |
| Velocidad del motor:                | 3456 [RPM]                                      | 3000 [RPM]                                      | 3250 [RPM]                                      |
| Velocidad de salida:                | 664.6 [RPM]                                     | 456 [RPM]                                       | 456 [RPM]                                       |
| Relación de reducción:              | 5.2   | 6.58  | 5.1   |
| Par de Motor:                       | 15.1 [Nm]                                       | 14.5 [Nm]                                       | [Nm]  |
| Par de salida:                      | 79.2 [Nm]                                       | 240 [Nm]  | [Nm]  |
| Corriente nominal:                  | 10.5 [A]  | 10.1 [A]  | 12.2 [A]  |
| Carga radial permisible (n=400 RPM) | 9190 [N]  | 2610 [N]  | [N]   |
| Factor de servicio del reductor:    | 3.7   | 2.5   |   |
| Frecuencia:                         | 60 [Hz]   | 150 [Hz]  | [Hz]  |
| Tensión nominal:                    | 400 [V]   | 400 [V]   | 400 [V]   |
| Aislamiento térmico:                | F   | F   |   |
| Tipo de protección:                 | IP55  | IP65  |   |
| Peso:                               | 67 [kg]   | 37 [kg]   | [kg]  |
| Diámetro de eje hueco:              | 40 [mm]   | 35 [mm]   | 35 [mm]   |
| Opcionales:                         | VS- Ventilación forzada IP 54, 230V 50/60Hz     |   | Ventilación Forzada                             |
|                                     | EV1S- encoder (U=24V, sin/cos 1Vss)             | RH1M- Resolver                                  | Encoder   |
|                                     | T- Brazo de par para ejecución montaje flotante | T- Brazo de par para ejecución montaje flotante | T- Brazo de par para ejecución montaje flotante |
|                                     | TF- Sonda térmica PTC                           | TT- Sonda térmica PTC                           |   |

Figura 5.3: CUADRO COMPARATIVO OPCIÓN N°1 Y OPCIÓN N°2

Podemos verificar que sus características técnicas son muy similares en torque y velocidad nominal. Es importante tomar en cuenta que para la opción N°2 (Servomotorreductor) la selección no se realiza por potencia sino por torque entregado en todo el rango de velocidad.

Podemos apreciar que el peso de la opción N°2 (Servomotorreductor) es 30 Kg menos (81% menor), lo cual es una ventaja importante teniendo en cuenta que la forma de montaje de este accionamiento es a través de eje hueco, y por lo tanto el eje de la máquina soportará todo este peso.

En la figura 5.4 se presenta el detalle de las dimensiones y volúmenes que ocupan los accionamientos.

|   | JOTA DE ENTRADA |       |            |         |       |
|---|-----------------|-------|------------|---------|-------|
|   | OPCIÓN N°1      |       | OPCIÓN N°2 |         |       |
|   | REDUCTOR        | MOTOR | REDUCTOR   | CAMPANA | MOTOR |
| LARGO   | 182             | 738   | 243        | 175     | 366   |
| ANCHO / DIAMETRO                              | 226             | 160   | 185        | 130     | 142   |
| PROFUNDIDAD                                   | 184             |       | 140        |         |       |
| VOLUMEN (10 <sup>-3</sup> ) [m <sup>3</sup> ] | 7.57            | 14.84 | 6.29       | 2.32    | 7.38  |
| LONGITUD [mm]                                 | 920             |       | 784 (609)  |         |       |

Figura 5.4: DETALLE DE DIMENSIONES OPCIÓN N°1 Y OPCIÓN N°2

Podemos concluir que la opción N°2 (Servomotorreductor) en longitud es 311 mm menos que la opción N°1 (50% menor) y en volumen es  $8.61 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$  (63% menor).

## 5.2 MOTOR N°2: FOULARD

OPCIÓN N°1: MOTOR DE CORREINTE CONTINUA DE 2 POLOS, CON ROTOR JAULA DE ARDILLA, ENCODER Y VENTILACIÓN FORZADA - DFV180L2/V/C/EV1S.

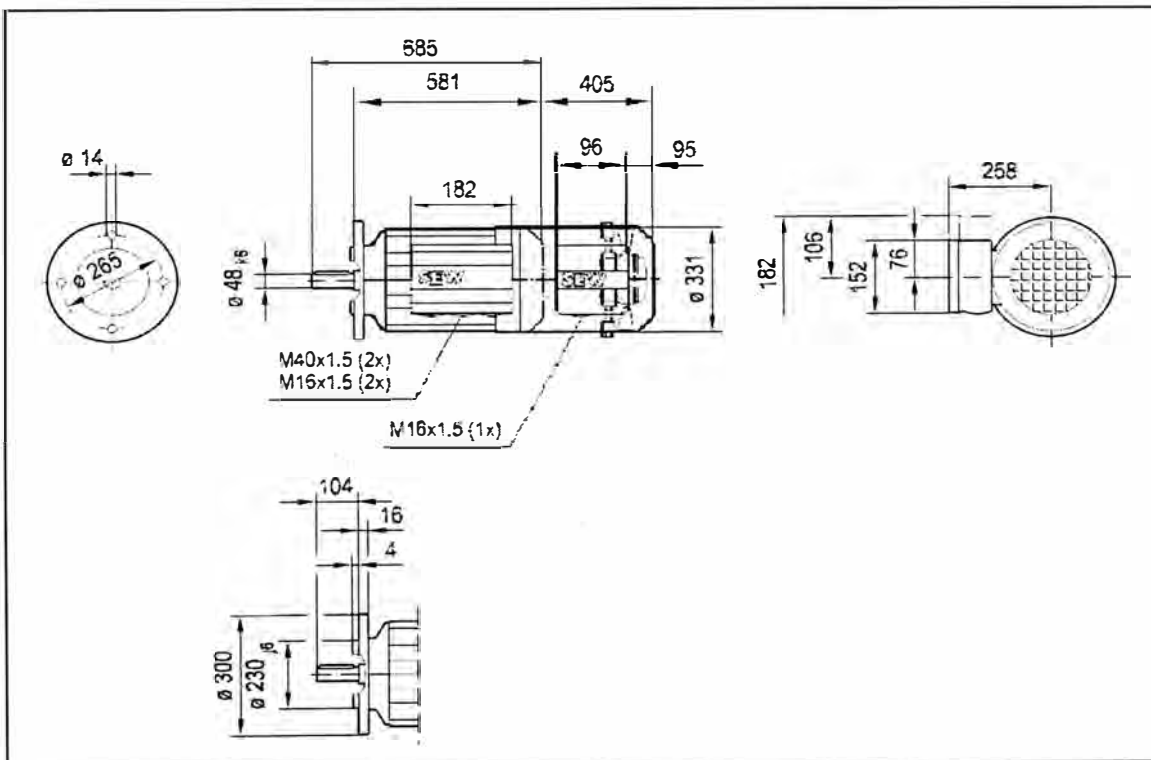


Figura 5.5: MOTOR FOULARD – OPCIÓN N°1

**OPCIÓN N°2: SERVOMOTOR DE CORRIENTE CONTINUA, CON ROTOR DE IMANES PERMANENTES Y RESOLVER - DRL160M4/FF/TF/EG7S/V/C**

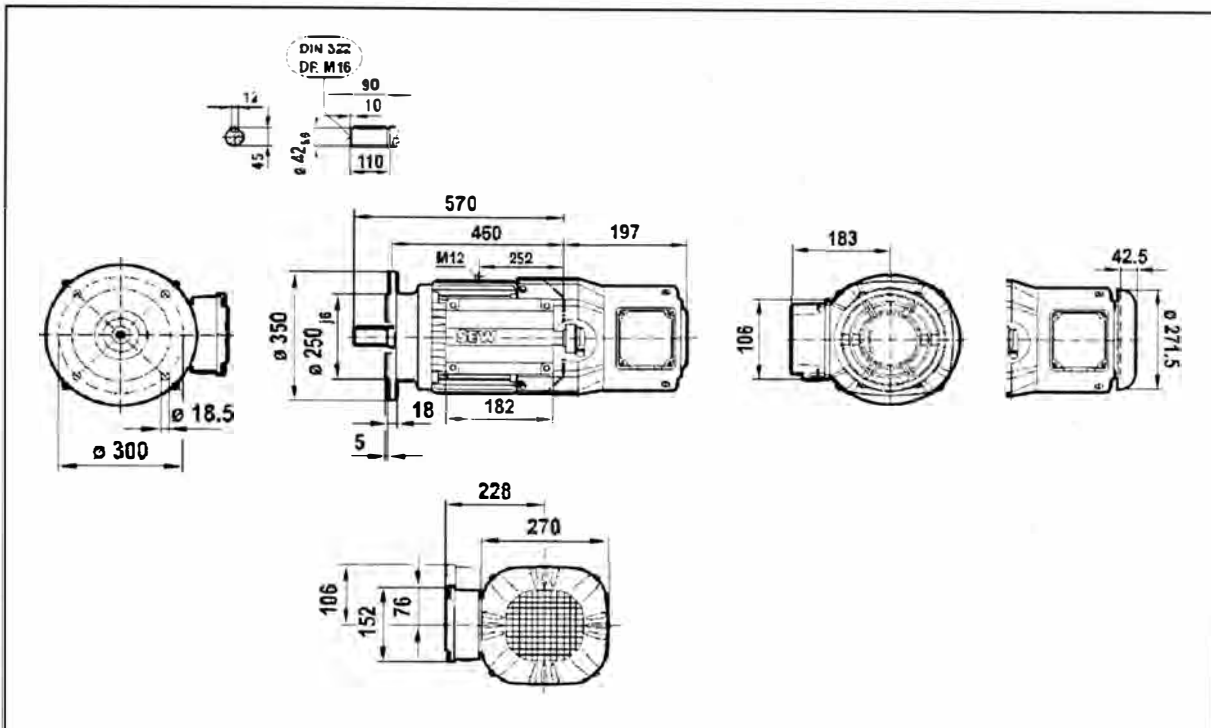


Figura 5.6: MOTOR FOULARD – OPCIÓN N°2

En la figura 5.7 se presenta un cuadro comparativo entre la opción 1, 2 y el accionamiento original.

| FOULARD                             |   |  |                                |
|-------------------------------------|---|--|--------------------------------|
| Descripción de catálogo             | DfV160-2/V/C/EV1S   | DR-160M4/FF/TF/EG7S/V/C  | ORIGINAL LENZE                 |
| Potencia nominal                    | 22 [kW]   |  | 19.5 [kW]                      |
| Velocidad del motor                 | 3492 [RPM]  | 3000 [RPM]   | 3000 [RPM]                     |
| Par del Motor                       | 60.1 [Nm]   | 79 [Nm]  |                                |
| Corriente nominal                   | 39.5 [A]  | 57 [A]   | 50 [A]                         |
| Carga radial permisible en 1400 RPM | 4300 [N]  | 4700 [N]   |                                |
| Frecuencia                          | 60 [Hz]   |  |                                |
| Tensión nominal                     | 400 [V]   | 400 [V]  | 400 [V]                        |
| Aislamiento térmico                 | F   | F  | F                              |
| Tipo de protección                  | IP55  | IP55   |                                |
| Peso                                | 93 [kg]   | 93 [kg]  |                                |
| Dimensiones del eje de salida       | 48x110 [mm]   | 42x110 [mm]  | 42x110 [mm]                    |
| Diámetro de la brida                | 300 [mm]  | 350 [mm]   | 300 [mm]                       |
| Diámetro de hombro de centrado      | 230 [mm]  | 250 [mm]   | 230 [mm]                       |
| Distancia entre agujeros            | 265 [mm]  | 300 [mm]   | 265 [mm]                       |
| Opcionales:                         | V- Ventilación forzada IP 54, 29DV 50/60Hz<br>EV1S- encoder (U=24V, sin/cos 1Vss)<br>TF- Sonda térmica PTC<br>C- Sombrerete de protección | V- Ventilación forzada IP 66, 220, 575V 50/60Hz<br>EG7S- encoder (U=24V, sin/cos 1Vss)<br>TF- Sonda térmica PTC<br>C- Sombrerete de protección | Ventilación Forzada<br>Encoder |

Figura 5.7: CUADRO COMPARATIVO OPCIÓN N°1 Y OPCIÓN N°2

Podemos verificar que sus características técnicas son muy similares en torque y velocidad nominal. Es importante tomar en cuenta que para la opción N°2 (Servomotorreductor) la selección no se realiza por potencia sino por torque entregado en todo el rango de velocidad.

Podemos apreciar que el peso de la opción N°2 (Servomotorreductor) es 93 Kg menos (100% menor), lo cual es una ventaja importante a tener en cuenta.

En la figura 5.8 se presenta el detalle de las dimensiones y volúmenes que ocupan los accionamientos.

|   | FOULARD    |            |
|---|------------|------------|
|   | OPCIÓN N°1 | OPCIÓN N°2 |
|   | MOTOR      | MOTOR      |
| LARGO   | 986        | 657        |
| DIÁMETRO                                      | 331        | 270        |
| VOLUMEN (10 <sup>-3</sup> ) [m <sup>3</sup> ] | 84.84      | 47.90      |
| LONGITUD [mm]                                 | 986        | 657        |

Figura 5.8: DETALLE DE DIMENSIONES OPCIÓN N°1 Y OPCIÓN N°2

Podemos concluir que la opción N°2 (Servomotorreductor) en longitud es 329 mm menos que la opción N°1 (50% menor) y en volumen es  $36.9 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$  (77% menor).

### 5.3 MOTOR N°3: SOBREALIMENTADOR DE ENTRADA

OPCIÓN N°1: MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA DE 2 POLOS, CON ROTOR JAULA DE ARDILLA, ENCODER Y VENTILACIÓN FORZADA - DV132S2/V5/EV1S.

