UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTUDIO DE LOS TIPOS DE ACCIONAMIENTO PARA EL TRANSPORTE DE CAJAS DE GASEOSAS EN LA LÍNEA 140 – CORPORACIÓN J.R. LINDLEY

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECATRÓNICO

VICTOR PAUL LINARES UCULMANA

PROMOCIÓN 2006-II

LIMA-PERÚ

2010

A mi madre, por su comprensión y apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDO

Prólogo 1
Capítulo I. Introducción 3
1.1. Antecedentes 3
1.2. Planteamiento del Problema 4
1.3. Objetivo 5
1.4. Alcances y Limitaciones 5
Capítulo II. Marco Teórico 7
2.1. Transportadores de Materiales 8
2.1.1. Transportadores de Tablillas 9
2.2. Transmisión de Movimiento 10
2.3. Reductores de Velocidad 12
2.3.1. Reductores de Engranajes Helicoidales 13
2.3.2. Reductores de Engranajes Cónicos 14
2.3.3. Reductores de Engranajes Sin Fin - Corona 15
2.4. Motores Eléctricos 16
2.4.1. Motores Trifásicos de Corriente Alterna 17
2.5. Variadores de Velocidad 27
2.5.1. Etapa de Potencia 29
2.5.2. Etapa de Control 31
2.5.3. Consideraciones a tener en cuenta para la Selección 34
2.6. Arquitecturas de Instalación 39
2.6.1. Arquitectura Centralizada 39
2.6.2. Arquitectura Descentralizada 40
2.7. Accionamiento MOVIGEAR 41
2.7.1. Funcionamiento 42

2.7.2. Topología de instalación....44
2.7.3. Ahorro de Energía....47
Capítulo III. Análisis Técnico....48
3.1. Estudio del Proceso y la Arquitectura de instalación....48
3.2. Análisis de los Sistemas Actuales....52
3.2.1. Estudio de los Problemas Actuales....52
3.3. Cálculos del Nuevo Sistema....56
3.4. Selección de Accionamientos....63
3.4.1. Opción A: MOVIGEAR....64
3.4.2. Opción B: Motorreductores Sinfín Corona....69
3.4.3. Opción C: Motorreductores Helicoidales....73
3.4.4. Opción D: Motorreductores Cónico-helicoidales....76
3.5. Eficiencia de los Accionamientos....80
3.6. Resumen Técnico....87
Capítulo IV. Análisis Económico....88
4.1. Costos de Equipamiento....89
4.2. Costos de Variadores de Velocidad....91
4.3. Costos de Tablero de Mando y Control....91
4.4. Costos de Cableado....92
4.5. Costos de Ingeniería e Instalación....93
4.6. Ahorro de Energía....94
4.7. Resumen Económico....95
Conclusiones....97
Comentarios Finales....97
Bibliografía....99
Libros, Tesis y Publicaciones....99
Catálogos y Manuales....100
Enlaces Web....100

PRÓLOGO

El presente informe se basa en la comparación de las diferentes tecnologías existentes que se pueden utilizar en los accionamientos de transportadores, específicamente de cajas de botellas. Para ello se ha abarcado todos los ámbitos a los cuales afecta, es decir, las transmisiones mecánicas con las cuales se accionan los transportadores, los diversos tipos de reductores de velocidad, las principales características de los motores eléctricos y las principales limitaciones a tener en cuenta para su trabajo con variadores de velocidad. Asimismo, se analizan las típicas arquitecturas de instalación que se utilizan en estos tipos de transportadores. Para finalmente, revisar los accionamientos mecatrónicos MOVIGEAR que ofrecen mejores características de funcionamiento y proporcionan una mejora en la eficiencia global del sistema, que se refleja en un importante ahorro de energía.

Para poder realizar la selección de los diferentes tipos de accionamiento, se han realizado cálculos básicos, basados en la ingeniería previa realizada por la empresa Sidel Chile. Estos cálculos básicos proporcionan las herramientas necesarias para el dimensionamiento de cada uno de los accionamientos.

El análisis económico proporciona una vista general del costo de inversión necesario para utilizar alguno de estos tipos de accionamiento. Considero, que uno

de los puntos más interesantes a tener en cuenta en este análisis es la comparación del ahorro de energía que se puede obtener con cada uno de estos accionamientos, ya que el tema normalmente no es tomado en cuenta en los análisis económicos y puede generar un retorno de la inversión muy atractivo para el cliente final, en este caso Corporación J.R. Lindley.

El presente estudio se ha podido realizar gracias al apoyo de SEW Perú, empresa en la cual laboro; Alta Beverage y Sidel Chile que facilitaron todos los datos necesarios que posibilitaron el estudio; y, a la Corporación J.R. Lindley donde actualmente se encuentran funcionando los accionamientos recomendados en el presente informe.

CAPÍTULO I.

Introducción

Se reitera que éste informe estudia los diferentes tipos de accionamientos existentes, a fin de recomendar el óptimo a ser usado en los transportadores de cajas de botellas en una nueva línea de embotellado. Dicha línea de embotellado fue diseñada por encargo de la empresa Corporación José R. Lindley S.A., para ser ubicada en su nueva planta embotelladora con sede en el Callao.

1.1. ANTECEDENTES

La empresa Corporación José R. Lindley (CJRL) se dedica a la elaboración y embotellado de bebidas, siendo el líder en el mercado nacional. Adicionalmente tiene una alianza estratégica con Coca Cola Company, por la cual CJRL produce las bebidas de dicha reconocida marca en nuestro país.

Entre los productos que produce CJRL se encuentran Inca Kola, Coca Cola, Fanta, Sprite, Crush, Canada Dry, Kola Inglesa, Powerade, Dasani, San Luis y Frugos, las cuales tienen diferentes presentaciones en envases de vidrio, envases pet (plástico), envases de aluminio y envases tetra pack (cartón), en diferentes tamaños: 500ml, 1000ml, 1500ml, 3000ml y otros.

En Perú las líneas de embotellado existentes son típicamente de segundo uso, teniendo su origen principalmente en Europa. Dichas líneas pueden tener una antigüedad de 40 años ó más; consecuentemente, las tecnologías usadas en sus respectivas máquinas y accionamientos también cuentan con la misma antigüedad. Por ello, es usual que al instalar una nueva línea de embotellado en nuestro país, se haga una repotenciación de todas las máquinas y accionamientos, debido a que en algunos casos las tecnologías usadas son tan antiguas que no es posible encontrar repuestos, ni soporte técnico en nuestro mercado local, y en algunos casos, ni en el extranjero.

Típicamente los accionamientos usados en los transportadores de botellas y cajas de botellas son motorreductores angulares con eje solido a la salida y con una transmisión por piñón – cadena a los ejes motrices de los transportadores. Tales motorreductores trabajan a velocidad variable, para lo cual se usan variadores de velocidad. Toda la lógica de control del proceso es realizada por un PLC, el que comanda a todos los variadores de velocidad, en función de los requerimientos del sistema.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la creciente demanda del mercado peruano, CJRL tiene la necesidad de incrementar su producción, para lo cual se prevé la ampliación a través de una nueva línea de embotellado (línea 140), la que comprende máquinas como: paletizadora, depaletizadora, encajonadora, desencajonadora, lavadora de botellas, llenadora y encapsuladora; además de los transportadores de cajas y botellas, y sus correspondientes sistemas de control.

Las máquinas de esta línea de embotellado son de segundo uso, provenientes de Europa. En cambio, los transportadores de botellas y de cajas son nuevos, es decir, diseñados y construidos localmente.

Con esta premisa, el propósito del presente estudio se centra en cuál es el tipo de accionamiento óptimo, para ser utilizados en la nueva línea de embotellado 140; teniéndose en cuenta los problemas actuales que se presentan en líneas de embotellado similares. Asimismo, dichos accionamientos deben dar una mayor confiabilidad y a su vez estar preparados para cualquier eventual subida de producción. Por otro lado, se debe tener en cuenta la tendencia de la Corporación hacia el ahorro de energía y del óptimo uso de las tecnologías.

1.3. OBJETIVO

Realizar el estudio de los accionamientos apropiados para el proyecto de ampliación de la línea 140 – Corporación J.R. Lindley, específicamente en los transportadores de cajas de botellas, tomando como referencia los sistemas actuales instalados en las plantas embotelladoras.

Elaborar una propuesta técnica y económica, haciendo una evaluación comparativa entre los accionamientos analizados en el presente estudio.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

El alcance del presente estudio se centra en lo técnico, económico y mejora de la tecnología de accionamientos en el área de transportadores de cajas de botellas. Cabe agregar que el siguiente paso es desarrollar el mismo estudio en el transporte de botellas, ya que no está considerado en el presente informe.

El ámbito abarcado no incluye equipos, ni máquinas presentes en la línea de embotellado; asimismo, no incluye la selección de los elementos mecánicos como transportadores de tablillas, transmisiones de cadenas u otros, pero sí se tienen en cuenta para los cálculos necesarios en la selección de los accionamientos.

Cabe resaltar que este proyecto fue realizado por la Empresa Alta Beverage, la cual encargó la etapa de ingeniería a la empresa Sidel Chile y la selección de accionamientos, a la empresa SEW del Perú S.A.C.

CAPÍTULO II.

Marco Teórico

El movimiento de las máquinas en la industria se genera a través de métodos diversos que pueden clasificarse como eléctricos, neumáticos, hidráulicos, etc.; empleándose, en cada caso, motores eléctricos (de corriente continua, corriente alterna); motores hidráulicos, motores neumáticos, motores de combustión interna, cilindros eléctricos, cilindros neumáticos, cilindros hidráulicos, etc.

Además, para generar movimiento existen diferentes elementos de transmisión y entre los más usados están: las transmisiones por ejes cardanes, engranajes, piñones y cadenas, fajas y poleas, levas, etc. Cada una de estas transmisiones cuenta con específicas características o propiedades. Por otro lado, para poder lograr una menor velocidad y un mayor torque tenemos los reductores de velocidad, que por su tipo de montaje pueden ser de ejes coaxiales, de ejes paralelos o de ejes perpendiculares; y, entre los principales tipos de engranajes en reductores, tenemos los engranajes cilíndricos, helicoidales, sin fin corona, cónicos y planetarios.

La difícil tarea para el diseñador y posteriormente para el usuario de la máquina o sistema, está al elegir qué tipo de accionamiento es el óptimo para una

aplicación específica, que sea más sencillo de usar para el personal de producción y sea el más práctico en temas de mantenimiento.

Adicionalmente a todo esto, debemos tener en cuenta la eficiencia del uso de la energía eléctrica y el cuidado del medio ambiente. Tema que ya está siendo más revisado en países del primer mundo y que no puede ser ajeno a nosotros.

2.1. TRANSPORTADORES DE MATERIALES

Existen diversos modelos de transportadores de materiales, los cuales varían su forma constructiva en función de la capacidad de transporte (TM/Hr, botellas/Hr, m/min, productos/Hr, etc.), la densidad del producto, la forma del producto, el área donde será instalado, etc.

El diseño, selección y diseño de fajas transportadoras para productos "pesados" (principalmente minería) está normalizado por la **Asociación de Fabricantes de Equipos Transportadores (CEMA).**

Por otro lado, tenemos los transportadores para productos livianos, los cuales tienen su principal mercado en el transporte de gaseosas, cervezas, alimentos, conservas, equipaje ó cualquier producto liviano, para los que se utiliza principalmente transportadores de tablillas y otros.

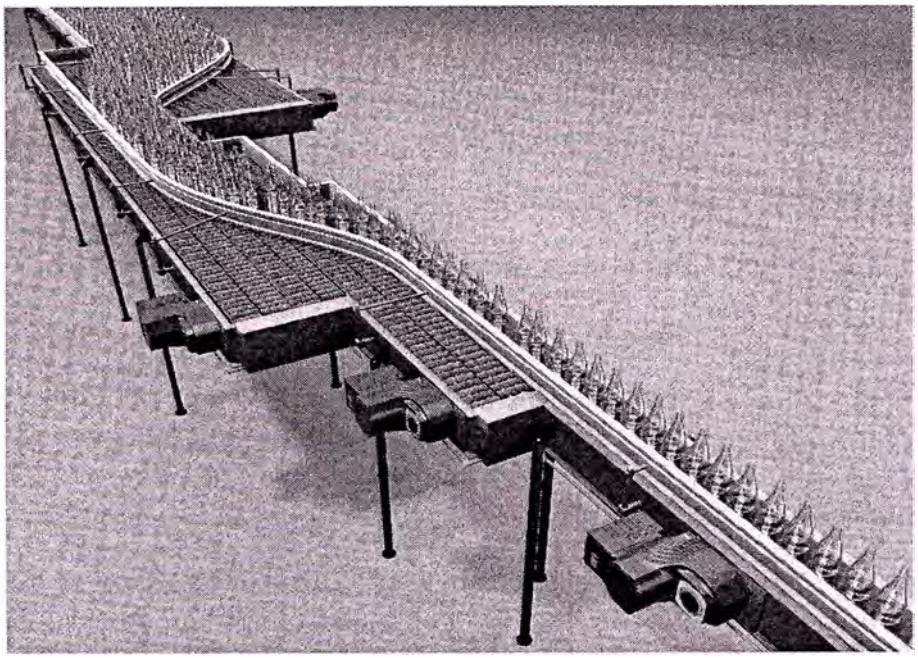


Ilustración 0-1: *Transportador de Botellas*

2.1.1. TRANSPORTADORES DE TABLILLAS

Los transportadores de tablillas son un conjunto de eslabones en forma de tablilla, las cuales pueden ser de acero inoxidable, estándar o de baja fricción, nilón, plásticas de poliacetal, etc; y están conformados por la cadena de transporte, engranajes motrices, superficie de deslizamiento y los rodillos de apoyo. La cantidad de cadenas de transporte y engranajes dependerá fundamentalmente del ancho y del largo del transportador.

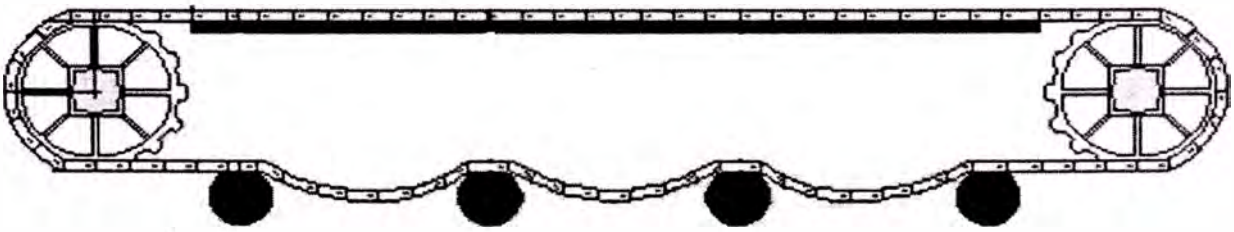


Ilustración 0-2: Transportador de Tablillas

La principal característica que deben tener estos transportadores es ofrecer la menor resistencia al avance del producto, es decir, en el caso que el producto sea detenido y la faja siga en funcionamiento,

pues la fricción entre ambas debe ser la mínima para asegurar que no exista un bloqueo en el transportador.

Para este tipo de aplicaciones es usual tener motores acoplados a reductores y/o a algún elemento de transmisión como fajas y poleas, cadenas y piñones, ó engranajes y piñones.

2.2. TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Idealmente la potencia que debe entregar el elemento motriz debería ser igual a la potencia transmitida y a la potencia consumida por el elemento funcional. Sin embargo en la realidad, cada transformación energética es imperfecta y por lo tanto hay una pérdida expresada como una eficiencia de transmisión; por ello, la potencia nominal motriz debe ser mayor a la requerida:

$$P_{Motriz} = \frac{P_{Requerida} F_{Servicio}}{\eta_{Motriz} \prod \eta_{Transmisión}} \quad ...(2.1)$$

La eficiencia motriz normalmente es informada por el fabricante a condiciones normales de carga y velocidad. Además, los fabricantes recomiendan un factor de servicio (Fs > 1.0) para sobredimensionar el motor teniendo en cuenta ciertas condiciones de operación severa.

Por su parte, la eficiencia de transmisión depende del tipo de elemento y otras variables como el torque y la velocidad de operación; y, en ocasiones, se puede calcular o estimar. Nótese en la expresión que esta eficiencia se calcula como el producto de las eficiencias de cada etapa de transmisión.

A continuación, se muestra una tabla de rangos de eficiencia de los principales elementos de transmisión:

Tabla 0-1: Eficiencia de los diferentes tipos de transmisiones

Transmisión	Eficiencia	Causa de Pérdida de Potencia
Ejes y Cardanes	98% - 100%	Fricción en Cojinetes, Elasticidad Torsional
Fajas en "V"	75% - 90%	Fricción, Deslizamiento entre Faja y Polea
Fajas Dentadas	92% - 98%	Fricción en Cojinetes
Cadenas	94% - 98%	Fricción, Vibración, Desgaste por Impacto
Engranajes	85% - 90%	Fricción, Deslizamiento, Vibración

Comparando las características particulares de cada elemento de transmisión en forma de ventajas y desventajas relativas, se obtienen criterios de selección necesarios para elegir la transmisión adecuada para una aplicación con requerimientos y restricciones determinadas.

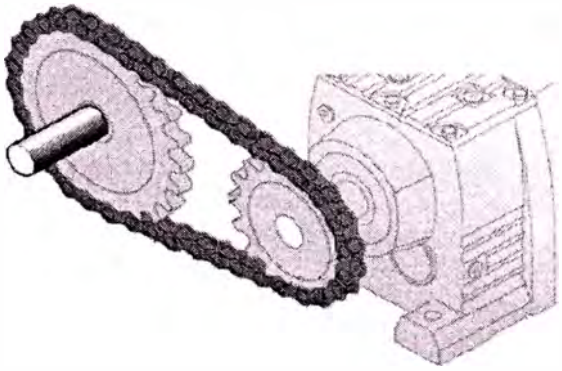


Ilustración 0-3: Transmisión por cadena y sprockets (piñones)

A continuación se presenta un cuadro comparativo con las principales características de cada transmisión:

Tabla 0-2: Comparación de los diferentes tipos de transmisiones

Elemento	Ventajas	Desventajas
Fajas y Poleas	Altas velocidades. Relación de velocidades fija en función del diámetro de poleas. Grandes distancias entre centros (casi ilimitadas en bandas planas). Bandas planas: permite conectar ejes en cualquier ángulo o posición relativa. Bandas dentadas: sincronización de ejes. Estandarizadas bajo norma.	Bajos torques. Retensionamiento periódico o uso de tensores debido a estiramiento gradual. Deslizamiento relativo, pérdidas de potencia, calentamiento y vibraciones cuando se aflojan. Bandas planas requieren tensiones altas. Se deterioran por acción de la humedad, ácidos y exposición directa al sol.

	Bajo costo relativo. Transmisión por múltiples bandas. Funcionamiento relativamente silencioso. No requieren lubricación.	Esfuerzos radiales en los ejes.
Cadenas y Sprockets	Altos torques. Relación de velocidades fija en función del número de dientes de los sprockets. Sincronización entre ejes. Estandarizadas bajo norma. Transmisión por múltiples cadenas.	Bajas velocidades. Alto costo relativo. Peso. Vibración y ruido; variación de la velocidad cordal en sprockets pequeños. Lubricación obligatoria y específica según el régimen de velocidad. Ejes deben ser paralelos. Esfuerzos radiales en los ejes.
Engranajes	Para cualquier torque y velocidad. Distancia entre centros pequeñas. Relación de velocidades fija en función del número de dientes. Altas relaciones de velocidades en poco espacio (trenes de engranajes simples, compuestos y planetarios). Pueden conectarse ejes paralelos o perpendiculares entre sí.	Tolerancias pequeñas en distancia de entre centros. Módulos en tamaños limitados. Material y fabricación costosos. Peso. Vibración, ruido; desgaste elevado en presencia de defectos de fabricación. Lubricación.