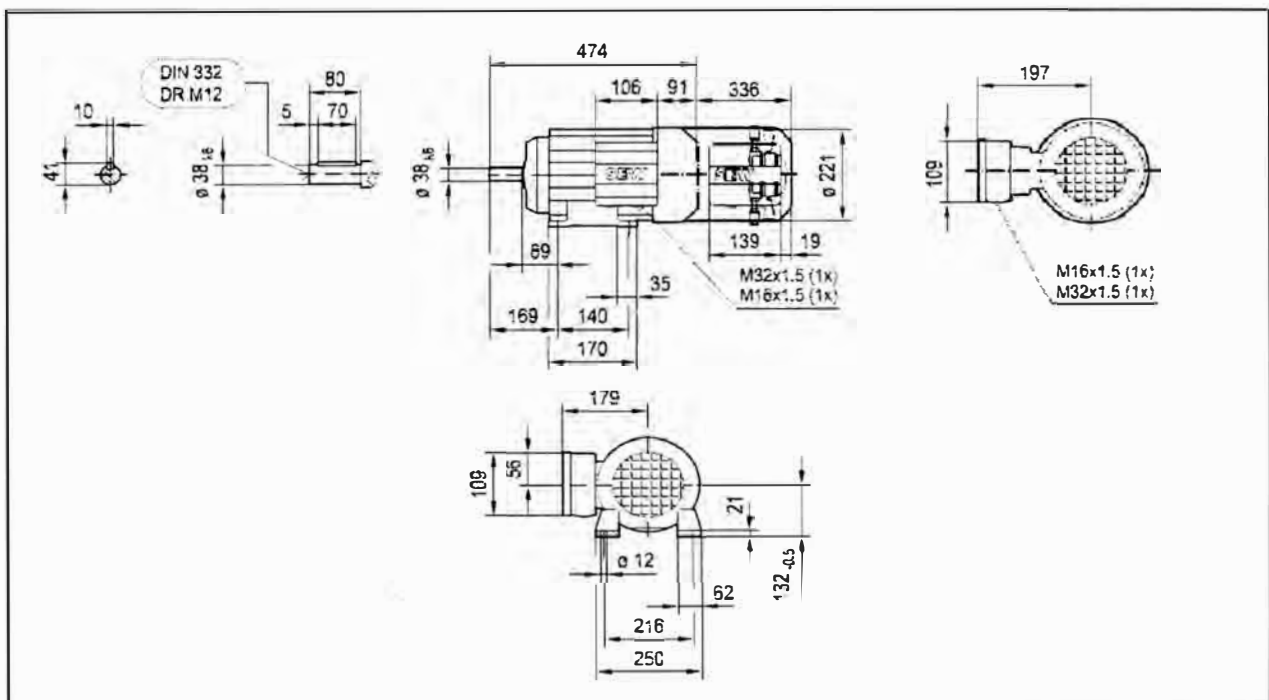


Figura 5.9: MOTOR SOBREALIMENTADOR DE ENTRADA – OPCIÓN N°1

OPCIÓN N°2: SERVOMOTOR DE CORRIENTE CONTINUA, CON ROTOR DE IMANES PERMANENTES Y RESOLVER - CFM90M/TF/RH1M/KK

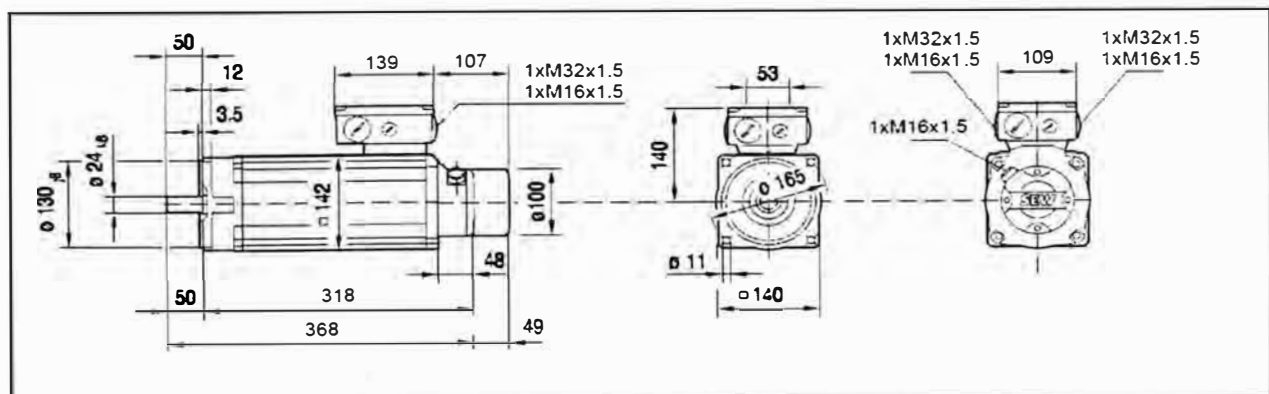


Figura 5.10: MOTOR SOBREALIMENTADOR DE ENTRADA – OPCIÓN N°2

En la figura 5.11 se presenta un cuadro comparativo entre la opción 1, 2 y el accionamiento original.

| SOBREALIMENTADOR DE ENTRADA          |  |   |                                |
|--------------------------------------|--|---|--------------------------------|
| Descripción de catálogo              | DV.3252/VS/EV15  | CFM90M/TF/RH1M/KE                       | ORIGINA. LENZE                 |
| Potencia nominal                     | 5.5 [kW]   |   | 4.6 [kW]                       |
| Velocidad de motor                   | 3456 [RPM]   | 3000 [RPM]                              | 3100 [RPM]                     |
| Par de Motor                         | 15.1 [Nm]  | 14.5 [Nm]                               |                                |
| Corriente nominal                    | 10.5 [A]   | 10.1 [A]                                | 12.2 [A]                       |
| Carga radial permisible. en 1400 RPM | 1100 [N]   | 2610 [N]                                |                                |
| Frecuencia                           | 60 [Hz]  | 150 [Hz]                                |                                |
| Tensión nominal                      | 400 [V]  | 400 [V]                                 | 400 [V]                        |
| Aislamiento térmico                  | F  |   |                                |
| Tipo de protección                   | IP55   | IP65                                    |                                |
| Peso                                 | 48 [kg]  | 37 [kg]                                 |                                |
| Dimensiones del eje de salida        | 38x30 [mm]   | 24x50 [mm]                              | 24x50 [mm]                     |
| Opcionales:                          | V- Ventilación forzada IP 54, 230V 50/60Hz<br>EV15- encoder (U=24V. sin/cos 1Vss)<br>TF- Sonda térmica PTC | RH1M- Resolver<br>TF- Sonda térmica PTC | Ventilación Forzada<br>Encoder |

Figura 5.11: CUADRO COMPARATIVO OPCIÓN N°1 Y OPCIÓN N°2

Podemos verificar que sus características técnicas son muy similares en toque y velocidad nominal. Es importante tomar en cuenta que para la opción N°2 (Servomotorreductor) la selección no se realiza por potencia sino por torque entregado en todo el rango de velocidad.

Podemos apreciar que el peso de la opción N°2 (Servomotorreductor) es 11 Kg menos (29% menor).

En la figura 5.12 se presenta el detalle de las dimensiones y volúmenes que ocupan los accionamientos.

|   | SOBREALIMENTADOR DE ENTRADA |            |
|---|-----------------------------|------------|
|   | OPCIÓN N°1                  | OPCIÓN N°2 |
|   | MOTOR                       | MOTOR      |
| LARGO   | 730                         | 366        |
| DIÁMETRO                                      | 221                         | 142        |
| VOLUMEN [10 <sup>-3</sup> ] [m <sup>3</sup> ] | 28.00                       | 7.35       |
| LONGITUD [mm]                                 | 730                         | 366        |

Figura 5.12: DETALLE DE DIMENSIONES OPCIÓN N°1 Y OPCIÓN N°2

Podemos concluir que la opción N°2 (Servomotorreductor) en longitud es 364 mm menos que la opción N°1 (99% menor) y en volumen es  $20.6 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$  (379% menor).

## 5.4 MOTOR N°4 y 5: PRESIONADORES DE TELA

**OPCIÓN N°1:** MOTOR DE CORREINTE CONTINUA DE 2 POLOS, CON ROTOR JAULA DE ARDILLA, ENCODER Y VENTILACIÓN FORZADA - R17DT80N2/VS/EV1S.

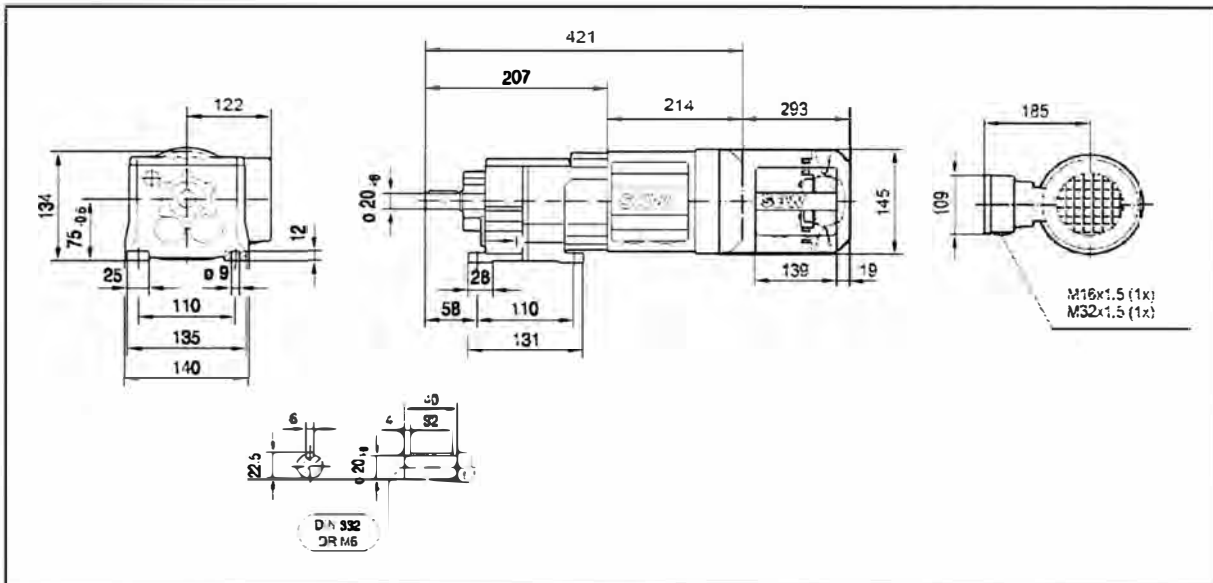


Figura 5.13: MOTOR PRESIONADOR DE TELA – OPCIÓN N°1

**OPCIÓN N°2:** SERVOMOTOR DE CORRIENTE CONTINUA, CON ROTOR DE IMANES PERMANENTES Y RESOLVER - R27CMP63S/KY/RH1M/KK

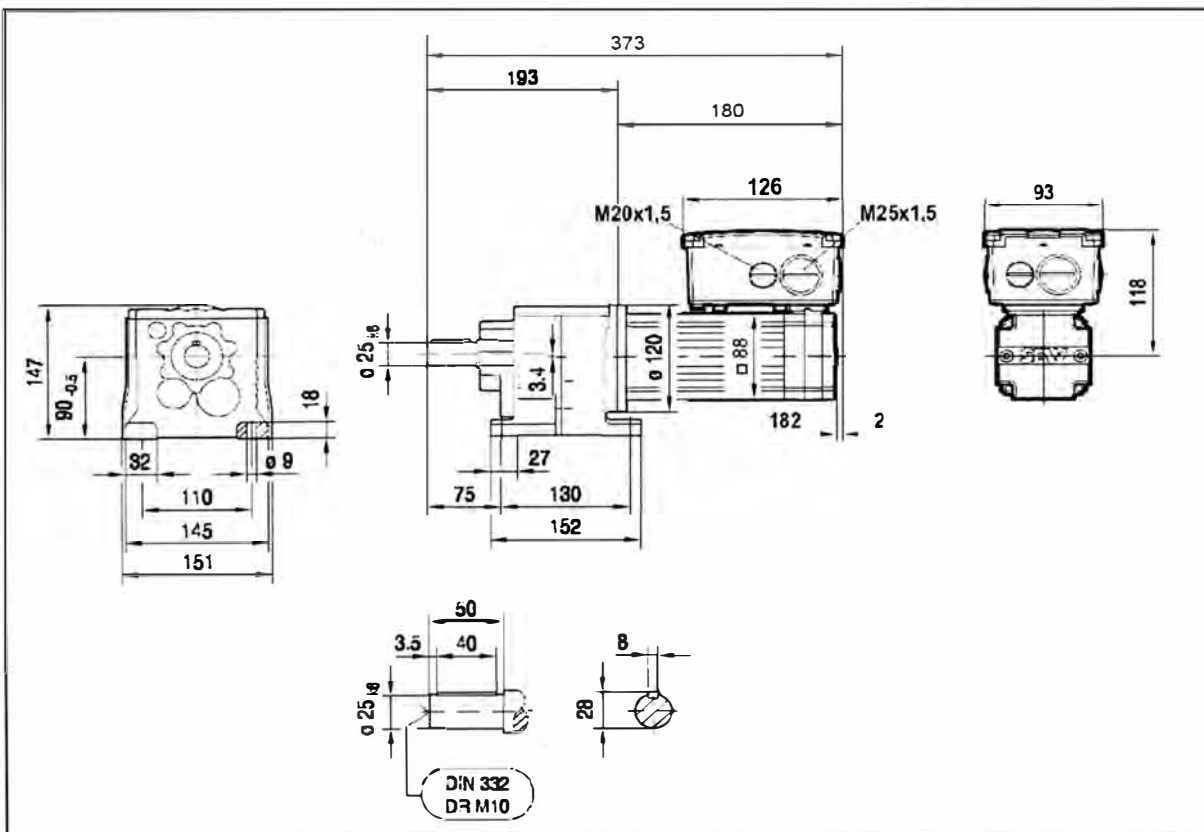


Figura 5.14: MOTOR PRESIONADOR DE TELA – OPCIÓN N°2

En la figura 5.15 se presenta un cuadro comparativo entre la opción 1, 2 y el accionamiento original.

| PRESIONADORES DE TELA               |   |   |                                |
|-------------------------------------|---|---|--------------------------------|
| Descripción de catálogo             | R17DT80N.2/V5/EV15  | R27CMP635/KY/RH1M/KK                    | ORIGINALLENZE                  |
| Potencia nominal                    | 1.1 [kW]  |   | 0.8 [kW]                       |
| Velocidad de motor                  | 3300 [RPM]  | 3000 [RPM]                              | 3000 [RPM]                     |
| Velocidad de salida                 | 332 [RPM]   | 393 [RPM]                               |                                |
| Relación de reducción               | 8.63  | 7.63                                    | 8                              |
| Par del Motor                       | 3.1 [Nm]  | 2.9 [Nm]                                |                                |
| Par de salida                       | 28 [Nm]   | 22 [Nm]                                 |                                |
| Corriente nominal                   | 2.65 [A]  | 2.15 [A]                                | 2.7 [A]                        |
| Carga radial permisible (a1400 RPM) | 1050 [N]  | 1660 [N]                                |                                |
| Factor de servicio del reductor     | 2.5   | 5.1                                     |                                |
| Frecuencia                          | 60 [Hz]   | 150 [Hz]                                |                                |
| Tensión nominal                     | 400 [V]   | 400 [V]                                 | 440 [V]                        |
| Aislamiento térmico                 | F   | F                                       |                                |
| Tipo de protección                  | IP55  | IP65                                    |                                |
| Peso                                | 12 [kg]   | 9 [kg]                                  | 13 [kg]                        |
| Diámetro de eje                     | 20x40 [mm]  | 25x50 [mm]                              | 20x40 [mm]                     |
| Opcionales:                         | V5-Ventilación forzada IP 54, 230V 50/60Hz<br>EV15- encoder: (U=24V, sin/cos 1Vss)<br>TF- Sonda térmica PTC | RH1M- Resolver<br>TF- Sonda térmica PTC | Ventilación Forzada<br>Encoder |

Figura 5.15: CUADRO COMPARATIVO OPCIÓN N°1 Y OPCIÓN N°2

Podemos verificar que sus características técnicas son muy similares en toque y velocidad nominal. Es importante tomar en cuenta que para la opción N°2 (Servomotorreductor) la selección no se realiza por potencia sino por torque entregado en todo el rango de velocidad.

Podemos apreciar que el peso de la opción N°2 (Servomotorreductor) es 3 Kg menos (33% menor).

En la figura 5.16 se presenta el detalle de las dimensiones y volúmenes que ocupan los accionamientos.

|   | PRESIONADORES DE TELA |       |            |       |
|---|-----------------------|-------|------------|-------|
|   | OPCIÓN N°1            |       | OPCIÓN N°2 |       |
|   | REDUCTOR              | MOTOR | REDUCTOR   | MOTOR |
| LARGO   | 167                   | 507   | 143        | 180   |
| ANCHO / DIÁMETRO                              | 134                   | 145   | 147        | 88    |
| PROFUNDIDAD                                   | 140                   |       | 151        |       |
| VOLUMEN (10 <sup>-3</sup> ) [m <sup>3</sup> ] | 3.13                  | 8.37  | 3.17       | 1.39  |
| LONGITUD [mm]                                 | 674                   |       | 323        |       |

Figura 5.16: DETALLE DE DIMENSIONES OPCIÓN N°1 Y OPCIÓN N°2

Podemos concluir que la opción N°2 (Servomotorreductor) en longitud es 351 mm menos que la opción N°1 (108% menor) y en volumen es  $6.94 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$  (152% menor).