2.3. REDUCTORES DE VELOCIDAD

Los reductores de velocidad son sistemas de engranajes que permiten reducir la velocidad otorgada por los motores, u otro accionamiento, a la velocidad deseada del sistema. Rara vez las máquinas funcionan de acuerdo con las velocidades que les ofrece el motor eléctrico, como por ejemplo, a 1800, 1200 o 3600 revoluciones por minuto.

La función de un reductor es disminuir la velocidad de los motores a velocidades como 33rpm, 70rpm, 103rpm, etc.; y permitir el eficiente funcionamiento de las máquinas, multiplicando el torque. Los principales beneficios de usar reductores de velocidad son:

- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.

- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Menor tiempo requerido para su instalación.

Los reductores se pueden clasificar por el tipo de engranajes que utilizan: engranajes cilíndricos, engranajes helicoidales, engranajes cónicos, engranajes sin fin – corona, engranajes planetarios y otros. Además, también los podemos clasificar según el tipo de ejes, los cuales pueden ser de ejes paralelos ó de ejes perpendiculares.

Los reductores pueden tener en la entrada (eje de alta) una brida para acoplar algún motor eléctrico ó un eje de entrada; asimismo, pueden tener diversos tipos de salida, como ejes sólidos, ejes huecos con canal chavetero, ejes huecos lisos con disco de contracción, ejes estriados, etc. Y estos pueden fijarse a una base por medio de patas, bridas ó brazos de torque.

2.3.1. Reductores de Engranajes Helicoidales

Los engranajes helicoidales están caracterizados por su dentado oblicuo con relación al eje de rotación. Los ejes de los engranajes helicoidales suelen ser paralelos, no es muy común encontrarlos en forma perpendicular. Los engranajes helicoidales tienen la ventaja que transmiten más potencia que los rectos, y también pueden transmitir más velocidad, son más silenciosos y más duraderos.

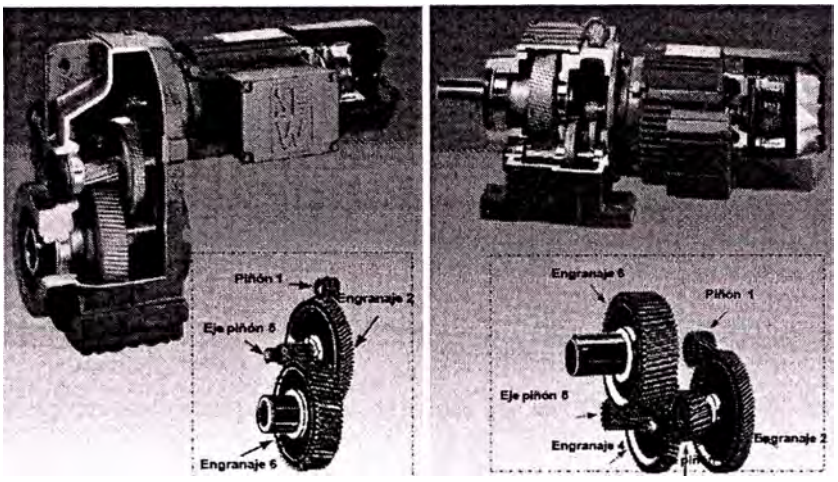


Ilustración 0-4: Motorreductores de Engranajes Helicoidales

La eficiencia en los reductores de engranajes helicoidales de ejes paralelos depende del número de etapas entre el 95.5 % (3 etapas), 97% (2 etapas) y 98.5 % (1 etapa), es decir, pierde aproximadamente 1.5% de eficiencia por cada etapa helicoidal.

2.3.2. Reductores de Engranajes Cónicos

Los engranajes cónicos se fabrican a partir de un tronco de cono, formándose los dientes por fresado de su superficie exterior. Estos dientes pueden ser rectos, helicoidales o curvos. Esta familia de engranajes soluciona la transmisión entre ejes que se cortan y que se cruzan, y principalmente los podemos encontrar en ángulo recto.

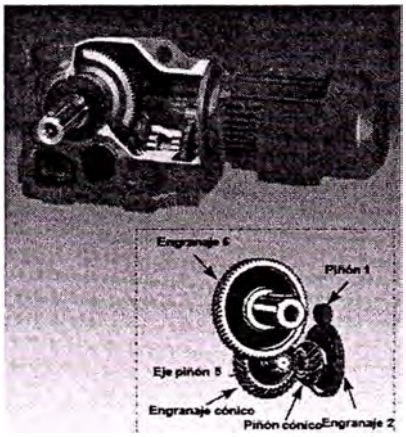


Ilustración 0-5: Motorreductor de Engranajes Cónicos Helicoidales

Los reductores de engranajes cónicos suelen tener etapas previas y posteriores de reducciones por engranajes helicoidales, como el mostrado en la ilustración II-5.

La eficiencia en los engranajes cónicos, es de 98.5 %, similar al de engranajes helicoidales. Estos reductores al combinarse con engranajes helicoidales suelen tener 3 etapas, por lo que llegan a tener una eficiencia global del 95.5% aproximadamente.

2.3.3. Reductores de Engranajes Sin Fin - Corona

Los engranajes sin fin corona, tienen la desventaja de no ser reversibles, y de consumir en rozamiento una parte importante de la potencia. En las construcciones de mayor calidad la corona está fabricada de bronce y el tornillo sin fin de acero templado con la finalidad de reducir el rozamiento. Este mecanismo necesita estar muy bien lubricado para disminuir los desgastes por fricción.

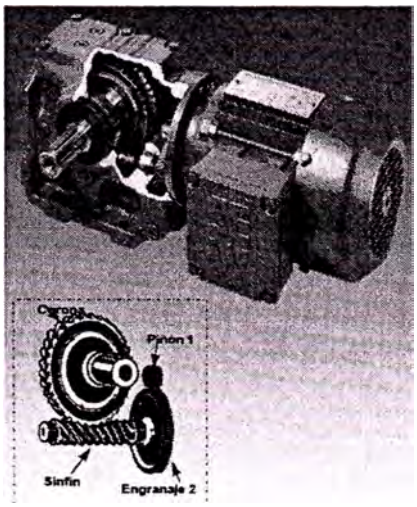


Ilustración 0-6: Motorreductor de Engranajes Sin Fin - Corona

Los engranajes de los reductores sin fin corona provocan un alto grado de rozamiento. Por este motivo, estos reductores presentan mayores pérdidas en los engranajes y, en consecuencia, una menor

eficiencia que los accionamientos de engranajes helicoidales o cónicos. Esto depende de los siguientes factores:

- Índice de reducción de las etapas del reductor de tornillo sin fin.
- Velocidad de entrada
- Temperatura del reductor
- Para grandes índices de transmisión de la etapa de tornillo sin fin, el rendimiento puede llegar a ser $\eta < 50\%$.

2.4. MOTORES ELÉCTRICOS

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, es decir, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. Los motores eléctricos, son ampliamente utilizados en instalaciones industriales, comerciales y particulares. Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías.

Entre los motores más utilizados industrialmente podemos encontrar los motores de corriente continua, que ofrecen una buena regulación de la velocidad en función a las necesidades de la máquina ó proceso; y los motores de corriente alterna, los cuales ofrecen un fácil mantenimiento, un bajo costo y una buena performance de trabajo.

Los motores de corriente continua siguen siendo utilizados para accionar máquinas a velocidad variable, debido a que sus características permiten regular con precisión el torque. Su velocidad de rotación nominal puede adaptarse fácilmente mediante fabricación a todo tipo de aplicaciones, ya que

no depende de la frecuencia de la red. En cambio, son menos robustos que los motores asíncronos y requieren de un mantenimiento más especializado, es por ello que poco a poco los motores de corriente continua están siendo desplazados por los servomotores ó motores asíncronos regulados con variador de frecuencia.

2.4.1. Motores Trifásicos de Corriente Alterna

Los motores trifásicos de corriente alterna son actualmente los más utilizados para el accionamiento de máquinas. El uso de estos motores se impone en la mayoría de las aplicaciones debido a las ventajas que conllevan: robustez, sencillez de mantenimiento, facilidad de instalación y bajo coste. Los motores trifásicos de corriente alterna se pueden clasificar dependiendo de su forma de la siguiente manera:

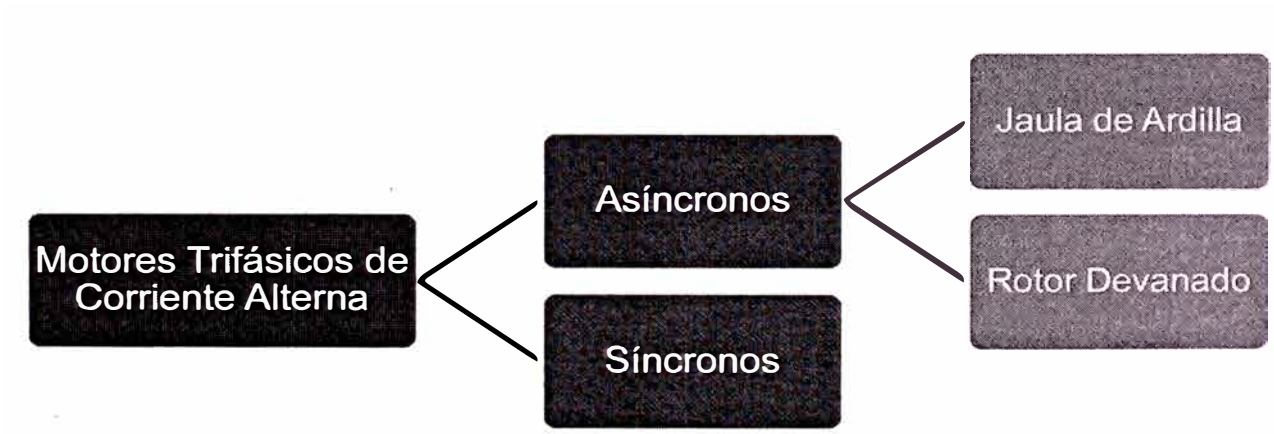


Ilustración 0-7: Clasificación de los motores trifásicos de corriente alterna

Todos los motores de corriente alterna tienen partes en común, estas son: rotor y estator. Como se muestra en la ilustración II-8, el estator es la parte fija del motor y el rotor es la parte giratoria. Los motores AC funcionan debido a la interacción entre las fuerzas electromagnéticas generadas por el campo magnético en el estator al

alimentar sus bobinas con corriente alterna, y el campo inducido en el rotor por el campo del estator.