Podemos verificar que sus características técnicas son muy similares en toque y velocidad nominal. Es importante tomar en cuenta que para la opción N°2 (Servomotorreductor) la selección no se realiza por potencia sino por torque entregado en todo el rango de velocidad.

Podemos apreciar que el peso de la opción N°2 (Servomotorreductor) es 95 Kg menos (67% menor) esta característica fue importante debido a que el montaje de los motores de las cadenas es M2 (eje vertical hacia arriba, bridado) por lo tanto la estructura de la máquina soportaría estos dos motores.

En la figura 5.20 se presenta el detalle de las dimensiones y volúmenes que ocupan los accionamientos.

|   | CADENAS    |       |            |       |
|---|------------|-------|------------|-------|
|   | OPCIÓN N°1 |       | OPCIÓN N°2 |       |
|   | REDUCTOR   | MOTOR | REDUCTOR   | MOTOR |
| LARGO   | 272        | 386   | 272        | 357   |
| ANCHO / DIÁMETRO                              | 297        | 331   | 297        | 270   |
| PROFUNDIDAD                                   | 300        |       | 300        |       |
| VOLUMEN (10 <sup>-3</sup> ) [m <sup>3</sup> ] | 24.24      | 84.84 | 24.24      | 47.90 |
| LONGITUD [mm]                                 | 1258       |       | 929        |       |

Figura 5.20: DETALLE DE DIMENSIONES OPCIÓN N°1 Y OPCIÓN N°2

Podemos concluir que la opción N°2 (Servomotorreductor) en longitud es 329 mm menos que la opción N°1 (35% menor) y en volumen es  $36.9 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$  (77% menor).



En la figura 5.23 se presenta un cuadro comparativo entre la opción 1, 2 y el accionamiento original.

| SOBREALIMENTADOR DE SALIDA - ENROLLADOR                |  |   |                                |
|--|--|---|--------------------------------|
| Descripción de catálogo:                               | DV132S2/VS/EV15  | AQA140/2 CFM9CM/TF/RH1M/KK              | ORIGINAL LENZE                 |
| Potencia nominal:                                      | 5.5 [kW]   |   | 4.6 [kW]                       |
| Velocidad de motor:                                    | 3480 [RPM]   | 3000 [RPM]                              | 3100 [RPM]                     |
| Par de Motor:  | 15.1 [Nm]  | 14.5 [Nm]                               |                                |
| Corriente nominal:                                     | 10.5 [A]   | 10.1 [A]                                | 12.2 [A]                       |
| Carga radial permisible (a 1400 RPM):                  | 1100 [N]   | 2610 [N]                                |                                |
| Frecuencia:  | 60 [Hz]  | 150 [Hz]                                |                                |
| Tensión nominal:                                       | 400 [V]  | 400 [V]                                 | 400 [V]                        |
| Aislamiento térmico:                                   | F  | F                                       |                                |
| Tipo de protección:                                    | IP55   | IP65                                    |                                |
| Peso:  | 48 [kg]  | 17 [kg]                                 |                                |
| Diámetro de eje (Rebajado para Reductor SEW):          | 16 [mm]  | 16 [mm]                                 | 14 [mm]                        |
| Diámetro de la brida (para Reductor SEW):              | 160 [mm]   | 160 [mm]                                | 160 [mm]                       |
| Diámetro del piñón de ataque (para 567, ratio: 10.05): | 22 [mm]  | 22 [mm]                                 |                                |
| Opcionales:  | V- Ventilación forzada IP 54, 230V 50/60Hz<br>EV15- encoder (U=24V, sin/cos 1vss)<br>TF- Sonda térmica PTC | RH1M- Resolver<br>TF- Sonda térmica PTC | Ventilación Forzada<br>Encoder |

Figura 5.23: CUADRO COMPARATIVO OPCIÓN N°1 Y OPCIÓN N°2

Podemos verificar que sus características técnicas son muy similares en torque y velocidad nominal. Es importante tomar en cuenta que para la opción N°2 (Servomotorreductor) la selección no se realiza por potencia sino por torque entregado en todo el rango de velocidad.

Podemos apreciar que el peso de la opción N°2 (Servomotorreductor) es 11 Kg menos (29% menor) lo cual es una ventaja teniendo en cuenta que la forma de montaje de este accionamiento es a través de eje hueco, y por lo tanto el eje de la máquina soportará todo este peso.

En la figura 5.24 se presenta el detalle de las dimensiones y volúmenes que ocupan los accionamientos.

|   | SOBREALIMENTADOR DE SALIDA Y ENROLLADOR |       |            |       |
|---|---|-------|------------|-------|
|   | OPCIÓN N°1                              |       | OPCIÓN N°2 |       |
|   | CAMPANA                                 | MOTOR | CAMPANA    | MOTOR |
| LARGO   | 191                                     | 730   | 175        | 346   |
| ANCHO   | 160                                     | 221   | 160        | 142   |
| VOLUMEN (10 <sup>-3</sup> ) [m <sup>3</sup> ] | 3.84                                    | 28.00 | 3.52       | 7.38  |
| LONGITUD [mm]                                 | 921                                     |       | 541        |       |

Figura 5.24: DETALLE DE DIMENSIONES OPCIÓN N°1 Y OPCIÓN N°2

Podemos concluir que la opción N°2 (Servomotorreductor) en longitud es 380 mm menos que la opción N°1 (70.2% menor) y en volumen es  $20.94 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$  (283% menor).

## 5.7 COMPARACIÓN DE PRECIOS

**OPCIÓN N°1:** TECNOLOGÍA ESTÁNDAR MOTOR CON ROTOR JAULA DE ARDILLA, 2 POLOS, ENCODER Y VENTILACIÓN FORZADA.

| <b>TECNOLOGÍA STANDARD, OPCIÓN N°1</b> |                                       |               |       |                |
|--|---------------------------------------|---------------|-------|----------------|
| ITEM                                   | MOTORREDUCTORES                       | PRECIO UNIT.  | CANT. | PRECIO TOTAL   |
| 1.1                                    | Motorreductor_KA67 DX132S2/VS/EV1S    | S/. 13,638.91 | 1     | S/. 13,638.91  |
| 2.1                                    | Motor_DFX180L2/V/EV1S                 | S/. 22,101.49 | 1     | S/. 22,101.49  |
| 3.1                                    | Motor_DX132S2/VS/EV1S                 | S/. 9,486.58  | 1     | S/. 9,486.58   |
| 4.1                                    | Motorreductor_R17 DZ80N2/VS/EV1S      | S/. 7,077.08  | 2     | S/. 14,154.17  |
| 5.1                                    | Motorreductor_RF87 DX180L2/V/EV1S     | S/. 24,730.82 | 2     | S/. 49,461.64  |
| 6.1                                    | Motor_DFX132S2/VS/EV1S + PIÑON SPIGOT | S/. 9,839.59  | 2     | S/. 19,679.18  |
|  |                                       |               | TOTAL | S/. 128,521.97 |

Figura 5.25: PRECIOS DE LA OPCIÓN N°1

**OPCIÓN N°2:** TECNOLOGÍA SERVOMOTOR CON ROTOR DE IMANES PERMANENTES Y RESOLVER.

| <b>TECNOLOGÍA SERVOMOTOR, OPCIÓN N°2</b> |                                     |               |       |               |
|--|-------------------------------------|---------------|-------|---------------|
| ITEM                                     | MOTORREDUCTORES                     | PRECIO UNIT.  | CANT. | PRECIO TOTAL  |
| 1.1                                      | KA47/T AQA140/2 CM90M/TF/RH1M/KK    | S/. 13,072.42 | 1     | S/. 13,072.42 |
| 2.1                                      | DRL160M4/FF/TF/EG7S/V/C             | S/. 14,223.44 | 1     | S/. 14,223.44 |
| 3.1                                      | CFM90M/TF/RH1M/KK                   | S/. 6,665.46  | 1     | S/. 6,665.46  |
| 4.1                                      | R27CMP63S/KY/RH1M/KK                | S/. 5,072.15  | 2     | S/. 10,144.31 |
| 5.1                                      | RF87DRL160M4/TF/EG7S/V              | S/. 16,714.65 | 2     | S/. 33,429.29 |
| 6.1                                      | AQA140/2 CM90M/TF/RH1M/KK (+ piñon) | S/. 8,909.05  | 2     | S/. 17,818.10 |
|  |                                     |               | TOTAL | S/. 95,353.02 |

Figura 5.26: PRECIOS DE LA OPCIÓN N°2

Podemos observar que la opción N°1 (tecnología estándar, motor de inducción jaula de ardilla) se vuelve una propuesta muy elevada, este incremento en su precio se debe a las características especiales del accionamiento:

- ✓ Motores de 2 polos en el estator, velocidad síncrona 3600 RPM
- ✓ Encoder incremental, lo cual implica un rotor de eje posterior extendido.
- ✓ Ventilación forzada para trabajo a bajas revoluciones.

Por otro lado, el diseño estándar de la opción N°2, tiene las siguientes características:

- ✓ Motores síncronos a 3000 RPM
- ✓ Resolver como estándar.
- ✓ No es necesario ventilación forzada.

Se puede apreciar en las figuras 5.25 y 5.26 que la diferencia en el conjunto es de 33,168.95 nuevos soles.

*Es por estos motivos que para esta aplicación la opción número 2 (Tecnología de Servomotores) es la alternativa más eficiente en temas de performance, dimensiones, volúmenes, pesos y precios.*

## 5.8 VARIADORES DE FRECUENCIA SELECCIONADOS

El variador seleccionado para esta aplicación es el VARIADOR DE FRECUENCIA MARCA SEW-EURODRIVE MODELO MOVIDRIVE MDX61B el cual se muestra en sus 6 tallas en la figura 124.

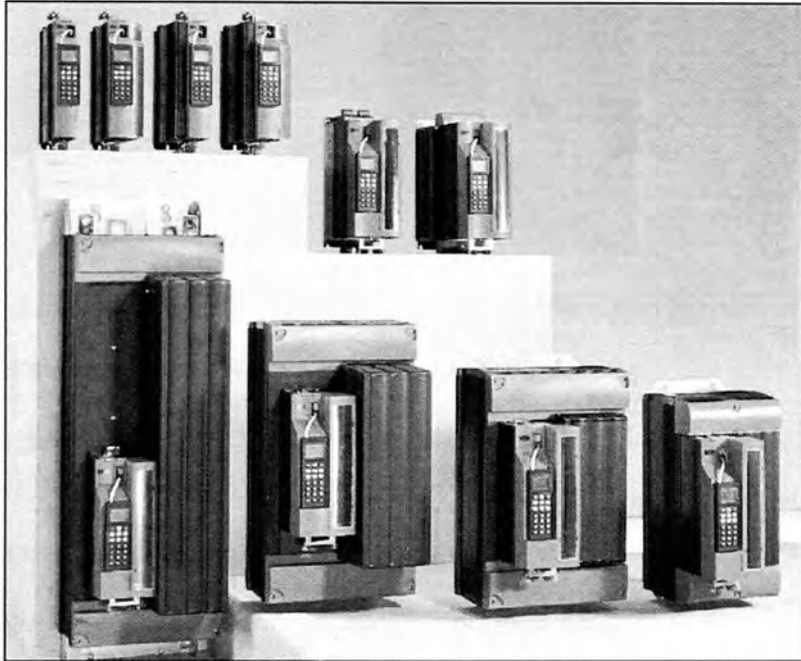


Figura 5.27: VARIADOR MODELO MOVIDRIVE MDX61B

Entre las características más importantes de este equipo electrónico, se encuentran sus modos de control VFC, VFC con retroalimentación, CFC y SERVO.

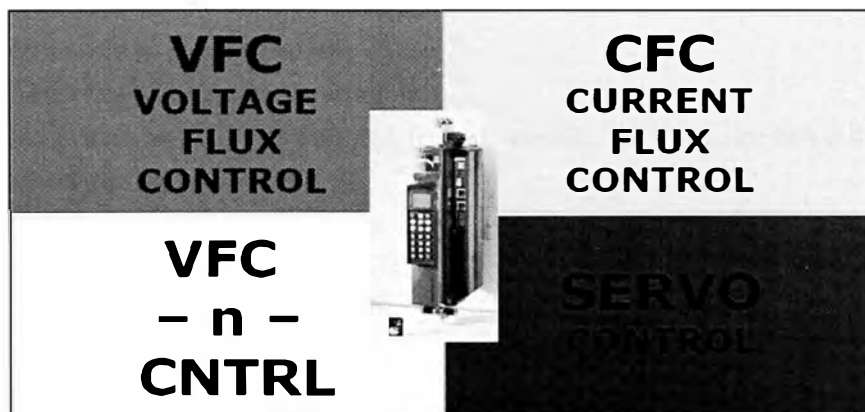


Figura 5.28: MODOS DE CONTROL DEL VARIADOR MODELO MOVIDRIVE MDX61B

Así mismo, su capacidad de programación en lenguaje estructurado (Lenguaje C), llamado IPOS plus, con el cual se puede desarrollar toda la lógica de control de la máquina sin necesidad de un PLC adicional.



## **CAPITULO VI**

### **INSTALACIÓN DEL SISTEMA**

#### **6.1 INSTALACIÓN MECÁNICA DE LOS MOTORREDUCTORES**

##### **6.1.1 HERRAMIENTAS Y MATERIAL NECESARIO**

- ✓ Juego de llaves
- ✓ Llaves dinamométricas (para anillos de contracción, adaptadores AQH, tapas de entrada con centraje)
- ✓ Dispositivo de montaje
- ✓ Distanciadores y anillos separadores si se necesitan
- ✓ Dispositivos de fijación para los elementos de entrada y salida.
- ✓ Lubricante
- ✓ Fluido NOCO
- ✓ Compuesto para fijación de tornillos.

##### **6.1.2 ANTES DE EMPEZAR CON LA INSTALACIÓN MECÁNICA**

El accionamiento puede montarse solo si:

- ✓ Los datos de la placa de características del motorreductor coinciden con los de la corriente de alimentación.
- ✓ El accionamiento no está dañado (no presente daños causados por el transporte o el almacenamiento)
- ✓ Se cumplen los requisitos que se mencionan a continuación:
  - En el caso de los reductores estándar:
  - La temperatura ambiente se corresponde con la señalada en la tabla de lubricantes y no hay aceites, ácidos, grasas, vapores, radiaciones, etc.
  - En el caso de ejecuciones especiales:
  - La ejecución de accionamiento esta realizada conforme a las condiciones del entorno.

- En el caso de los reductores tornillo sin fin:
- No hay masa con gran momento de inercia que puedan originar una carga reversible sobre el reductor.

### 6.1.3 TRABAJOS PREVIOS

Los ejes de salida y los superficies de las bridas deben limpiarse completamente de productos anticorrosivos, impurezas o similares (usar un disolvente comercial). No permita que el disolvente entre en contactos con los bordes de cierre de los retenes, ya que podría dañarse el material.

### 6.1.4 INSTALACIÓN DEL MOTORREDUCTOR

El reductor o motorreductor debe montarse o instalarse en la posición establecida, sobre una estructura de soporte nivelada, amortiguada y rígida a torsión. No tense las fijaciones de las patas y las bridas de montaje unas a otras, y respete las cargas radiales y axiales admisibles.

Para la fijación de los motorreductores utilice siempre pernos de fijación de calidad 8.8.

Para la transmisión de los pares (torques) nominales se deben utilizar pernos de sujeción de calidad 10.9 para el montaje con brida por parte del cliente.

Los tapones de nivel, vaciado y salida de gases deben ser accesibles.

En este momento del montaje, compruebe también si el nivel de llenado de aceite es el previsto para esta posición de montaje. De fábrica, los reductores, se suministran con el nivel de aceite requerido. En función de la posición de montaje, es posible que se den ligeras desviaciones en el tapón de control de nivel de aceite, que son admisibles dentro de las tolerancias de fabricación establecidas.

Ajuste las cantidades de llenado de lubricante y la posición del tapón de salida de gases al cambiar la posición de montaje.

Todos los reductores necesitan eliminar los gases que se forman en el interior de ellos, debido a la operación del aceite, con todas las partes móviles del reductor. Es por eso que todos los reductores son suministrados con una VALVULA DE SALIDA DE GASES instalada y activada.

Normalmente, la válvula de seguridad (de salida de gases) viene preparada de fábrica. En caso contrario, el seguro de transporte de la válvula de salida de gases debe retirarse antes de la puesta en marcha del reductor.

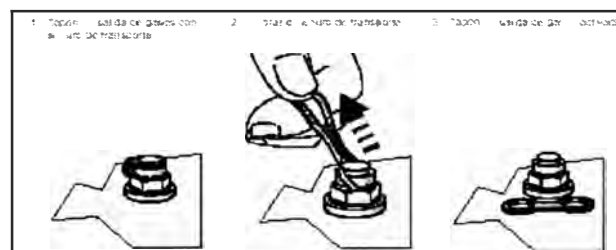


Figura 6.1: VALVULA DE SALIDA DE GASES



Si se va a pintar por encima el accionamiento completo o de modo parcial, se deben cubrir previamente con tiras adhesivas la válvula de salida de gases y los retenes. Al acabar de pintar, retire las cintas adhesivas.

### 6.1.5 FALLOS DE FUNCIONAMIENTO

| Fallo   | Posible Causa   | Solución  |
|---|---|---|
| Ruido de funcionamiento inusual y continuo  | Ruido de roces o chillidos: Rodamiento dañado   | Comprobar el aceite, cambiar el rodamiento.   |
|   | Ruido de golpeteo; Irregularidad en los engranajes  | Contactar con SEW EURODRIVE.  |
| Ruido de funcionamiento inusual y discontinuo   | Cuerpos extraños en el aceite   | Comprobar el aceite.  |
|   |   | Parar el accionamiento, contactar con SEW EURODRIVE.  |
| Fuga de aceite<br>Por la tapa del reductor<br>Por la brida del motor<br>Por el retén del eje del motor<br>Por la brida del reductor<br>Por el retén del eje de salida | Retén de la tapa del reductor no estática   | Apretar de nuevo los pernos de la tapa del reductor y vigilarlo. Si continúan las fugas de aceite, contactar a SEW EURODRIVE. |
|   | Retén defectuoso  | Contactar con SEW EURODRIVE.  |
|   | Reductor no aireado   | Airar el reductor   |
| Fuga de aceite por la válvula de salida de los gases  | Exceso de aceite  | Corregir el nivel de aceite   |
|   | Accionamiento en posición de montaje incorrecta   | Colocar las válvulas de salida de gases correctamente   |
|   | Arranques en frío frecuentes (espuma en el aceite)  | Comprobar el aceite.  |
| El eje de salida no gira a pesar de que el motor funciona o el eje de entrada gira  | La conexión entre el piñón de ataque y el engranaje principal del reductor se ha interrumpido | Enviar el motorreductor para su reparación en SEW EURODRIVE.  |

Figura 6.2: FALLAS DE FUNCIONAMIENTO

## 6.2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA DEL VARIADORES DE FRECUENCIA

### 6.2.1 HERRAMIENTAS Y MATERIAL NECESARIO

- ✓ Juego de llaves
- ✓ Multímetros digitales
- ✓ Pinzas amperimétricas
- ✓ Megohmetros

### 6.2.2 ANTES DE EMPEZAR CON LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

El variador de frecuencia puede instalarse solo si:

- ✓ Los datos de la placa de características del variador de frecuencia coinciden con los de la corriente de alimentación.
- ✓ El variador de frecuencia no está dañado (no presente daños causados por el transporte o el almacenamiento).
- ✓ Las condiciones ambientales están dentro de los parámetros establecidos por el variador.

### 6.2.3 INSTALACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

#### 6.2.3.1 Conexión de la parte fuerza y freno

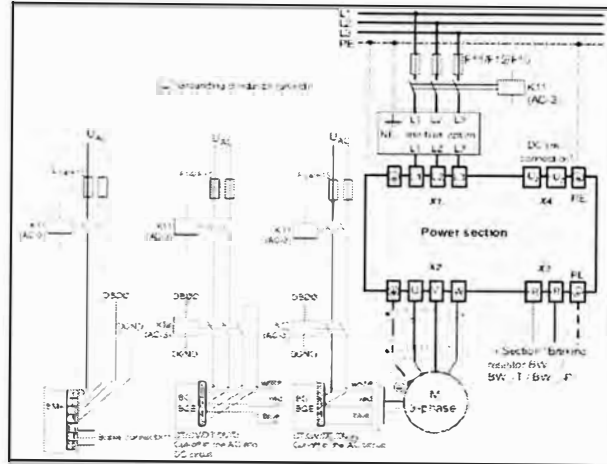


Figura 6.3: CONEXIÓN DE LA PARTE FUERZA Y FRENO

#### 6.2.3.2 Conexión de la resistencia de frenado

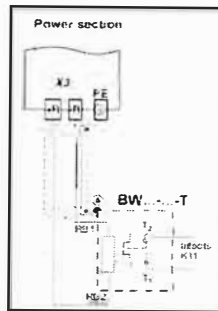


Figura 6.4: CONEXIÓN DE LA RESISTENCIA DE FRENO

#### 6.2.3.3 Conexión de la parte de control

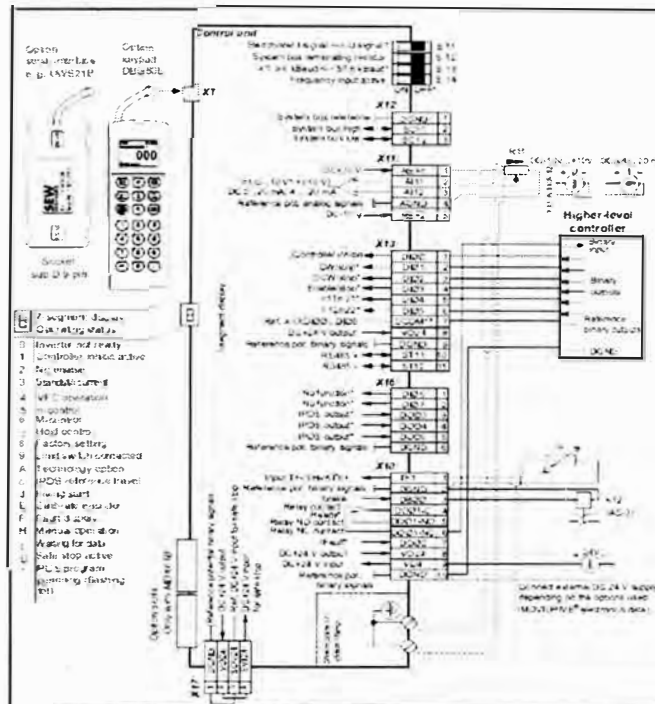


Figura 6.5: CONEXIÓN DE LA PARTE DE CONTROL

**6.2.3.4 Conexión del bus de comunicación SBUS**

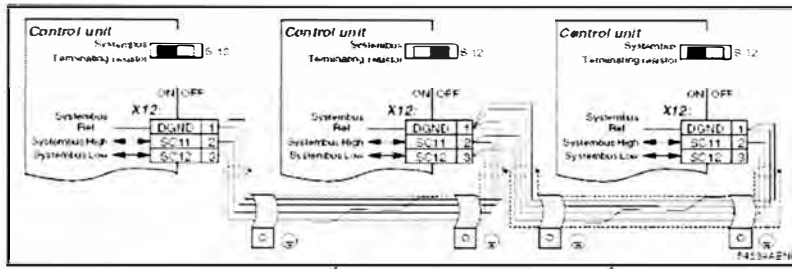


Figura 6.6: CONEXIÓN DE LA COMUNICACIÓN SBUS

**6.2.3.5 Conexión de la interfaz RS485**

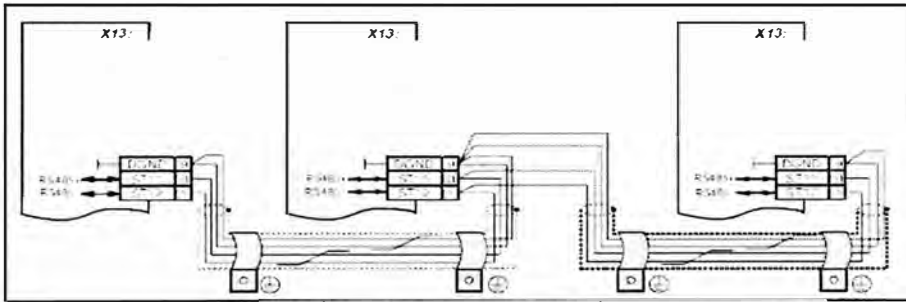


Figura 6.7: CONEXIÓN DE LA COMUNICACIÓN RS485 MOVILINK

**6.2.3.6 Conexión de la tarjeta de lectura del resolver DER11B**

| Front view of DER11B | Description  | Terminal            | Function   |       |           |
|----------------------|--|---------------------|--|-------|-----------|
|                      | X14: Input for external encoder or output for incremental encoder simulation<br>Connection — page 416 to page 419<br><br>The pulse count of the incremental encoder simulation is always 1024 pulses per revolution. | X14.1               | (cos) signal track A (R1)                                      |       |           |
|                      |  | X14.2               | (sin) signal track B (R2)                                      |       |           |
|                      |  | X14.3               | Signal track C (R3)  |       |           |
|                      |  | X14.4               | DAT+   |       |           |
|                      |  | X14.5/6             | Reserved   |       |           |
|                      |  | X14.7               | switch-over  |       |           |
|                      |  | X14.8               | Reference potential_DGND                                       |       |           |
|                      |  | X14.9               | (cos-) Signal track A (R1)                                     |       |           |
|                      |  | X14.10              | (sin-) Signal track B (R2)                                     |       |           |
|                      |  | X14.11              | Signal track C (R3)  |       |           |
|                      |  | X14.12              | DAT-   |       |           |
|                      |  | X14.13/14           | Reserved   |       |           |
|                      |  | X14.15              | DC+12 V (tolerance range DC 10.5 - 13 V) (max. load DC 650 mA) |       |           |
|                      |  | X15: Resolver input |  | X15.1 | sin- (S2) |
|                      |  |                     |  | X15.2 | cos- (S1) |
| X15.3                | Ref- (R1)  |                     |  |       |           |
| X15.4                | N.C.   |                     |  |       |           |
| X15.5                | Reference potential_TFTHKTY-   |                     |  |       |           |
| X15.6                | sin+ (S4)  |                     |  |       |           |
| X15.7                | cos+ (S3)  |                     |  |       |           |
| X15.8                | Ref+ (R2)  |                     |  |       |           |
| X15.9                | TFTHKTY+ connection  |                     |  |       |           |

Figura 6.8: CONEXIÓN DE LA TARJETA DE LECTURA DEL RESOLVER DER11B

**6.2.3.7 Conexión del cable de control para el resolver**

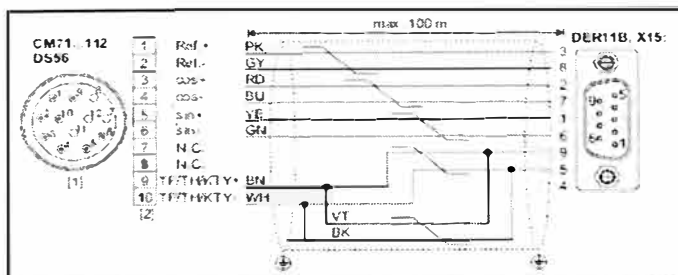


Figura 6.9: CONEXIÓN DEL CABLE DE CONTROL DEL RESOLVER

### 6.2.3.8 Conexión de entradas y salidas digitales adicionales

| Front view of DIO11B  | Terminal  | Function  |  |
|---|-----------|-----------|--|
| <p>Front view of DIO11B terminal block showing connections for X20, X21, X22, and X23. X20: AI21, AI22, AGND. X21: AOV1, AOC1, AGND, AOV2, AOC2, AGND. X22: DI10-DI17, DCOM, DGND. X23: DO10-DO17, 24VIN.</p> | X20:1/2   | AI21/22   | Setpoint: input n2, DC -10 V...0...+10 V or DC 0...+10 V (Differential input or input with AGND reference potential)   |
|   | X20:3     | AGND      | Reference potential for analog signals (REF1, REF2, AI..., AO...)  |
|   | X21:1     | AOV1      | Analog voltage output V1, with factory setting to "actual speed"   |
|   | X21:4     | AOV2      | Analog voltage output V2, with factory setting to "output current"   |
|   | X21:2     | AOC1      | Analog current output C1, with factory setting "actual speed"  |
|   | X21:5     | AOC2      | Analog current output C2, with factory setting "output current"  |
|   | X21:3/6   | AGND      | P642/645 "Operating mode AO1/2" sets whether the voltage outputs V1/2 (DC -10 V...0...+10 V) or the current outputs C1/2 (DC 0(4)...20 mA) are in effect. Selection options for the analog outputs — Parameter menu P640/643<br>Max. permitted cable length: 10 m / max output voltage: DC 15 V<br>Reference potential for analog signals (REF1, REF2, AI..., AO...) |
|   | X22:1...8 | DI1Ø...17 | Binary inputs 1...8, with factory setting "no function"<br>The binary inputs are electrically isolated by optocouplers.<br>Selection options for the binary inputs → Parameter menu P61...   |
|   | X22:9     | DCOM      | Reference potential for the binary inputs DI1Ø...17  |
|   | X22:10    | DGND      | Reference potential for binary signals<br>- Without jumper X22:9-X22:10 (DCOM-DGND) → Isolated binary inputs<br>- With jumper X22:9-X22:10 (DCOM-DGND) → Non-isolated binary inputs  |
|   | X23:1...8 | DO1Ø...17 | Binary outputs 1...8, with factory setting "no function"<br>Load capacity of binary outputs: $I_{max} = DC 50 mA$ (short-circuit proof, protected against external voltage to DC 30 V)<br><b>Do not apply external voltage to the binary outputs.</b>  |
|   | X23:9     | 24VIN     | Supply voltage DC+24 V for binary outputs D01Ø ... D017, non-isolated (reference potential DGND)   |

Figura 6.10: CONEXIÓN DE LA COMUNICACIÓN RS485 MOVILINK

### 6.2.3.9 Conexión de entradas análogas adicionales

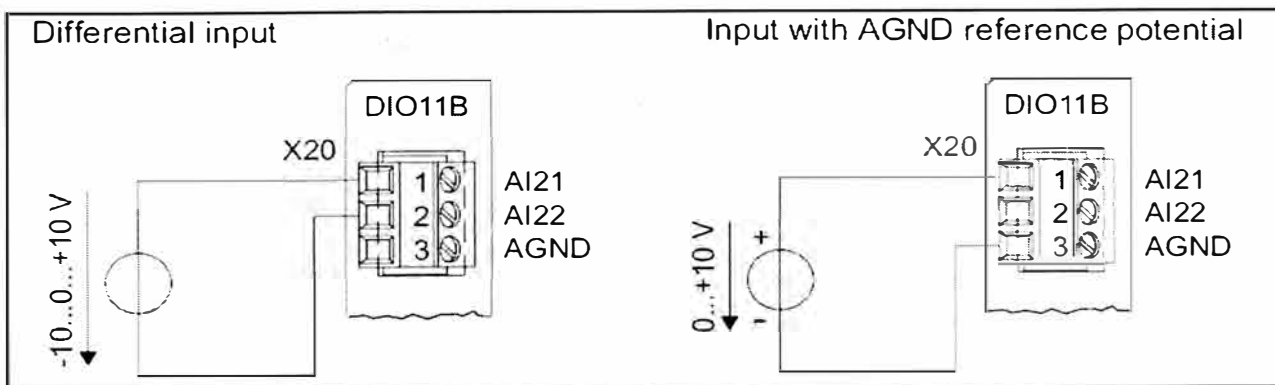


Figura 6.11: CONEXIÓN DE LAS ENTRADAS ANÁLOGAS

### 6.3 INSTALACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL:

SEW EURODRIVE entrega para este proyecto la solución completa, diseñando y montado su propio tablero eléctrico, en donde se montarán los 09 variadores de frecuencia y donde se encontrarán centralizadas las señales tanto análogas como digitales.