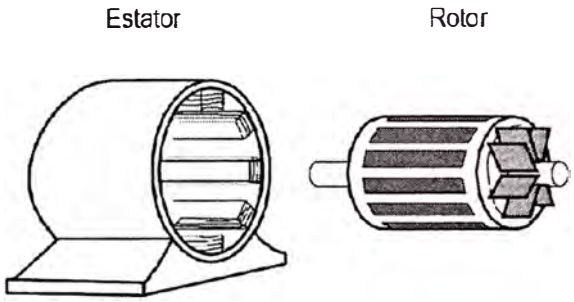


Ilustración 0-8: Estator y rotor

Los motores asíncronos se dividen en: Rotor Devanado y Jaula de Ardilla. Estos dos motores funcionan mediante el mismo principio, pero se diferencian en la construcción de su rotor. El motor de Rotor Devanado tiene bobinas en su rotor, y el motor Jaula de Ardilla no tiene bobinas, sino barras metálicas en la superficie cilíndrica de su rotor. El motor Jaula de Ardilla es el más utilizado de estos motores asíncronos, ya que al no tener bobinado el rotor, y poseer barras metálicas, se vuelve menos delicado y es más fácil de realizar su mantenimiento.

2.4.1.1. Principales Características de los Motores Asíncronos

La velocidad a la que gira el campo magnético es conocida como velocidad síncrona (N_S), que depende de la frecuencia de la red (f) y del numero de polos que posee el motor (p).

$$N_S = \frac{120f}{p} \qquad \text{...(2.2)}$$

El número de polos lo determina la cantidad de bobinas o devanados que se utilicen por fase en el estator. El número de polos mínimos es dos, y esto sucede cuando se tienen dos devanados por fase, como

en el caso que analizábamos anteriormente. Por lo tanto como muestra la ecuación anterior si el número de polos es mayor, la velocidad síncrona disminuye y viceversa.

Tabla 0-3: Velocidades Sincrónicas

	50 Hz	60 Hz
2 polos	3,000 rpm	3,600 rpm
4 polos	1,500 rpm	1,800 rpm
6 polos	1,000 rpm	1,200 rpm
8 polos	750 rpm	900 rpm
10 polos	600 rpm	720 rpm
12 polos	500 rpm	600 rpm

La velocidad a la que gira el rotor idealmente tendría que ser la velocidad síncrona, pero el motor siempre va a ser parte de una aplicación en la que se le acopla a su eje un dispositivo mecánico. Entonces como resultado de este acople, el rotor además de sentir la fuerza magnética del estator, también sentirá otra fuerza en sentido contrario al movimiento que está desarrollando, debido a la carga que posee conectada; por lo que el rotor nunca va a girar a la velocidad síncrona, sino a una velocidad menor que la síncrona.

La acción de estas fuerzas sobre el rotor generará un deslizamiento. El deslizamiento (S) es la diferencia que existe entre la velocidad síncrona del motor (N_S) y la velocidad a la que realmente se encuentra girando el rotor (N_R). Lo que nos indica que tanto se está desviando la velocidad real del motor de la velocidad síncrona a la que debe girar.

$$S = \frac{N_S - N_R}{N_S} 100\% \qquad \text{...(2.3)}$$

En el momento del arranque, es cuando el motor está más cargado. Esto es debido a que la carga está estática, y existe una inercia asociada al elemento, que es la oposición al cambio de estado dinámico, que en este caso sería el de entrar en movimiento de rotación. A ese instante se le llama Rotor Bloqueado. Para poder ver este comportamiento para un motor en particular, estos en sus especificaciones tienen una curva característica de torque contra velocidad y corriente contra velocidad, en donde se puede saber el comportamiento de dicho motor desde el torque de arranque hasta que llega a la velocidad nominal a plena carga (ilustración II-9).

Al observar la ilustración II-9, se logra identificar que en el torque de arranque y la corriente son elevados, con respecto a los valores que presenta la curva de comportamiento del motor. Al vencerse el estado de rotor bloqueado, podemos ver que la corriente irá disminuyendo, y es debido a que el motor empieza a vencer a la carga. El torque aumentará hasta llegar al torque en el cual habrá vencido completamente a la carga. Después de ese instante, el torque empieza a disminuir hasta llegar al torque correspondiente a la corriente nominal.

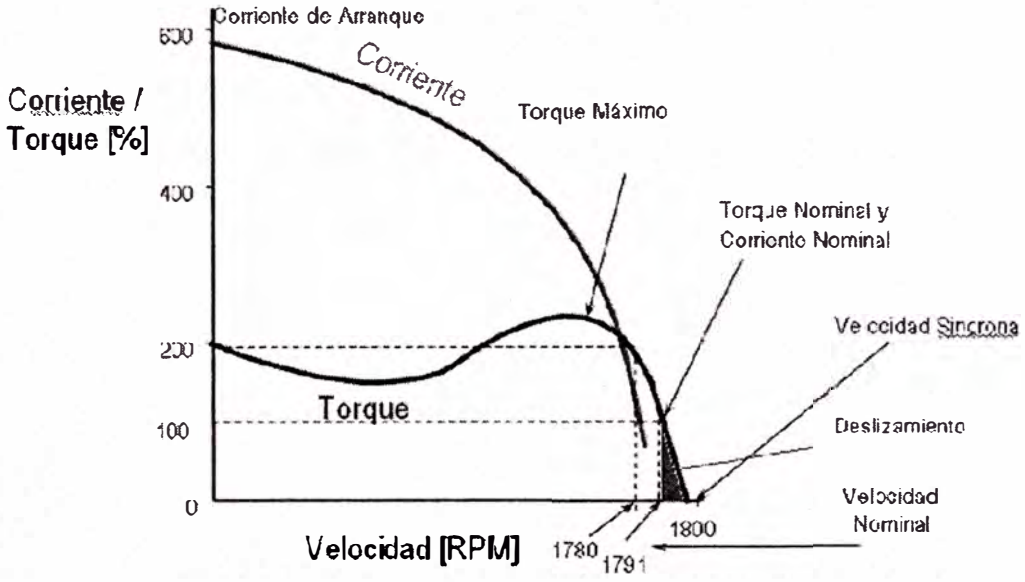


Ilustración 0-9: Curva Torque/Corriente vs. Velocidad

2.4.1.2. ESPECIFICACIONES DE UN MOTOR

Existen una gran variedad de motores en el mercado, diseñados para distintas aplicaciones. Estas características de diseño, se muestran a través sus especificaciones técnicas, siendo estas las que describiremos a continuación:

- **Voltaje de Trabajo:** El voltaje de trabajo es el voltaje de alimentación que hay que proporcionarle al motor para que su funcionamiento sea óptimo. Siempre hay un rango de operación en el voltaje; éste es especificado por el fabricante. Si se llega a alimentar al motor fuera del rango de operación, el motor simplemente no funcionará o se dañara. Generalmente los voltajes de alimentación de los motores trifásicos son 120V, 208V, 240V, 380V, 480V, 600V, 1000V, 2300V, 4160V.
- **Frecuencia:** Es la frecuencia de la señal de alimentación para la cual el motor es diseñado. Por ejemplo, los motores americanos

los fabrican para que operen a 60Hz y los motores europeos los fabrican para que operen a 50Hz.

- **Potencia:** Es la potencia mecánica (eje) de salida que desarrolla el motor a plena carga. La potencia de salida de los motores trifásicos va desde aproximadamente 1/2 HP hasta 15,000HP.

$$P_{UTIL} = P_{AB}.\eta = \sqrt{3}.U.I.\cos\varphi.\eta \qquad ...(2.4)$$

En donde P_{AB} es la Potencia Absorbida [w], P_{UTIL} es la Potencia Útil [w], U es el Voltaje de red [V], I es la Corriente Consumida [A], $\cos\varphi$ es el Factor de Potencia y η es la Eficiencia del motor.

Son características específicas de cada motor, el factor de potencia, la eficiencia del motor, el voltaje de trabajo y la corriente consumida, estos datos son proporcionados por el fabricante.