El tablero para esta aplicación tiene las siguientes dimensiones:

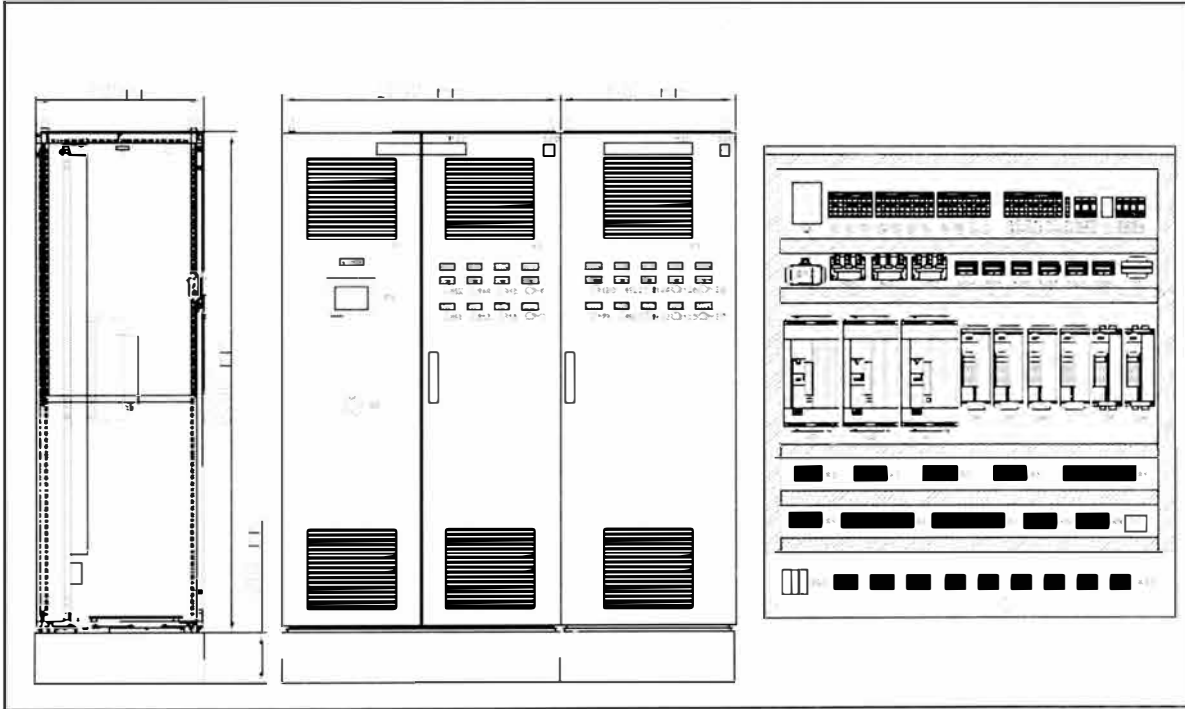


Figura 6.12: TABLERO DE CONTROL

Conformando así un tablero auto-soportado de 03 cuerpos, en la parte frontal tiene 09 juegos de pilotos de apagado y encendido para la visualización rápida del estado de cada uno de los variadores de frecuencia



Figura 6.13: TABLERO DE CONTROL

## 6.4 INSTALACIÓN DEL PANEL OPERADOR:

Adicionalmente se instaló en la puerta del tablero de control un panel operador Touch-Screen donde se configuró para la visualización de los variadores de cada variador de frecuencia, estas variables a visualizar son las siguientes:

- ✓ VELOCIDAD LINEAL (m/min)
- ✓ POTENCIA CONSUMIDA (kW)
- ✓ CORRIENTE NOMINAL (A)
- ✓ CORRIENTE ACTIVA (A)
- ✓ VELOCIDAD DEL MOTOR (RPM)
- ✓ FRECUENCIA DEL MOTOR (Hz)
- ✓ TEMPERATURA DEL VARIADOR (°C) :



Figura 6.14: PANTALLA DE DATOS

- ✓ ULTIMAS FALLAS DEL VARIADOR



Figura 6.15: PANTALLA DE FALLAS

Así mismo una pantalla principal donde se visualiza la VELOCIDAD DE LÍNEA DE LA MÁQUINA en m/min, POTENCIA INSTANTÁNEA CONSUMIDA en kW y la desviación de los tres balancines respecto de su referencia en porcentaje (%).



Figura 6.16: PANTALLA PRINCIPAL

## CAPITULO VII

### PROGRAMACIÓN DE LA LÓGICA DE CONTROL

La programación de los variadores marca SEW EURODRIVE modelo MOVIDRIVE MDX61B se realiza a través de un lenguaje estructurado denominado IPOS (Internal Position) el cual es un sistema de control de posición y secuencias basado en lenguaje C.

#### 7.1 LÓGICA DE CONTROL – PRIMERA PARTE

La lógica básica de la aplicación en la RAMA MONFORTS modelo MONTEX, esta dado por un sincronismo de velocidades. Es decir, los nueve accionamientos acoplados a sus respectivos rodillos debían mantener una velocidad lineal en la tela impulsada a través de todo el proceso.

La velocidad de referencia viene dada por una señal análoga comandada por el operador de máquina o a través de unos jogs de aumento y disminución de velocidad.

Un accionamiento será seleccionado como Maestro y los demás serán los esclavos, en esta aplicación se eligió al accionamiento de la cadena izquierda como maestro.

Esta velocidad lineal dependerá de la velocidad del motor maestro en RPM ( $n_{master}$ ) el ratio del reductor acoplado al motor maestro ( $i_{master}$ ) y la longitud que recorre el rodillo acoplado al motorreductor en una vuelta 360°, que para el caso de un rodillo la distancia recorrida será el perímetro, en caso de un tornillo de poder, la distancia será el paso multiplicado por el número de entradas, en nuestro caso el perímetro del rodillo acoplado lo denominaremos  $P_{master}$ .



Lo anteriormente mencionado lo podemos visualizar gráficamente en la figura 7.1.

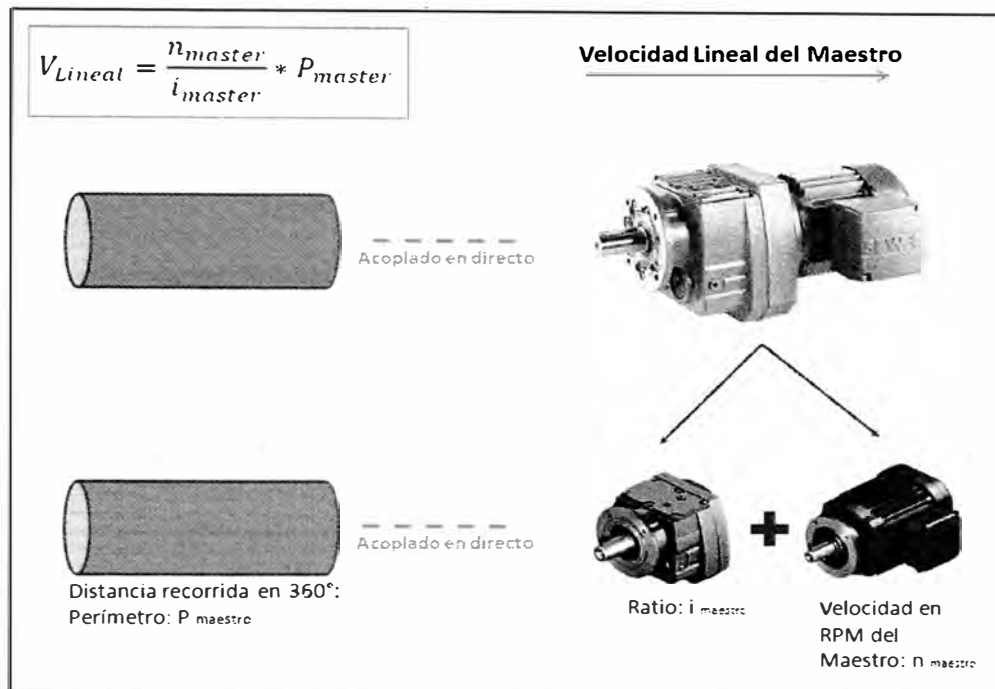


Figura 7.1

Por lo tanto podemos

$$V_{Referencia} = V_{Lineal} = \frac{n_{master}}{i_{master}} * P_{master} \dots \text{ecuación N}^{\circ}7.1$$

De la misma forma para los accionamientos denominados esclavos la velocidad lineal que desarrollaran está dada por los mismos parámetros figura 7.2.

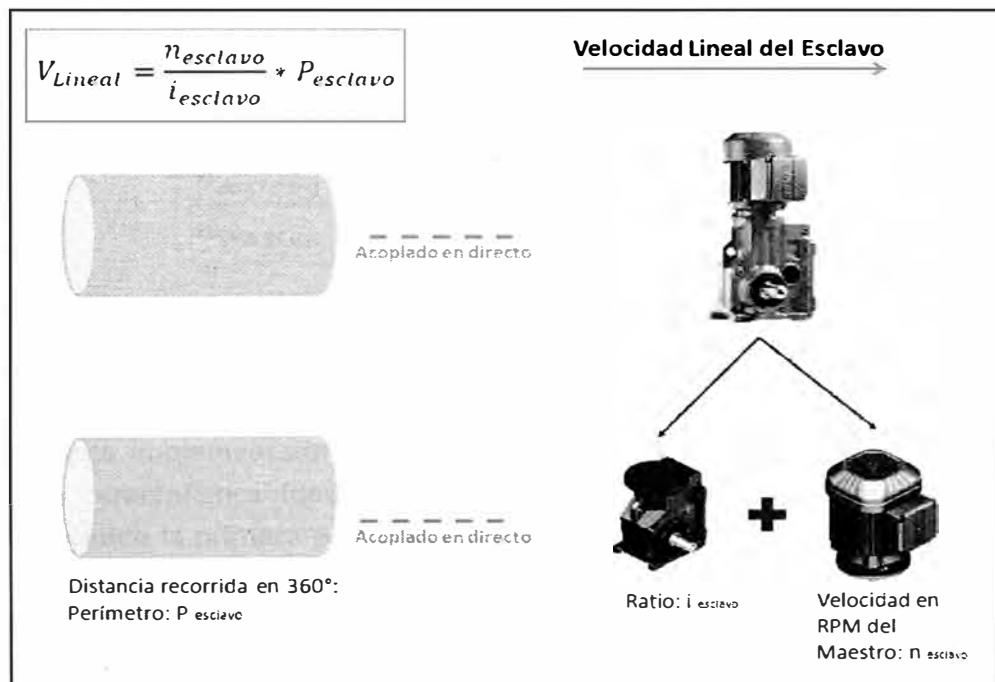


Figura 7.2

Los demás accionamientos denominados esclavo seguirán la referencia del maestro a través de un factor de relación.

Entonces, tenemos las dos velocidades lineales expresadas en las ecuaciones 7.2 y 7.3, para que exista el sincronismo estas dos velocidades lineales deben ser iguales.

$$V_{Lineal} = \frac{n_{master}}{i_{master}} * P_{master} \dots \text{ecuación N}^{\circ}7.2$$

$$V_{Lineal} = \frac{n_{esclavo}}{i_{esclavo}} * P_{esclavo} \dots \text{ecuación N}^{\circ}7.3$$

Igualando las velocidades lineales y despejando la relación de las velocidades en RPM del maestro y esclavo encontramos la siguiente expresión:

$$\frac{n_{esclavo}}{n_{master}} = \text{Factor de relación} = \frac{i_{esclavo}}{i_{master}} * \frac{P_{master}}{P_{esclavo}} \dots \text{ecuación N}^{\circ}7.4$$

La ecuación 64 se puede ver representada en la figura 7.3.

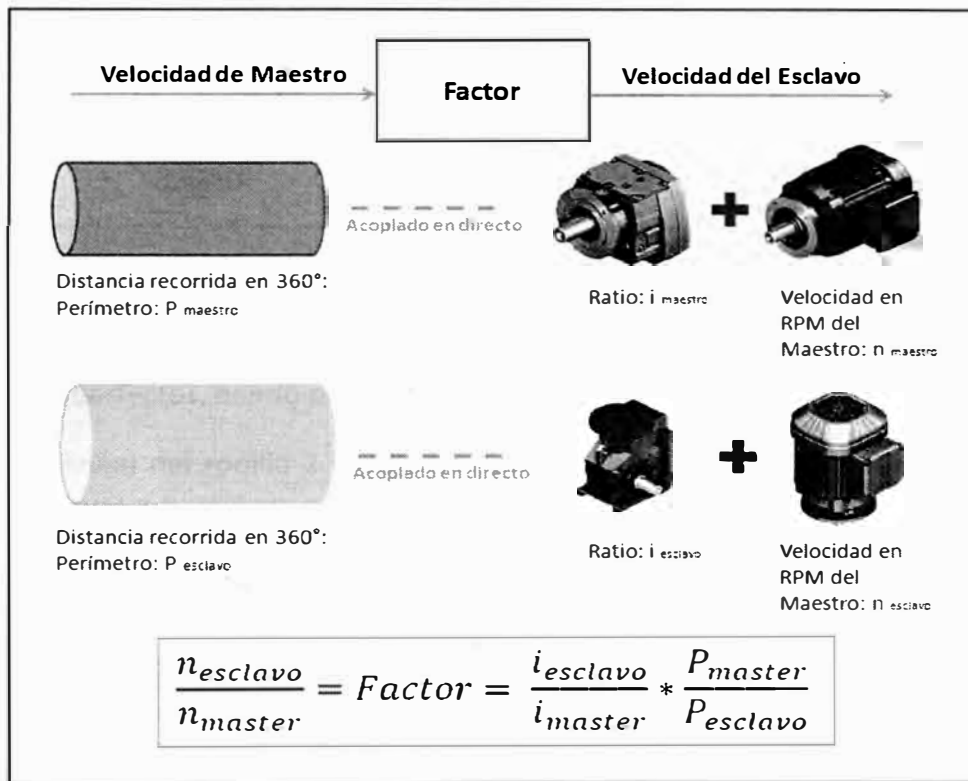


Figura 7.3

## 7.2 LÓGICA DE CONTROL – SEGUNDA PARTE

La segunda lógica implementada está referida al control de tensión en la tela, para poder entender esta característica fundamental en esta aplicación pongámonos en el siguiente escenario. Concluido la primera parte las velocidades lineales todos los accionamientos están sincronizados, y funcionan correctamente, sin embargo entre dos accionamientos debido al tramo largo que existe entre ellos se ha formado un efecto similar a la flecha en una cuerda, tal como se muestra la figura 7.4.

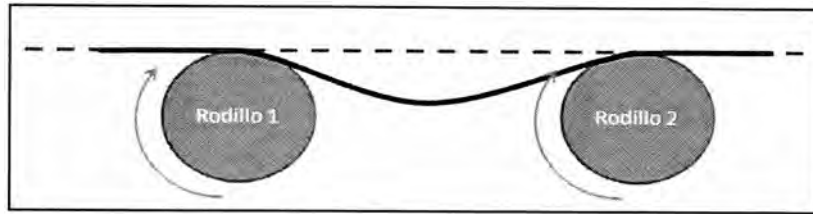


Figura 7.4

Si las velocidades lineales en este estado se mantienen iguales, la deformación o flecha seguirá constante:

$$V_{L\ motor\ 1} = V_{L\ motor\ 2} \dots \text{ecuación N}^\circ 7.5$$

En la figura 7.5 se puede apreciar de manera gráfica que de tener en principio una flecha en la tela y mantener las velocidades lineales iguales, como resultado se tendrá que la deformación se mantendrá en el tiempo.

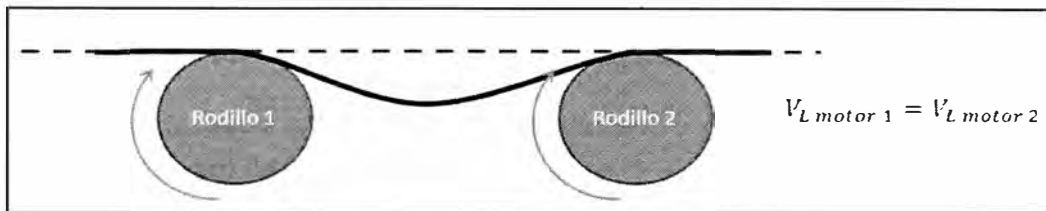


Figura 7.5

Esta situación no es deseable para el proceso debido a que la tela con el movimiento se puede traslapar, telescopiar, doblar, asimismo las tramas de la tela se puede deformar y el producto final tendría desperfectos, dando por rechazado al material.

Si la velocidad lineal del rodillo 1 es mayor que la del rodillo 2, la deformación o flecha se incrementaría figura 7.6

$$V_{L\ motor\ 1} > V_{L\ motor\ 2} \dots \text{ecuación N}^\circ 7.6$$

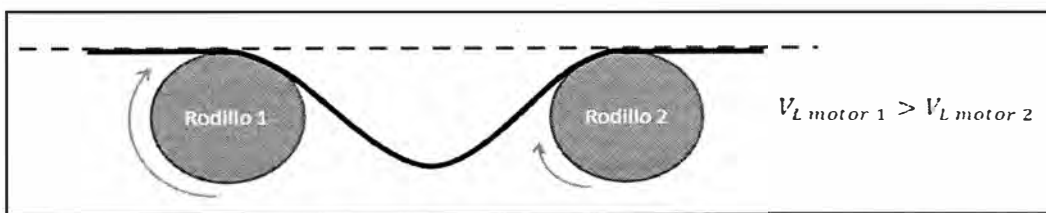


Figura 7.6

Si la velocidad lineal del rodillo 1 es menor que la del rodillo 2, la deformación o flecha disminuiría hasta eliminarse y tensionar la tela, si esta diferencia se mantiene la tela podría romperse debido a la excesiva tensión aplicada figura 7.7.

$$V_{L\ motor\ 1} < V_{L\ motor\ 2} \dots \text{ecuación N}^\circ 67$$

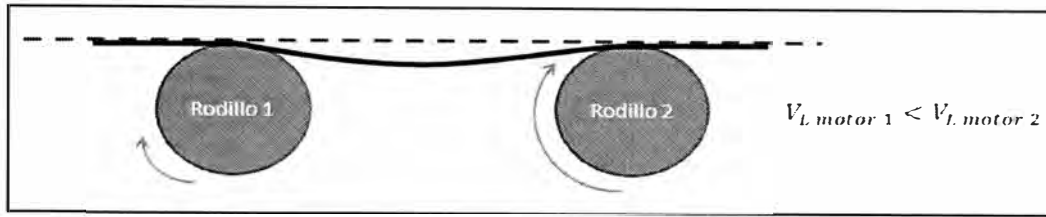


Figura 7.7

Las situaciones ilustradas anteriormente nos dan a conocer que la diferencia de velocidad se deben realizar teniendo una referencia de tensión la cual puede ser dada a través de los denominamos balancines.

Un balancín es un péndulo colocado entre dos puntos por donde pasa la tela y la tensión es 0, este péndulo cambiará de posición angular conforme la tensión de la tela aumente o disminuya, en el pivote tendrá un potenciómetro industrial el cual podrá relacionar la posición del péndulo con una señal análoga de 0 a 10V. Este péndulo estará regulado por medio de un pistón neumático que aplicará la tensión deseada en la tela y que se garantizará manteniendo la posición del péndulo en una posición de referencia (SetPoint).

En la figura 7.8 se muestra el balancín intermedio entre dos rodillos el cual se utilizará de referencia para el control de tensión de la tela.

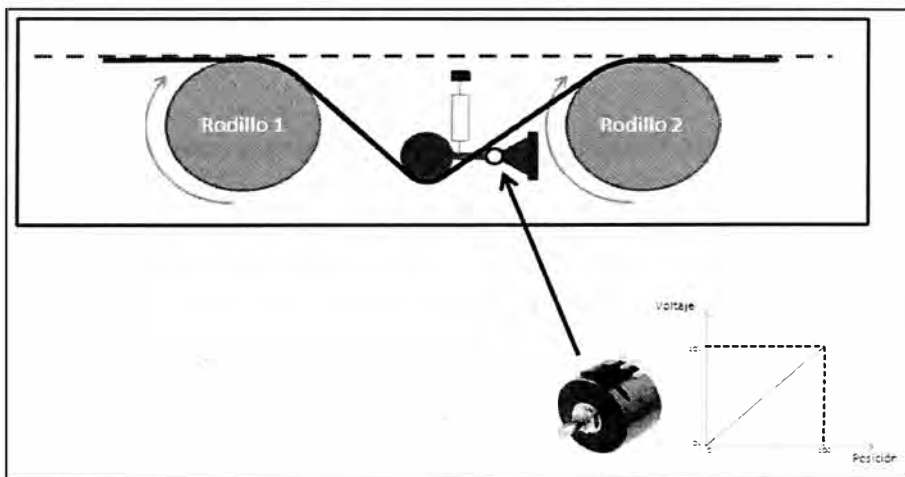


Figura 7.8

Es de esta manera que con la ayuda de una referencia dada por el balancín se realiza la diferencia de velocidad entre uno y otro accionamiento para garantizar una tensión constante a lo largo de todo el proceso.

Entonces nuestro diagrama de bloque a implementar en los controladores esclavos sujetos a balancines sería el siguiente:

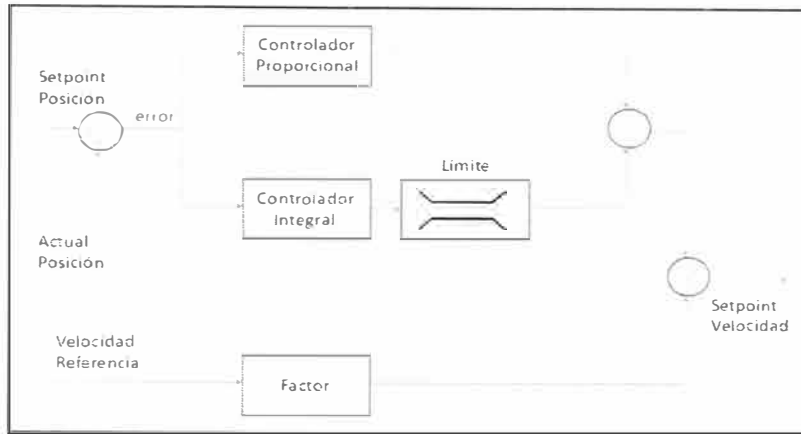


Figura 7.9 LÓGICA DE CONTROL – SEGUNDA PARTE

Este algoritmo se aplicará a los accionamientos de la JOTA DE ENTRADA, FOULARD y SOBREALIMENTADOR DE SALIDA.

### 7.3 LÓGICA DE CONTROL – TERCERA PARTE

La tercera parte de esta lógica de control se encuentra en el primer accionamiento del proceso, al que denominamos JOTA DE ENTRADA y el último accionamiento del proceso, al que denominamos ENROLLADOR.

La lógica está basada en la importancia de tener un proceso continuo en la producción y que éste no sea interrumpido.

Para esta etapa ya tendríamos que involucrarnos en el proceso, una bobina nueva de tela a procesar se ubica al inicio de la máquina, la cual actualmente está procesando otro material, para poder realizar la transición con este nuevo material es necesario unir el final de la tela procesada con el inicio de la tela nueva a procesar, para esto el accionamiento denominado JOTA DE ENTRADA sale del sincronismo de velocidad y opera con una velocidad mayor para poder almacenar tela en la entrada. Una vez realizado esto el operador de máquina tiene el tiempo que tarde el acabarse esta reserva para realizar el pase de material.

Esta lógica se realiza a través de un mando remoto y que se utiliza exclusivamente para esta función.

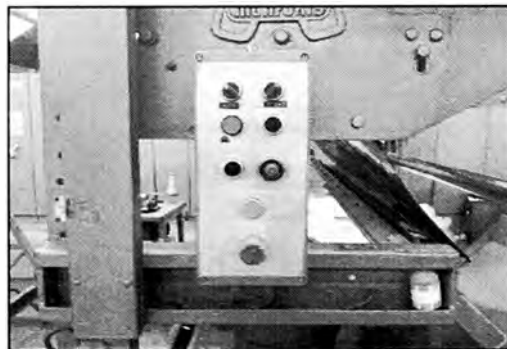


Figura 7.10 MANDO REMOTO EN LA JOTA DE ENTRADA

De la misma manera en el accionamiento denominado ENROLLADOR se tiene una lógica similar para mantener el proceso continuo al momento de retirar la bobina con material ya procesado y colocar un rodillo nuevo donde se enrollará el nuevo material a procesar.

Este accionamiento sale de sincronismo de velocidad de la máquina y se detiene, como los demás accionamientos siguen en velocidad de sincronía se produce una acumulación del material en la etapa final del proceso, dando tiempo al operador de máquina para poder cambiar la bobina con material procesado por un rodillo libre en donde se enrollará el material a procesar.

Esta lógica se realiza a través de un mando remoto y que se utiliza exclusivamente para esta función.

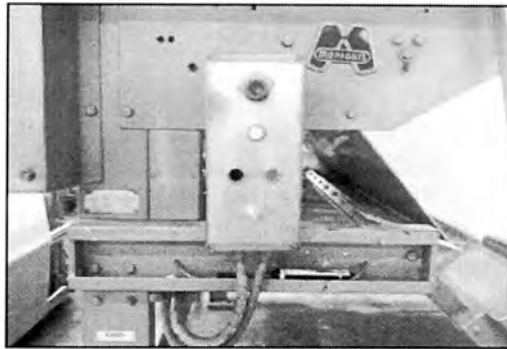


Figura 7.11 MANDO REMOTO EN EL ENROLLADOR

#### 7.4 LÓGICA DE CONTROL – CUARTA PARTE

La cuarta parte en la lógica de programación está relacionada a una compensación adicional en la velocidad del SOBREALIMENTADOR DE SALIDA, esta compensación está dada por un escáner a la salida de las cadenas (horno), este escáner verifica las tramas de la tela y de hallar alguna deformación en las tramas enviará pulsos de 24VDC positivos y negativos para aumentar o disminuir la velocidad en el SOBREALIMENTADOR DE SALIDA, esta pequeña variación de velocidad corrige la deformación de las tramas en la tela.

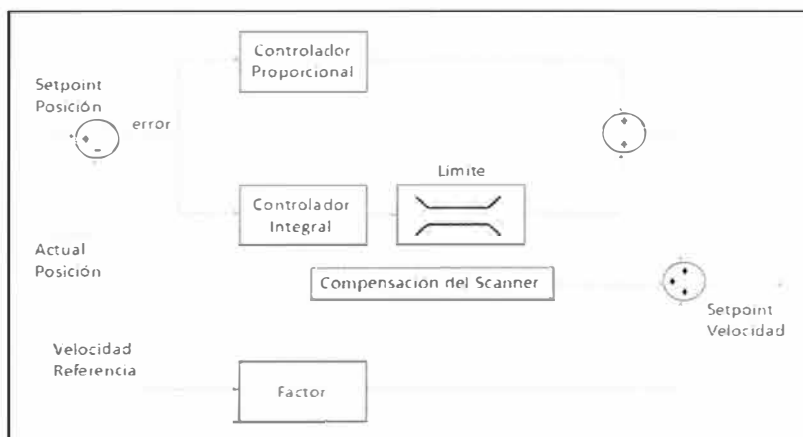


Figura 7.12 LOGICA DE CONTROL – CUARTA ETAPA

## 7.5 LÓGICA DE CONTROL – QUINTA PARTE

La quinta y última parte de la programación está relacionada con el control desde el panel central de control, de donde se habilitarán a los accionamientos y se enviará la velocidad lineal de referencia la cual podrá ser modificada a través de jogs de aumento y reducción de velocidad.



*Figura 7.13 PANEL DE CONTROL PRINCIPAL*

## **CAPITULO VIII**

### **ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO INTEGRAL**

La estrategia de mantenimiento que se planteará estará en perfecta concordancia con las necesidades de producción, de hecho tiene que supeditarse a la operatividad de la(s) línea(s) de producción. No tendría sentido tener unos objetivos de mantenimiento más ambiciosos que los que suponen las necesidades de producción como tampoco lo tendría la situación contraria.

Partiendo de las necesidades de producción se trata de determinar para cada uno de los accionamientos la disponibilidad individual de los tiempos de que se dispone para realizar mantenimiento sobre los mismos y del grado de fiabilidad en su funcionamiento que se precisa para que todo ello permita cumplir con este compromiso de producción de la planta.

Se analiza por tanto, para cada uno de los accionamientos, su participación en el proceso productivo, su posibilidad de cambio por otro equipo en caso de averías y el perjuicio que puede ocasionar un paro intempestivo y, por otro lado, los costos que suponen las averías de los equipos fallados y los riesgos económicos ante la posibilidad de un deterioro grave

Con todo ello se establecerá la estrategia de mantenimiento más adecuada a las circunstancias individuales de cada uno de los accionamientos definiendo el grado del mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo programado que se implementará.

#### **8.1 MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

##### **8.1.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

Es el mantenimiento basado fundamentalmente en detectar una falla antes de que suceda, de modo que se tenga el tiempo suficiente para corregirla sin perjuicios al servicio del reductor (sistema/máquina) y en consecuencia sin paradas de producción que involucren grandes pérdidas económicas.



Las inspecciones predictivas pueden llevarse a cabo de forma periódica o continua, en función de tipos de equipo, sistema productivo, etc.

Para ello se utilizan los instrumentos de análisis predictivo (también conocidos como instrumentos de diagnóstico), aparatos y pruebas no destructivas, como análisis de lubricantes, medición de la temperatura de operación de los reductores, análisis vibracional de los reductores, etc.