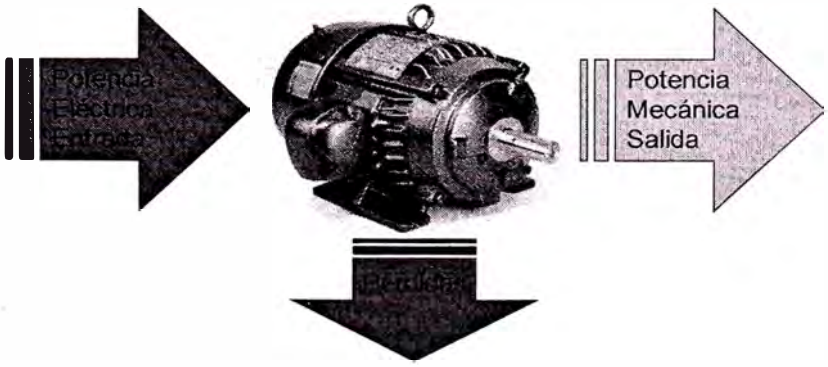
- **Velocidad nominal:** Es la velocidad a la cual el motor girará aproximadamente cuando el motor esté a plena carga (100%). Las velocidades nominales son generalmente menores a la velocidad síncrona. Si en la placa de un motor se dice que la velocidad es de 1781RPM, es porque estamos hablando de un motor de 4 polos en donde su velocidad síncrona es 1800RPM a 60Hz, recordando la tabla II-4 de velocidades síncronas y número de polos a 60Hz.
- **Torque:** El torque entregado por el motor se relaciona con la potencia y la velocidad.

$$P = T.\omega \qquad ...(2.5)$$

$$T = \frac{60/_{2\pi}\,P}{N} = \frac{9.55P}{N} \qquad ...(2.6)$$

En donde P es la Potencia entregada [w], T es el Torque entregado [Nm], ω es la Velocidad angular [rad/s] y N: Velocidad angular [rpm]

- **Corriente nominal:** Es la corriente por fase del motor cuando está operando a plena carga. Éste es un valor muy importante porque nos sirve para dimensionar las protecciones del motor y seleccionar los conductores que se conectarán al motor para alimentarlo.
- **Eficiencia:** La eficiencia es la razón entre la potencia de salida y la potencia de entrada. Ya que el motor es un equipo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, la potencia eléctrica es convertida a potencia mecánica, pero en el proceso de conversión existen pérdidas, por lo que la potencia mecánica de salida no será igual a la potencia eléctrica de entrada (Ilustración II-10).



$$P_{Entrada} = P_{Perdidas} + P_{Salida}$$

Ilustración 0-10: Eficiencia del motor

$$Eficiencia = \eta = \frac{P_{Salida}}{P_{Entrada}} = \frac{T.\omega}{\sqrt{3}U.I.Cos\varphi} \quad ...(2.7)$$

En donde T es el torque o par de salida [Nm], ω es la velocidad de rotación del motor [rad/s], U es el voltaje por fase [V], $Cos\varphi$ es el factor de potencia e I es la corriente de línea [A].

- **Factor de potencia:** El factor de potencia es un indicador de eficiencia del consumo de energía de la red. La potencia eléctrica es una potencia compleja y ésta es conformada por una potencia real y potencia reactiva.

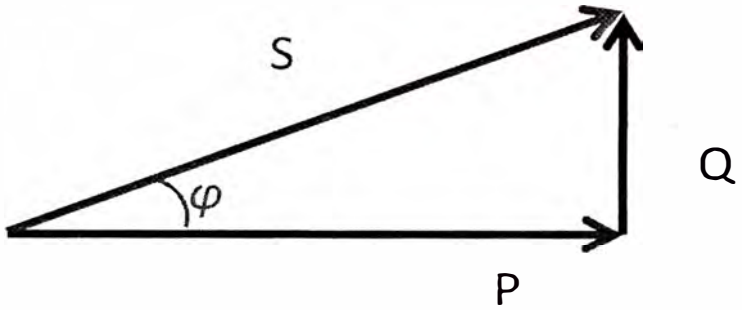


Ilustración 0-11: Triangulo de Potencia

Donde S es la Potencia Compleja, P es la Potencia Real, y Q es la Potencia Reactiva. La magnitud de la potencia compleja estará dada por la ecuación:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad ...(2.8)$$

La potencia compleja es la potencia total generada. La potencia real es la que desarrolla trabajo, en cambio Q es la potencia que se genera en elementos capacitivos e inductivos por el desfase que estos provocan entre la señal de voltaje y la señal de corriente.

El factor de potencia se puede calcular a través del coseno del ángulo que existe entre la magnitud de potencia real y la potencia compleja.

$$Cos\varphi = \frac{P}{S} \qquad ...(2.9)$$

Entre mayor es el factor de potencia se consume menos potencia reactiva, y entre menor es el factor de potencia se consume más potencia reactiva.

- **Factor de servicio:** Este es el valor que indica que puede trabajar un motor arriba de la potencia nominal. Por ejemplo, cuando las especificaciones de un motor indican que éste tiene un factor de servicio de 1.0, significaría que el motor está diseñado para trabajar óptimamente, hasta el 100% de su potencia nominal. Si se tuviera un factor de servicio de 1.2, el motor estaría diseñado para trabajar hasta en un 20%, por encima de su potencia nominal.
- **Aislamiento térmico de los bobinados:** La Asociación Nacional de Manufactureros Eléctricos de los Estados Unidos (NEMA) ha establecido clases de aislamiento térmico para los bobinados, para clasificar a los motores por su resistencia térmica. Lo que indicaría cuales son los aumentos máximos de temperatura, que podría soportar el motor en condiciones de trabajo. Las clasificaciones son: Clase A, Clase B, Clase F y Clase H.

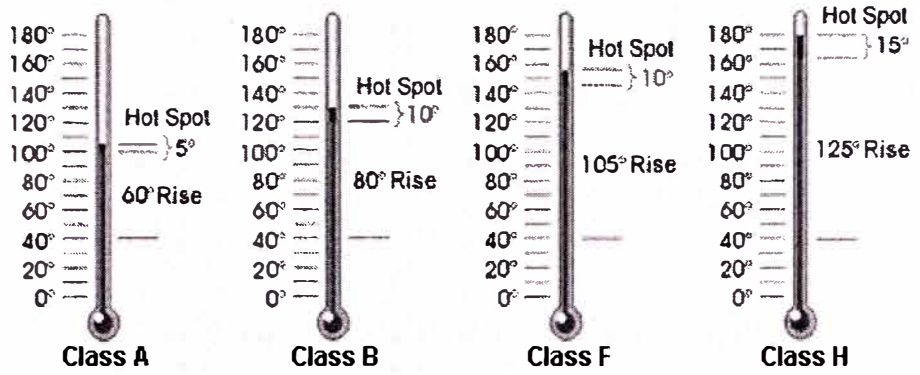


Ilustración 0-12: Clases de Aislamiento Térmico de los Bobinados

- **Grado de protección:** El grado de protección IP hace referencia al estándar estadounidense ANSI/IEC 60529-2004 utilizado con mucha frecuencia en los datos técnicos de equipamiento eléctrico y/o electrónico.

Tabla 0-4: Grados de Protección IP

Primer Número Protección contra sólidos		Segundo Número Protección contra líquidos	
0	Sin Protección	0	Sin Protección
1	Protegido contra objetos sólidos de más de 50mm	1	Protegido contra gotas de agua que caigan verticalmente
2	Protegido contra objetos sólidos de más de 12mm	2	Protegido contra rocíos directos a hasta 15° de la vertical
3	Protegido contra objetos sólidos de más de 2.5mm	3	Protegido contra rocíos directos a hasta 60° de la vertical
4	Protegido contra objetos sólidos de más de 1mm	4	Protegido contra rocíos directos de todas las direcciones - entrada limitada permitida
5	Protegido contra polvo, entrada limitada permitida	5	Protegido contra chorros de agua a baja presión de todas las direcciones - entrada limitada permitida
6	Totalmente protegido contra polvo	6	Protegido contra fuertes chorros de agua de todas las direcciones - entrada limitada permitida
7		7	Protegido contra los efectos de la inmersión de 15cm - 1m
8		8	Protegido contra largos periodos de inmersión bajo presión

Como regla general se puede establecer que cuando mayor es el grado de protección IP, más protegido está el equipamiento. El grado de protección obedece las normas UNE 20324, DIN 40050 e IEC 144.

El estándar alemán DIN 40050-9 **(IP69K)** extiende ANSI/IEC 60529-2004. El mismo ha sido pensado para equipos eléctricos y electrónicos sometidos a altas presiones y temperaturas y en general para procesos donde los mismos están sometidos a ataque de líquidos y químicos.

Los contenedores de los equipos no sólo deben soportar los grados de protección IP6X con holgura, sino que además deben poder ser capaces de soportar el lavado de los mismos con agua y limpiadores industriales.

El proceso de prueba para que un equipamiento cumpla con la norma DIN 40050-9 establece que el mismo tiene que estar sometido a chorros de agua con un caudal de entre 14 y 16 Litros por minuto, a 80ºC de temperatura, a una presión de entre 8 y 10 Mpa, a una distancia de entre 10 y 15 cm.

2.5. VARIADORES DE VELOCIDAD

El desarrollo de la electrónica de potencia en la permanente búsqueda de nuevos y mejores dispositivos, así como el incremento en la velocidad de cálculo de los modernos microcontroladores, ha permitido fabricar equipos eficientes para la generación de ondas de corriente alterna con frecuencia y

tensión controladas que, suministradas al motor hacen de éste una maquina tan versátil para el control de torque y velocidad, como lo es el motor DC.

Algunos de los métodos que se utilizaron inicialmente trataron de conseguir mejores prestaciones para los motores AC, pero en la práctica sus resultados fueron muy pobres, razón por la cual no tienen mucha aplicación; entre estos métodos usados podemos encontrar: el control de torque por variación de voltaje, el control por variación de frecuencia, el control por variación de la resistencia del rotor y otros.

El control de velocidad tipo V/F constante es uno de los más utilizados cuando se desea torque máximo en todo el rango de variación de velocidad.

$$I_M = \frac{V_M}{\omega L_M} \qquad \text{...(2.10)}$$

Para tener el control de torque constante, el voltaje y la frecuencia deben ser variables, justo lo necesario para que el flujo magnético sea controlado y mantenido a su valor máximo. Esto puede ser conseguido si el voltaje y frecuencia varían de tal forma que:

$$\frac{V_M}{\omega} = I_M L_M = Constante \qquad \text{...(2.11)}$$

Haciendo este tipo de control, las características torque vs velocidad queda como muestra en la ilustración II-13.

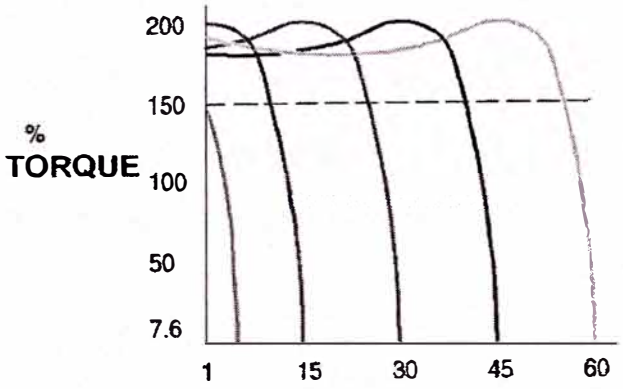


Ilustración 0-13: Voltaje y Frecuencia Variables (V/HZ constante)

Con este tipo de control, por lo menos para el régimen permanente, el motor asíncrono pasa a tener características de operación similares a un motor de corriente continua, con las respectivas limitaciones que puede ofrecer este control.

2.5.1. Etapa de Potencia

En general, los controladores para los variadores de corriente alterna de frecuencia variable son principalmente de tres tipos: voltaje de entrada variable (VVI), entrada de fuente de corriente (CSI) y modulación por ancho de pulso (PWM).

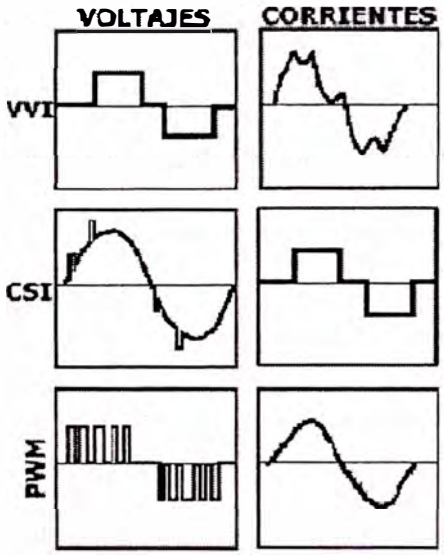


Ilustración 0-14: Tipos de controladores

La modulación por ancho de pulso (PWM) es la que ofrece una mejor calidad de corriente al motor de corriente alterna, logrando que trabaje con mejor eficiencia y produciendo un torque más fino, por ello es el más utilizado en la actualidad.

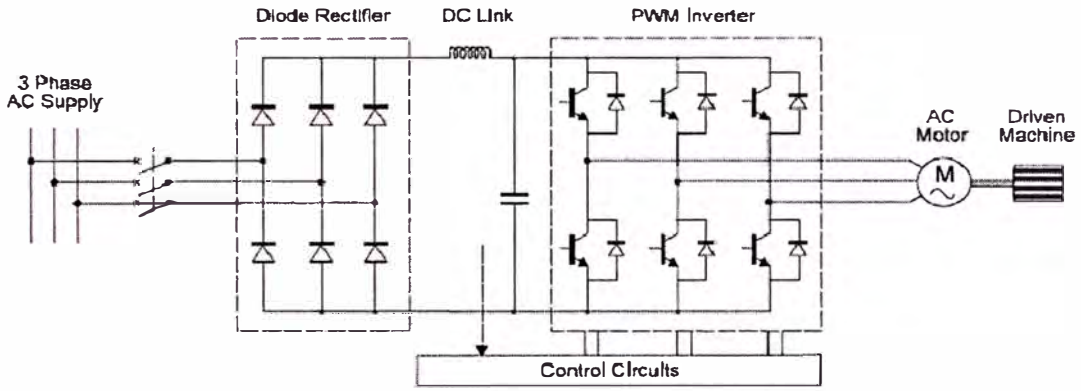


Ilustración 0-15: Esquema de un Variador de Velocidad

La mayoría de variadores de velocidad de corriente alterna son de construcción modular y están compuestos por diferentes componentes como el rectificador de diodos, el bus de corriente continua, el inversor de PWM y el circuito de control.

La etapa de rectificación de voltaje se encarga de convertir el voltaje de corriente alterna en voltaje de corriente continua, para ello utiliza rectificadores compuestos por puentes de diodos de potencia, los cuales convierten las señales senoidales de voltaje AC a semiondas en DC, para luego ser filtradas y reguladas por medio de filtros y el banco de condensadores, obteniendo de esa manera el voltaje del bus DC.

Dicho bus DC es la entrada al circuito inversor, el cual por medio del circuito de control se encarga de generar las señales de control para

conmutar los IGBT's, generando de esa manera la onda senoidal PWM.

2.5.2. ETAPA DE CONTROL

Si examinamos con detenimiento el modelo matemático del motor de inducción, podemos apreciar que los circuitos del flujo y torque no están separados. En los terminales del motor AC se tienen tres cables que transportan el vector suma de las corrientes que producen flujo y torque. Esta es la razón por la cual el control vectorial de un motor AC es más dificultoso que el correspondiente a un motor DC.

El circuito de potencia PWM es comúnmente usado reguladores. Estos reguladores son los que determinan las capacidades del variador, incluyendo la respuesta, regulación de velocidad debido a cambios transitorios de carga y capacidad del torque a baja velocidad.

2.5.2.1. REGULADOR V/F

Es usado en aplicaciones con o sin realimentación de velocidad. Este diseño ofrece generalmente ajustes básicos de un variador incluyendo ajuste de velocidad, límite de torque, V/Hz, voltaje a bajas velocidades, velocidad mínima y máxima, rampas de aceleración y desaceleración y otros ajustes similares, que reúnen los requerimientos para la mayoría de aplicaciones.

El control V/F en su forma más simple lleva una consigna de referencia de velocidad desde una fuente externa y varía el voltaje y frecuencia aplicado al motor.

Debido a que mantiene una relación constante de V/F, el variador puede controlar la velocidad del motor conectado. No es capaz de regular el torque.

Este tipo de control es suficiente para muchas aplicaciones, pero no lo es tanto cuando se tienen aplicaciones que requieren gran rapidez de respuestas dinámica, tal como cuando el motor debe trabajar a muy bajas velocidades o aplicaciones que requieren control directo del torque del motor en vez de frecuencia del motor.

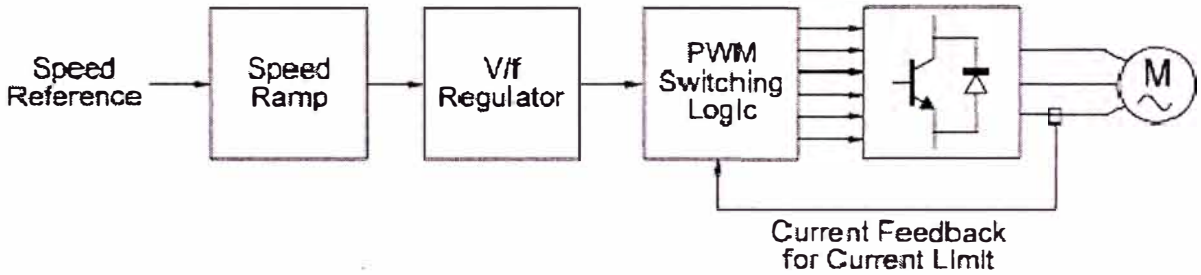


Ilustración 0-16: Control V/F

2.5.2.2. REGULADOR VECTORIAL BÁSICO

Este regulador ha sido un avance significativo sobre el diseño V/Hz. Cada unidad usa un método de aproximación para controlar el ángulo del flujo del rotor-estator para optimizar la operación del motor. Algunos variadores vectoriales tenían la expectativa de tener regulación de velocidad en lazo abierto equivalente a un variador de velocidad DC con realimentación.

2.5.2.3. REGULADOR VECTORIAL SENSORLESS

Este regulador vectorial es la evolución de sus predecesores debido a los avances en microprocesadores y DSP's que enriquecieron significativamente las operaciones del variador, incluyendo la capacidad de regulación de respuesta y posición. Una razón para que las capacidades del regulador vectorial funcionaran mucho mejor es la capacidad de "ver" la fuerza contra electromotriz producida por el motor, entonces la circuitería ajusta el arranque de cada tren de pulsos PWM y la duración específica de cada pulso.

Los variadores vectoriales se usan en imprentas de alta velocidad, bobinadoras y otros sistemas de maquinarias de trabajo coordinado.

Estos tipos de variadores mejoran su trabajo con una señal de realimentación de velocidad ó posición. La ilustración II-17 muestra este tipo de control tomando la señal de velocidad del motor mediante un encoder, en vez de estimarla con un observador. En cambio el torque generado y la intensidad magnética se obtienen del correspondiente observador.