La predicción de averías en la maquinaria permite a los gestores de la planta industrial tomar las medidas oportunas para minimizar su impacto en la producción.

Hasta hace algunos años atrás sólo las grandes plantas industriales podían implementar un sistema de mantenimiento predictivo debido a que los equipos y la implementación del sistema eran sumamente costosos.

Ahora las plantas industriales de tamaño mediano y pequeño si pueden implementar su sistema de mantenimiento predictivo: Los costos en la actualidad son muy accesibles dando como resultado que muchas de estas plantas puedan poner en marcha y explotar su propio sistema de mantenimiento predictivo que le reportará grandes beneficios.

### 8.1.2 MAQUINARIA A REALIZAR EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

En maquinaria crítica.

- ✓ Donde una parada afecte a la producción.
- ✓ Donde se pueda producir una avería catastrófica.

Ejemplos de maquinaria crítica rotativa:

- ✓ Máquinas eléctricas: motores y generadores.
- ✓ Máquinas de engranajes: reductores y multiplicadores de velocidad.

### 8.1.3 VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

- ✓ Reduce los tiempos de parada de producción.
- ✓ Permite seguir (monitorear) la evolución de un defecto en el tiempo.
- ✓ Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.
- ✓ La verificación del estado del motorreductor (Sistema/máquina), tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico en su operación.
- ✓ Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto.
- ✓ Toma de decisiones sobre la parada de una línea de producción en momentos críticos.
- ✓ Permitir el conocimiento del historial de intervenciones para ser utilizadas por el sistema de mantenimiento correctivo
- ✓ Facilita el análisis de las averías.
- ✓ Confección de formas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos.
- ✓ Permite el análisis estadístico del sistema.

#### 8.1.4 PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

- ✓ Selección de las máquinas críticas.
- ✓ Selección y marcado de los puntos de medición.
- ✓ Definición de las rutas de medición.
- ✓ Formación a los responsables de mantenimiento para la interpretación de los informes.
- ✓ Configuración de los parámetros de medida
- ✓ Configuración de los niveles de alarma sobre los parámetros medidos.
- ✓ Revisión de los niveles de alarma establecidos
- ✓ Configuración de los informes técnicos sobre la operación de las máquinas que se encuentran bajo el sistema de mantenimiento predictivo.

#### 8.1.5 EL INFORME TÉCNICO CONTENDRÁ LOS SIGUIENTES PUNTOS

- ✓ Mediciones efectuadas en los accionamientos de acuerdo a su frecuencia de inspección establecida.
- ✓ Análisis estadístico de todos los datos obtenidos de las distintas mediciones efectuadas. (Vibración, temperatura, integridad del aceite, etc.)
- ✓ Identificación de las máquinas en alerta y en alarma.
- ✓ Comentarios sobre el origen de los fallos detectados (análisis de la causa raíz que generó la falla)
- ✓ Información de la severidad de los daños detectados.
- ✓ Propuestas de medidas correctoras en cada caso.

#### 8.1.6 INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS PREDICTIVO

##### 8.1.6.1 Analizador de vibraciones y condición de rodamientos



Figura 8.1 ANALISADOR DE VIBRACIONES

### 8.1.6.2 Analizador del Aceite



Figura 8.2 ANALISADOR DE ACEITE

### 8.1.6.3 Termómetro infrarrojo con puntero láser



Figura 8.3 TERMOMETRO INFRARROJO

### 8.1.6.4 Alineador láser de ejes



Figura 8.4 ALINEADOR LASER

### 8.1.6.5 Multímetros digitales (variables eléctricas)



Figura 8.5 MULTIMETROS DIGITALES

### 8.1.6.6 Pinzas amperimétricas



Figura 8.6 PINZAS AMPERIMÉTRICAS

### 8.1.6.7 Megohmetros



Figura 8.7 MEGOHMETROS

## 8.1.7 MANTENIMIENTO PREDICTIVO CON UN CONVERTIDOR DE FRECUENCIA SEW EURODRIVE

Como el mantenimiento predictivo se realiza utilizando instrumentos o equipos de medición, que nos permitirán establecer el proceso de desgaste o anomalía de un equipo o parte de un equipo.

SEW EURODRIVE cuenta con el SCOPE<sup>®</sup> que es un software que permite establecer comunicación entre un convertidor de frecuencia y una PC. Este software sirve para analizar los parámetros más significativos de la operación de un convertidor de frecuencia, con lo que podemos realizar inspecciones predictivas.

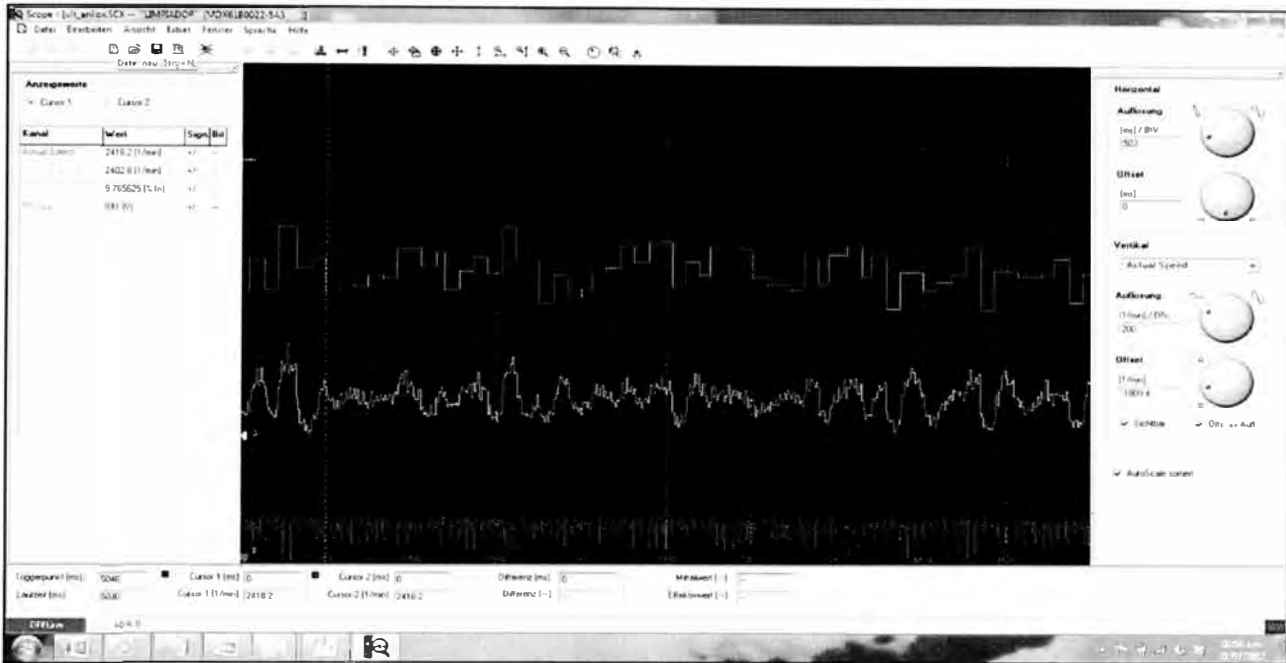


Figura 8.8 SCOPE PARA EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO

MX\_SCOPE® sirve para desarrollar el Mantenimiento Predictivo no sólo del convertidor de frecuencia, sino también de la máquina.

Podemos registrar en un intervalo de tiempo determinado, el comportamiento de la corriente del motor, este registro nos servirá para determinar anomalías de sobrecargas, posibles trabamientos en la máquina, posibles problemas en las cajas reductoras, etc.

También podemos registrar en un periodo de tiempo (por ejemplo 1 min, 5 min, 30 seg, etc.) el comportamiento de la velocidad (rpm) del motor, desarrollo de su torque de carga, también el comportamiento del tensión en el Bus de Enlace DC, etc.

El análisis del Mantenimiento Predictivo permitirá analizar el posible desgaste en los rodamientos del motor, el posible desgaste en algunas de los engranajes de la caja reductora, el posible trabamiento de la máquina por desgaste de alguna de sus otras partes móviles, etc. Se podrá contar con el diagrama de carga para cada motor eléctrico

## 8.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEW EURODRIVE

### 8.2.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

La programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario, también es conocido como Mantenimiento Preventivo Planificado.

Su propósito es prevenir las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos.

La característica principal de este tipo de mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, para poder corregirlas en el momento oportuno.

Con un buen Mantenimiento Preventivo, se obtiene experiencias en la determinación de causas de las fallas repetitivas o del tiempo de operación seguro de un equipo, así como a definir puntos débiles de instalaciones, máquinas, etc.

### 8.2.2 VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

- ✓ Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento.
- ✓ Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos/máquinas/sistemas. Disminución en costos por paradas de producción.
- ✓ Mayor duración de los equipos e instalaciones.
- ✓ Disminución de existencias en almacén y, por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
- ✓ Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de mantenimiento debido a una programación de actividades.
- ✓ Menor costo de las reparaciones.

### 8.2.3 FASES DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

- ✓ Inventario técnico: con manuales, planos y características de cada equipo.
- ✓ Procedimientos técnicos: listados de trabajos a efectuar periódicamente.
- ✓ Control de frecuencias: indicación exacta de las fechas a efectuar el trabajo.
- ✓ Registro de reparaciones: repuestos y costos que ayuden a planificar la gestión del mantenimiento.

### 8.2.4 PARTES DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Inspecciones preventivas con máquina en operación:

- ✓ Inspección del nivel de llenado del lubricante en el reductor.
- ✓ Inspección de los retenes del eje de entrada y eje de salida. (verificación de fuga de lubricante).
- ✓ Inspección de las bases del motor y reductor.
- ✓ Inspección de la sujeción del motor y reductor.
- ✓ Inspección de la operación del brazo de torque del reductor.

Inspecciones preventivas con máquina en reposo:

- ✓ Inspección de la caja de conexiones del motor.
- ✓ Inspección de la válvula de aireación del reductor.
- ✓ Inspección del soporte del brazo de torque del reductor.
- ✓ Inspección del pintado del reductor y del motor.
- ✓ Inspección del ajuste de los pernos de sujeción del motor y reductor.

## 8.2.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UN MOTORREDUCTOR SEW EURODRIVE

### 8.2.5.1 Periodos de inspección y mantenimiento

| Periodo de tiempo  | Acción                            |
|--|-----------------------------------|
| Cada 3.000 horas de máquina o como mínimo cada seis meses                                  | Comprobar el aceite               |
| Dependiendo de las instrucciones de funcionamiento (→ Fig.165), como mínimo cada tres años | Cambiar el aceite mineral         |
|  | Sustituir la grasa de rodamientos |
| Dependiendo de las condiciones de funcionamiento (→ Fig.165), como mínimo cada cinco años  | Cambiar el aceite sintético       |
|  | Sustituir la grasa de rodamientos |

Figura 8.9: PERIODOS DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

Cambiar el aceite con mayor frecuencia cuando se utilicen ejecuciones especiales sometidas a condiciones ambientales más duras.

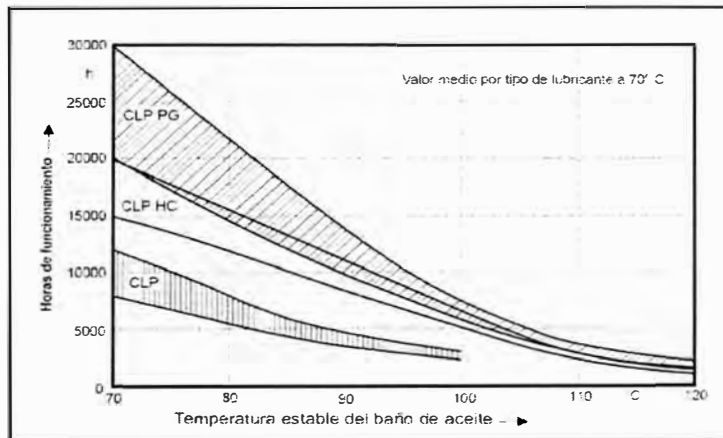


Figura 8.10: PROGRAMA DE SUSTITUCIÓN DE LUBRICANTES

|                                    | 6)   | DIN ISO  | ISO-NLGI   | Mobil  | Shell  | Kubera   | Aral  | BP   | Tribol  | Mobil  | Fuchs  |   |
|------------------------------------|--|--|--|--|--|--|---|--|---|--|--|---|
| R...<br>K...(HK...)<br>F...        | CLP PG<br>CLP HC<br>CLP (CC)<br>HLP (HM)<br>CLP HC<br>HLP-HM | VG 220<br>VG 220<br>VG 150<br>VG 100<br>VG 68-46<br>VG 32<br>VG 32<br>VG 22<br>VG 15 | VG 220<br>VG 220<br>VG 150<br>VG 100<br>VG 68-46<br>VG 32<br>VG 32<br>VG 22<br>VG 15 | Mobilgear 630<br>Mobil Glygoyle 30<br>Mobil SHC 630<br>Mobil SHC 625<br>Mobilgear 627<br>Mobil E 1 S 13M<br>Mobil SHC 624<br>Mobil DTE 11M | Shell Omala 220<br>Shell Evolve WB<br>Shell Omala 220 HD<br>Shell Omala 100<br>Shell Tetra 1 32<br>Shell Tellus T 15 | Kubera GEM 1-220<br>Kubera synth GH 6-220<br>Kubera synth EG 4-220<br>Kubera synth EG 4-150<br>Kubera GEM 1-150<br>Kubera GEM 1-68<br>Kubera-Summit HySyn 6-32 | Aral Degol BG 220<br>Aral Degol GS 220<br>Aral Degol PAS 220<br>Aral Degol BG 100<br>Aral Degol BG 46 | BP Energol GR-XP 220<br>BP Energol SG-XP 220<br>BP Energol GR-XP 100 | Tribol 1100/220<br>Tribol 1510/220<br>Tribol 1100/100<br>Tribol 1100/68<br>Tribol HLP-HM 10 | Meropa 220<br>Synlube CLP 220<br>Pentacel EP 220<br>Pentacel EP 150<br>Meropa 153<br>Bando EP<br>Ashtex 36<br>Cetus PAD 46<br>Ranik HDZ 15 | Gobyear BM 220<br>Optiflex A 220<br>Optisyn Synthes A 220<br>Optisyn CLP 220<br>Gobyear BM 100<br>Optiflex A 100<br>Optisyn D 46 HV1 | Renolin CLP 220<br>Renolin CLP 220<br>Renolin CLP 150<br>Renolin D 46 HV1 |
| S...(HS...)                        | CLP PG<br>CLP HC<br>CLP (CC)<br>CLP PG<br>CLP HC             | VG 680<br>VG 460<br>VG 150<br>VG 220<br>VG 32  | VG 680<br>VG 460<br>VG 150<br>VG 220<br>VG 32  | Mobilgear 630<br>Mobil Glygoyle HE 460<br>Mobil SHC 634<br>Mobil SHC 625   | Shell Omala 680<br>Shell Omala 460 HD<br>Shell Omala 627<br>Shell Omala 100  | Kubera GEM 1-680<br>Kubera synth GH 6-680<br>Kubera synth EG 4-680<br>Kubera synth EG 4-150<br>Kubera-Summit HySyn 6-32  | Aral Degol BG 680<br>Aral Degol GS 680<br>Aral Degol BG 100   | BP Energol GR-XP 680<br>BP Energol SG-XP 680<br>BP Energol GR-XP 100 | Tribol 1100/680<br>Tribol 800/680<br>Tribol 800/220   | Meropa 680<br>Synlube CLP 680<br>Pentacel EP 680<br>Pentacel EP 150<br>Meropa 100<br>Optiflex A 220<br>Cetus PAD 46                        | Gobyear BM 680<br>Optiflex A 220<br>Gobyear BM 100<br>Optiflex A 220   | Renolin CLP 680<br>Renolin CLP 150  |
| R...K...(HK...)<br>F...S...(HS...) | HCE<br>E   | VG 460<br>VG 680   | VG 460<br>VG 680   | Mobilgear 627<br>Mobil Glygoyle 30<br>Mobil SHC 624  | Shell Omala 100<br>Shell Evolve WB<br>Shell Omala 680  | Kubera GEM 1-150<br>Kubera synth GH 6-220<br>Kubera-Summit HySyn 6-32  | Aral Degol BG 100<br>Aral Degol GS 460<br>Aral Degol BAB 460  | BP Energol GR-XP 100   | Tribol 1100/100<br>Tribol 800/220   | Meropa 100<br>Synlube CLP 220<br>Cetus PAD 46  | Gobyear BM 100<br>Optiflex A 220<br>Cetus PAD 46   | Renolin CLP 100<br>Optiflex GT 460<br>Optisyn BS 460                      |
| W...(HW...)                        | SEW PG<br>API GL5<br>CLP PG                                  | VG 460<br>SAE 75W90 (-MG 100)<br>VG 460  | VG 460<br>SAE 75W90 (-MG 100)<br>VG 460  | Mobilgear 627<br>Mobil Glygoyle 30<br>Mobil SHC 624  | Shell Omala 100<br>Shell Evolve WB<br>Shell Omala 680  | Kubera SEW HT 460-5<br>Kubera synth GH 6-220   | Aral Degol BG 460   | BP Energol GR-XP 100   | Tribol 800/220  | Meropa 100<br>Synlube CLP 220<br>Cetus PAD 46  | Gobyear BM 100<br>Optiflex A 220<br>Cetus PAD 46   | Renolin CLP 100<br>Optiflex GT 460<br>Optisyn BS 460                      |
| R32<br>R302                        |  | DIN 51518<br>000-0   | 00<br>000-0  | Glygoyle Grease 00<br>Mobil Grease EP 004  | Shell Evolve Compressol A<br>Shell Axonur G-00   | Kubera synth GE 46-1200  | Aral Degol ME 30<br>Aral Degol GR-XP 100  | BP Energol GR-XP 100   | Tribol 800/220  | Mobil Grease 683 EP 00<br>Mobil Grease EP 000  | Lingma PG 30<br>Renolin CLP 220  | Renolin CLP 220<br>Renolin CLP 150  |