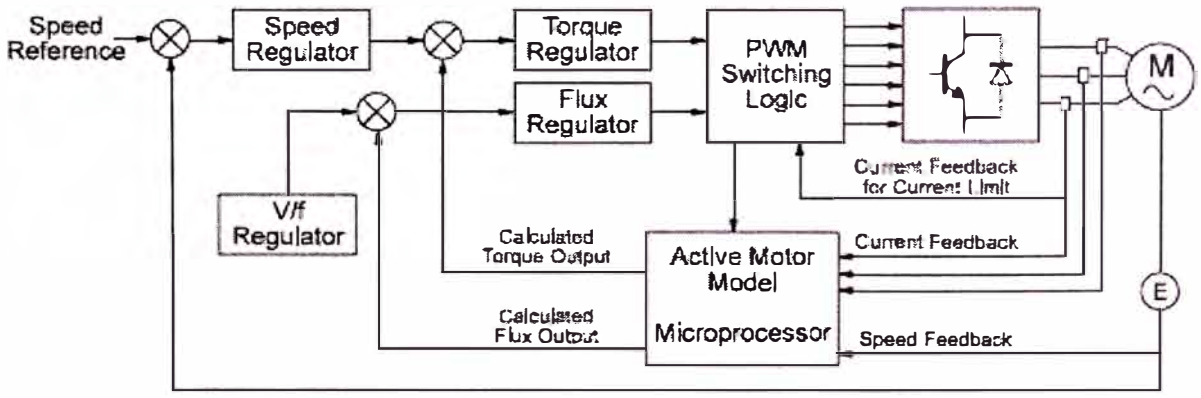


Ilustración 0-17: Control Vectorial con realimentación

2.5.3. Consideraciones a tener en cuenta para la Selección

Para la selección de variadores velocidad, es necesario tener en cuenta diversos puntos: relacionados a la aplicación en la cual trabajará el variador de velocidad, al ambiente en donde se instalará dicho variador de velocidad, las protecciones contra los ruidos eléctricos y los fenómenos eléctricos relacionados al uso de los variadores de velocidad.

2.5.3.1. Relacionados a la Aplicación

Ningún variador de velocidad puede ser correctamente seleccionado si no se conoce su aplicación. Para aplicaciones con variadores de velocidad, las principales características que se deben conocer son: el torque de carga, el tipo, magnitud y características del torque de carga conectado al eje de salida del motor; el rango de velocidad, la mínima y máxima velocidad a la que se moverá el motor; y la inercia del motor y la carga mecánica conectada al eje del motor.

Tabla 0-5: Características de torque de las máquinas típicas en función de la velocidad y el tiempo

Machine Load	Characteristic Curve	Formulae
Conveyors screw Conveyors Pos. displ. pumps Compressors Ball mills		$T = k$ (Constant) $P = k \cdot n \cdot T$
Centrifugal pumps Centrifugal fans		$T = k \times n^2$ $P = k \times n^3$
Extruders Slurry pumps		T_L = Breakaway
Winders Lathes		$P = k$ $T = \frac{k \cdot P}{n}$
Reciprocating Machines		
Presses		
Crushers Mills Wood chippers Cranes Sawmills Presses		

Factores principales a tener en cuenta en función a la aplicación:

- El torque de arranque, puede ser elevado para mover una carga inercial (transportador de productos) ó casi nulo (bomba centrífuga).
- El trabajo a bajas velocidades por periodos prolongados de tiempo provocan un sobrecalentamiento del motor por falta de auto-ventilación. En algunos casos puede requerir una ventilación forzada.

- En el caso que se requiera de arranques y paradas continuos ó que tenga frenados con rampas de desaceleración muy pronunciadas, se hace necesario el uso de resistencias de frenado. Esto debido que al momento de frenar un motor, este se convierte en un generador de voltaje, la corriente generada es derivada al variador de velocidad (por diferencia de potencial) y es liberada en forma de calor en la resistencia de frenado. El no usar una resistencia de frenado puede derivar en una sobrecarga y posterior malfuncionamiento del variador de frecuencia.

2.5.3.2. Relacionados al Ambiente de Instalación

Un punto importante a tener en cuenta al momento de realizar la instalación de un variador de velocidad, es el ambiente en el cual trabajará.

- La polución del ambiente donde se ubicará un variador de frecuencia hace necesario en la mayoría de casos el uso de gabinetes que los protejan.

  Esto debido al grado de protección que tienen los variadores de velocidad, el cual es usualmente IP20.

  El usar los variadores de velocidad sin protección alguna, puede generar problemas de ventilación por polución, cortocircuitos por humedad, etc.

  Típicamente los gabinetes pueden tener una protección de IP55, IP56, IP65 ó hasta IP66.

- En nuestro país es usual tener plantas industriales a diferentes alturas sobre el nivel del mar, lo cual genera en los variadores de velocidad problemas con la disipación de calor por la falta de oxígeno.

  Es por ello que los fabricantes típicamente recomiendan que se derratee la potencia de los variadores de velocidad por encima de los 1000msnm, la caída de potencia efectiva es de 10% por cada 1000m (esto puede variar dependiendo del fabricante).

- Asimismo, es necesario tener en cuenta que los variadores de velocidad han sido diseñados para trabajar a una temperatura ambiente de 25°C, el cual puede llegar en algunos casos hasta 40°C por el propio calentamiento del variador.

  En temperaturas mayores, es posible que un variador de velocidad entre en falla; por lo cual es necesario tener en cuenta, que en lugares donde la temperatura del ambiente en donde se encontrará instalado el variador de frecuencia, el uso de sistemas de refrigeración ó el uso de variadores de mayor potencia, a fin que puedan disipar mejor el calor.

2.5.3.3. RELACIONADOS A LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Los variadores de velocidad son equipos electrónicos que requieren de una calidad de energía lo más limpia posible. Los principales problemas que encontramos en nuestro medio son problemas de caídas de tensión, desbalances de fases, interferencias electromagnéticas, armónicos y transitorios.

- Las caídas de tensión y desbalances de fases son muy comunes en nuestro medio debido a la pobre calidad de energía que se tiene, y esto genera que en la mayoría de casos los variadores de velocidad entren en falla al detectar alguno de estos problemas.
- Las interferencias electromagnéticas, son recibidas y emitidas por todos los equipos electrónicos, lo cual puede afectar no solo la calidad de energía sino también las comunicaciones establecidas entre equipos electrónicos e incluso alteran el funcionamiento de algunos circuitos electrónicos. Se recomienda el uso de filtros, para disminuir las interferencias electromagnéticas.
- Los armónicos, son deformaciones en el voltaje senoidal de alimentación, debido a cargas no lineales. Los principales problemas generados por los armónicos son el sobrecalentamiento de diversos elementos eléctricos, ruido acústico e incluso vibración en los tableros. Los armónicos se reducen en cierta medida con el uso de reactancias de línea.
- Los transitorios, son generados por diversos equipos eléctricos de gran potencia, los cuales generan picos de voltaje en las líneas de alimentación, las cuales llegan a todos los componentes electrónicos conectados a dicha línea. En muchos casos los transitorios son tan rápidos, que no pueden ser aplacados por los varistores, llegando incluso a dejar inoperativos los variadores de velocidad. Para una mayor protección de los variadores de velocidad y otros

componentes electrónicos se recomienda el uso de supresores de picos (o transitorios).

2.6. ARQUITECTURAS DE INSTALACIÓN

Las arquitecturas de instalación están referidas acerca de la distribución de los accionamientos entre los tableros de mando y control y el campo.

2.6.1. ARQUITECTURA CENTRALIZADA

Este tipo de arquitectura centra todos los componentes de mando y control en los tableros. Cabe decir que en el caso de motorreductores accionados por variadores de velocidad, todos los variadores de velocidad van alojados en los tableros, asimismo, el PLC que los controla también va alojado en los tableros de mando y control.

Típicamente en esta arquitectura, el PLC se comunica con los variadores de velocidad, así como con otros componentes por medio de algún protocolo de comunicación (Profibus, Devicenet, Modbus, Sbus, AS-Interface, Hart, etc.)

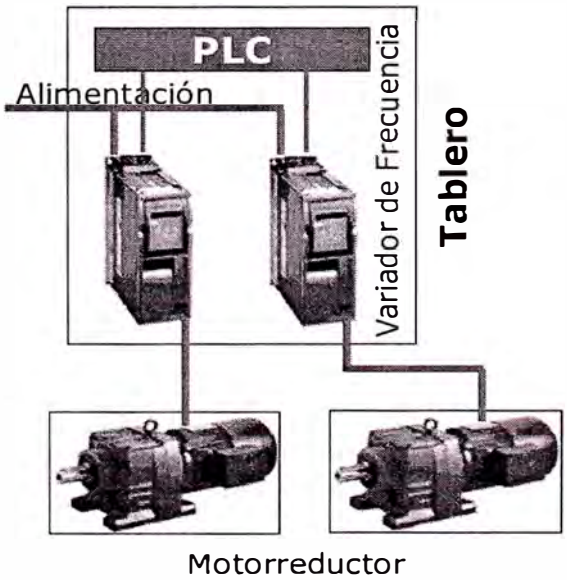


Ilustración 0-18: Arquitectura Centralizada

La arquitectura centralizada es la más difundida en la actualidad, pero está siendo desplazada por la arquitectura descentralizada debido a la reducción de espacio utilizado en los tableros de mando y control.

2.6.2. ARQUITECTURA DESCENTRALIZADA

Este tipo de arquitectura centra solo los componentes de control en los tableros, para lo cual los motorreductores deben tener la electrónica de potencia (variador de velocidad) integrada al motor. Lo cual permite que en los tableros solo alberge los equipos de control (PLC y accesorios) y accesorios de mando (contactores, filtros, fusibles, etc.).

La arquitectura descentralizada requiere de una línea de control en campo por medio de algún protocolo de comunicación (Profibus, Modbus, Devicenet, Sbus, etc.), asimismo permite tener módulos de entradas/salidas digitales en campo que se cuelgan a la misma línea de control.