Figura 8.11: TIPOS DE LUBRICANTES A UTILIZAR

### 8.2.5.2 Inspección / mantenimiento del reductor

- ✓ No mezclar lubricantes sintéticos entre sí o con lubricantes minerales.
- ✓ Como lubricante estándar se utiliza aceite mineral.
- ✓ La posición del tapón de nivel de aceite, del tapón de drenaje del aceite y de la válvula de salida de gases depende de la posición de montaje, y se puede consultar en los diagramas de las posiciones.

### 8.2.5.3 Comprobación del nivel de aceite

- ✓ Desconecte el motorreductor y protéjalo frente un posible arranque accidental.
- ✓ Espere hasta que el motorreductor se enfríe para evitar el riesgo de quemaduras.
- ✓ Con reductores con tapón de nivel de aceite: retire el tapón de nivel de aceite, compruebe el nivel de llenado y corríjalo si fuera necesario, luego coloque nuevamente el tapón de nivel de aceite.

### 8.2.5.4 Comprobación del aceite

- ✓ Desconecte el motorreductor y protéjalo frente un posible arranque accidental.
- ✓ Espere hasta que el motorreductor se enfríe para evitar el riesgo de quemaduras.
- ✓ Retire un poco de aceite por el tapón de drenaje.
- ✓ Compruebe la consistencia del aceite: Viscosidad

### 8.2.5.5 Cambio de aceite

- ✓ El cambio de aceite sólo debe realizarse cuando el reductor está a temperatura de trabajo.
- ✓ Desconecte el motorreductor y protéjalo frente un posible arranque accidental.
- ✓ Espere hasta que el motorreductor se enfríe para evitar el riesgo de quemaduras.
- ✓ Sin embargo, el reductor debe seguir caliente: de lo contrario, la falta de fluidez debida a un aceite excesivamente frío puede dificultar el vaciado.
- ✓ Coloque un recipiente debajo del tapón de drenaje del aceite.
- ✓ Retire el tapón de nivel de aceite, la válvula de salida de gases y el tapón de drenaje del aceite.
- ✓ Purgue todo el aceite.
- ✓ Vuelva a colocar el tapón de drenaje del aceite.
- ✓ Introduzca por el orificio de aireación aceite nuevo del mismo tipo (o consulte a SEW EURODRIVE)
- ✓ Introduzca la cantidad de aceite que corresponda a la posición de montaje o especificada en la placa de datos.
- ✓ Compruebe el nivel, en el tapón de nivel de aceite.
- ✓ Colocar de nuevo el tapón de nivel de aceite.
- ✓ Colocar de nuevo la válvula de salida de gases.



## 8.2.6 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UN CONVERTIDOR DE FRECUENCIA SEW EURODRIVE

### 8.2.6.1 Consideraciones importantes antes de empezar

- ✓ Desconectar la alimentación eléctrica al convertidor de frecuencia.
- ✓ Esperar 3 minutos antes de comenzar a desarmar el convertidor de frecuencia SEW EURODRIVE, se debe esperar que la acumulación de energía en los condensadores (en forma de tensión) se disipe.
- ✓ Toda tarjeta electrónica posee elementos sensibles a descargas electrostáticas, no se debe tocar directamente sobre los componentes electrónicos y conectores. Si es necesario tocar algún componente electrónico, primero deberá tocar la carcasa metálica que deberá estar aterrada al sistema de puesta a tierra equipamiento electrónico o utilizar la pulsera de aterramiento adecuada para este caso.

| COMPONENTE  | ANORMALIDADES   | ACCIÓN CORRECTIVA  |
|---|---|--|
| Terminales, conectores                                      | Pernos de ajuste de terminales flojos   | Ajustar pernos en terminales y borneras de conexión.   |
| Ventiladores / Sistema de ventilación                       | Ruido acústico anormal de los ventiladores.<br>Vibración anormal.<br>Abertura para ventilación obstruidas<br>Ventiladores con suciedad. | Sustituir ventilador(es)<br>Sustituir ventilador(es)<br>Limpieza (cada 6 meses)<br>Limpieza (cada 6 meses) |
| Disparador de potencia                                      | Aletas con aceite y/o suciedad.   | Limpieza (cada 6 meses)  |
| Tarjetas electrónicas                                       | Acumulación de polvo, humedad, aceite   | Limpieza (cada 6 meses)  |
| Modulo de potencia conexiones de potencia.                  | Acumulación de polvo, humedad, aceite<br>Pernos de ajuste / terminales flojos.  | Limpieza (cada 6 meses)<br>Ajustar pernos en terminales y borneras de conexión.                            |
| Capacitores del circuito de enlace DC (circuito intermedio) | Decoloración / olor / desprendimiento del dieléctrico.  | Sustitución.<br>Verificar cada 6 meses   |
| Resistencias de potencia                                    | Decoloración / olor   | Sustitución.   |

Figura 8.12: INSPECCIONES PREVENTIVAS DESPUES DE LA PUESTA EN SERVICIO

### 8.2.6.2 Recomendaciones

- ✓ Todo equipamiento electrónico debe estar alojado en tablero eléctrico con grado de protección IP65.
- ✓ PLCs, controladores electrónicos, convertidores de frecuencia, etc. , son equipos electrónicos que están conformados mínimamente por una etapa de control y una etapa de potencia (o fuente de alimentación), por tal motivo estos no pueden estar cerrados herméticamente, siempre necesitan ranuras de ventilación en su carcasa.
- ✓ Evitar instalar los convertidores de frecuencia, utilizando las estructuras de la misma máquina a accionar. Se trata de evitar que los terminales y conectores internos se “aflojen” debido a la vibración que produce la operación de la máquina.
- ✓ En todas las conexiones eléctricas deberán utilizarse terminales o conectores eléctricos. Esto es muy importante para no provocar los famosos “chisporroteos eléctricos” (arcos eléctricos), los cuáles también generan los famosos Voltajes

Transitorios, que dañan tarjetas electrónicas. Es muy importante utilizar “prensaterminales” para conseguir un eficiente contacto eléctrico entre el cable y el terminal.

- ✓ Se deberá considerar como un parámetro adicional de INSPECCION PREVENTIVA, la revisión periódica de la operación del ventilador y/o extractor de aire que llevan los tableros eléctricos que alojan a los convertidores de frecuencia. Así como la revisión de la integridad del filtro de aire que van instalados en estos accesorios.

Adicionalmente en el variador de frecuencia:

- ✓ Se recomienda sustituir los ventiladores cada 40,000 horas de operación.
- ✓ Se recomienda sustituir los condensadores cada 5 años de operación.
- ✓ En caso que el convertidor de frecuencia sea almacenado por largos periodos de tiempo, se recomienda energizarlo cada año, por 48 horas continuas aproximadamente.
- ✓ Se recomienda realizar la inspeccion preventiva de la conexión del cable de alimentación al motor (en la caja de borneras).
- ✓ Se recomienda realizar la medición de la resistencia de aislamiento en el motor, respecto a tierra, y entre fases (así como del cable alimentador).

### **8.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO SEW EURODRIVE**

#### **8.3.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

##### No planificado

Corrección de las averías o fallas, cuando estas se presentan, y no planificadamente, al contrario del caso del mantenimiento preventivo.

Esta forma de mantenimiento impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si fallo por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, etc.

El ejemplo de este tipo de mantenimiento correctivo no planificado es la habitual reparación urgente tras una avería que obligó a detener el reductor/máquina/sistema ocasionando la parada intempestiva de la producción.

##### Planificado

El Mantenimiento Correctivo Planificado es la reparación de un reductor/máquina/sistema cuando se dispone del personal, repuesto, y documentos técnicos necesarios para realizarlo.

### 8.3.2 VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO PLANIFICADO

El mantenimiento del equipo se realiza en tiempos donde no involucra una parada intempestiva de la producción. (Por ejemplo: coordinación de habilitar un transportador alternativo hasta que se termine con el mantenimiento del equipo).

Se tendrán todos los repuestos necesarios para garantizar un mantenimiento eficiente del equipo y por consiguiente garantizar su correcta operación.

El costo asociado al mantenimiento correctivo planificado es conocido con anticipación. (Costos: Horas-Hombre, repuestos a cambiar, etc., Proyección de costos por mantenimiento).

## **CAPITULO IX**

### **BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN PARA EL CLIENTE**

El objetivo principal para el cliente fue lograr la confiabilidad del sistema, a la fecha, luego de 9 meses de operación, el sistema no ha tenido ninguna parada por mantenimiento correctivo. Los datos registrados por la empresa CREDITEX SAA muestran un promedio de 150 horas al año de producción parada por mantenimiento correctivo. Una estimación de lucro cesante por hora de producción de esta máquina es de 1,000 dólares americanos, por lo que de seguir la tendencia de no falla se estaría ahorrando 150,000 dólares americanos al año solo en paradas de máquina, esto es sin considerar los altos costos de los repuestos originales que están en relación de 4:1 de los actuales, los tiempos de entrega de 10 a 12 semanas de importación debido a que ya no se fabrican estos equipos, los retrasos en otras máquinas debido a que no hay material procesado para las siguientes etapas en el tratamiento de la tela, y el incumplimiento en la entrega de los pedidos al cliente, con lo que se desprestigia a la empresa y eso muchas veces es un costo invaluable. Con los nuevos accionamientos el cliente tiene una mayor confiabilidad del sistema, repuestos a la mano, y asistencia en caso de una emergencia, así mismo se realizan 2 veces al año capacitaciones por parte de SEW PERU SAC tanto en la parte mecánica como en la parte electrónica, pudiendo así poder planificar eficientemente los planes de mantenimiento predictivo y preventivo.

Para finalizar es importante mencionar que a modo de confianza con mi persona, el cliente me mostró la cotización realizada por el fabricante de la máquina, MONFORT, el cual incluía un viaje de un especialista y un programador a Perú para la inspección y propuesta del cambio de los accionamientos y la instalación del tablero eléctrico, esta suma ascendía a 180,000 dólares americanos sin considerar los gastos de estadía del programador durante la puesta en marcha, este monto duplicaba a nuestra oferta final de 260,000 nuevos soles.

## CONCLUSIONES

Los accionamientos con tecnología de servomotor tienen una mejor performance que la tecnología estándar desde el punto de vista de características técnicas, tamaño y volumen de espacio ocupado; entregan mayor torque en menor masa, poseen una mejor respuesta en control de velocidad apoyado con un sistema de realimentación, y son ideales para aplicaciones de alta dinámica.

La tecnología de servomotores deben ser aplicados en un sistema especial, en donde el requerimiento del proyecto exija alta dinámica y/o control preciso de velocidad, en el caso de una aplicación común como por ejemplo una faja transportadora el potencial de la tecnología de servomotor no se explotaría y resultaría un costo excesivo frente a una solución convencional como la tecnología estándar, motores de inducción; para nuestro caso, en el que los servomotores se compara con motores de inducción de 2 polos, ventilación forzada y encoder, los cuales agregaban un mayor costo a los accionamientos, la opción de servomotores resultó más económica y eficiente.

Se realizaron los procedimientos de instalación y puesta en marcha exigidos por la empresa SEW PERU SAC logrando la finalización del proyecto con una alta calificación y la satisfacción del cliente.

El plan de mantenimiento predictivo y preventivo es efectivo a la fecha, 9 meses de trabajo continuo, confirmándose este hecho con la excelente cifra de cero paradas de máquina por mantenimiento correctivo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Reductores Series R...7, F...7, K...7, S...7, Spiroplan® W - Instrucciones de funcionamiento - Edición 04/2000 - cod 10503056 / ES – SEW-EURODRIVE
- [2] Motores CS DR/DV/DT/DTE/DVE, servomotores asíncronos CT/CV - Instrucciones de funcionamiento - Edición 07/2004 - cód. 11291702 / ES – SEW-EURODRIVE
- [3] Reductores y Motorreductores – Manual – Edición 07/2006 - cód. 11358904 / ES – SEW-EURODRIVE
- [4] DT/DV Gearmotors – Catalog - Edition 03/2009 - 16795210 / EN – SEW-EURODRIVE
- [5] DRS Gearmotors – Catalog - Edition 06/2009 - 16840011 / EN – SEW-EURODRIVE
- [6] Synchronous Servo Gearmotors - CMP40 – 100 Servomotors - with R, F, K, S, W, BS.F, PS.F, PS.C Gear Units – Catalog - Edition 05/2010 - 16833619 / EN - SEW-EURODRIVE
- [7] Synchronous Servomotors - CMP40 – CMP100, CMPZ71 – CMPZ100, CFM71 – CFM112 – Catalog - Edition 09/2009 - 16832426 / EN - SEW-EURODRIVE
- [8] Servo Technology - Drive Engineering - Practical Implementation - Edition 09/2006 - 11322810 / EN - SEW-EURODRIVE
- [9] MOVIDRIVE® MDX60B / 61B - System Manual - Edition 06/2008 - 11697415 / EN - SEW-EURODRIVE
- [10] DOP11B Operator Terminals - System Manual - Edition 11/2008 - 16666828 / EN - SEW-EURODRIVE
- [11] Máquinas Eléctricas Rotativas - José Manuel Aller - Editorial Equinoccio – Edición 2008