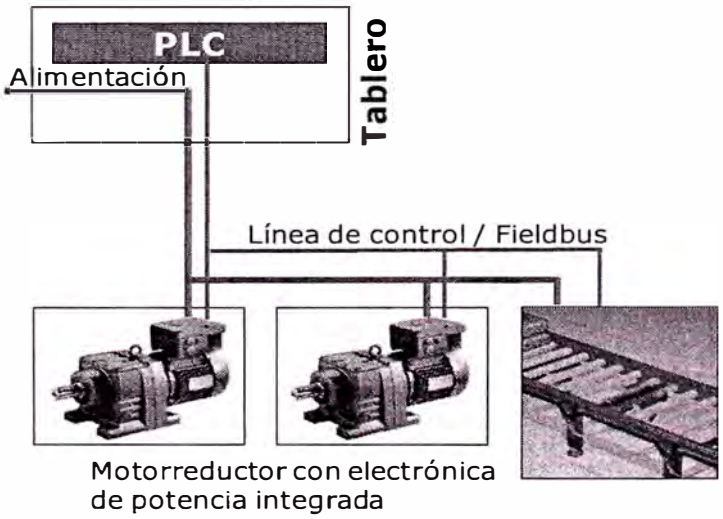


Ilustración 0-19: Arquitectuda Descentralizada

Este tipo de arquitectura permite ahorrar mucho espacio en los tableros de mando y control y realizar una instalación mas estructurada con un esquema de cableado más sencillo. Asimismo, permite un ahorro en los costos de ingeniería, costos de instalación y puesta en marcha, así como en los costos de mantenimiento de los accionamientos.

2.7. ACCIONAMIENTO MOVIGEAR

Con el constante desarrollo de la tecnología, se ha visto necesario integrar el diseño de los reductores, motores y variadores de velocidad, en un accionamiento más compacto. El resultado de este desarrollo ha sido un accionamiento mecatrónico, llamado así por la integración de sistemas que incluye.

El accionamiento mecatrónico MOVIGEAR ha sido diseñado especialmente para el transporte de materiales, el cual combina un reductor de engranajes helicoidales de ejes paralelos para montaje por eje hueco, un motor de imanes permanentes y un variador velocidad de última generación en un solo producto, ofreciendo una alta eficiencia global, que le permite regular el torque de salida en función al torque que requiere la aplicación en cada instante.

Ilustración 0-20: Accionamiento Mecatrónico MOVIGEAR

Estos accionamientos tienen un diseño compacto, que reduce el número de variables (modelos de equipos instalados en planta) y mantiene un fácil recambio de componentes bajo MTTR (Mean Time to Repair).

Debido a su diseño, este accionamiento reduce los niveles de ruido generados, debido a que no tiene ventilador, en comparación con los motores asíncronos estándar.

Cumple con los requisitos de diseño higiénico, exigidos en plantas de elaboración de productos de consumo humano directo, debido a que sus superficies son suaves y angulares que permiten una fácil limpieza con una alta clase de protección IP65, pudiendo llegar a grados de protección mayor. Asimismo, el no tener ventilador hace que el equipo no contamine el ambiente por propagación de gérmenes.

2.7.1. FUNCIONAMIENTO

Los accionamientos MOVIGEAR están basados en motores de imanes permanentes (iguales que los servomotores) con lo cual a diferencia de los motores asíncronos que se dimensionan por

potencia, los accionamientos MOVIGEAR se dimensionan por torque, debido a que pueden ofrecer un torque casi constante en todo su rango de velocidad que va de 200 rpm a 2000 rpm en el motor (sin contar con la reducción de la caja reductora). Además, ofrece un torque máximo de arranque del orden del 350% del torque nominal del accionamiento.

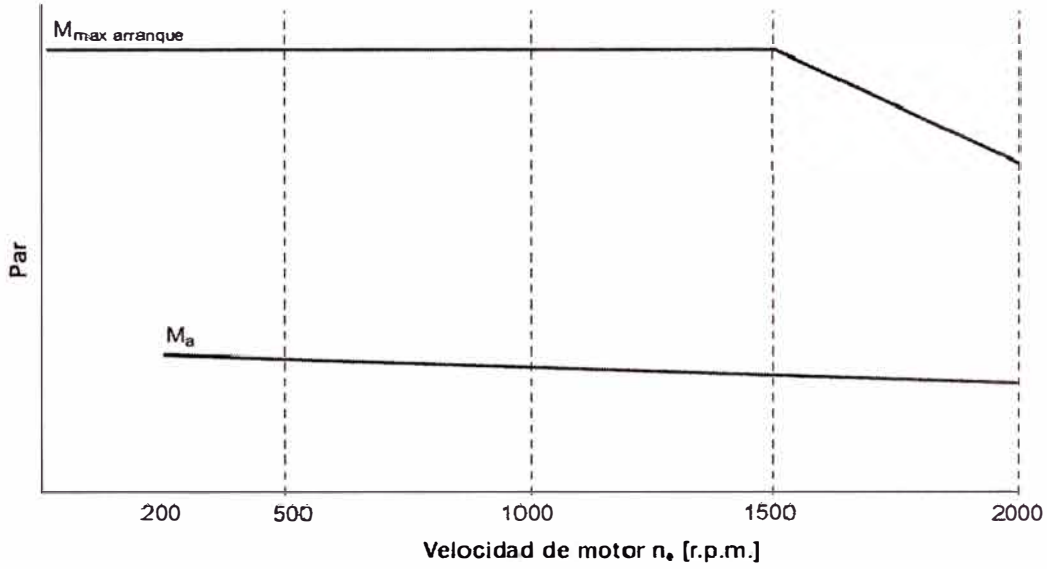


Ilustración 0-21: Curva de Torque vs. Velocidad de los MOVIGEAR

A continuación se muestra un perfil de carga de un transportador, en el cual se puede apreciar que al inicio del movimiento se genera un torque de arranque pico. Luego de lo cual, el torque debe vencer los rozamientos dinámicos iníciales del movimiento y la falta de lubricación del sistema. Para finalmente llegar a estado estacionario, en el cual solo se requiere el torque necesario para mover la carga.

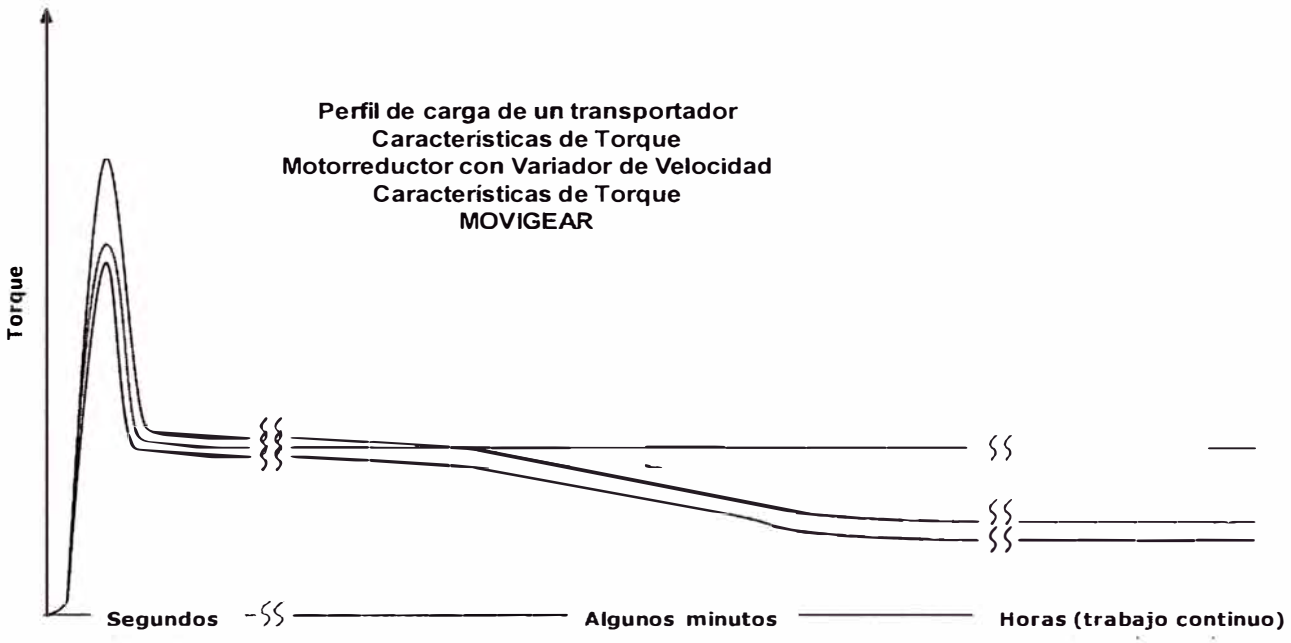


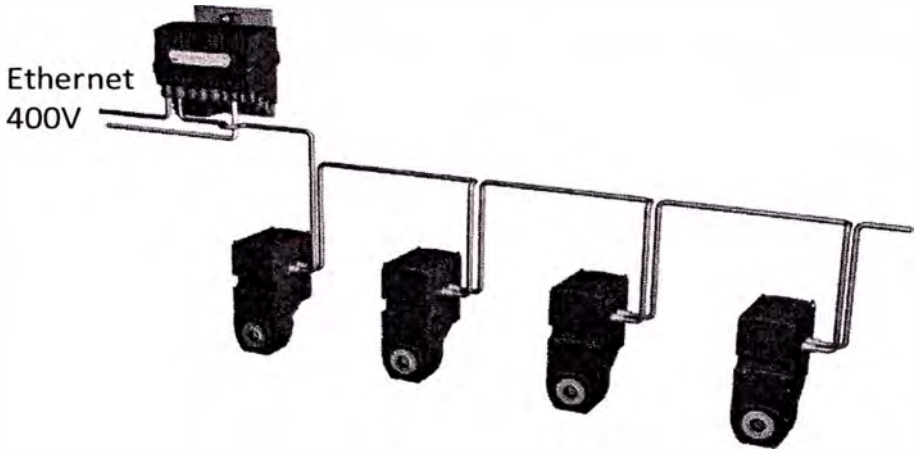
Ilustración 0-22: Perfil de carga de un transportador

En la ilustración anterior se puede apreciar que un motorreductor con variador de velocidad, logra vencer el torque pico de arranque luego de lo cual entrega un torque continuo para mover el transportador. A diferencia de esto, un accionamiento MOVIGEAR entrega un torque de arranque mayor al de un motorreductor y se amolda al torque requerido por la aplicación, optimizando el consumo de energía.

2.7.2. Topología de Instalación

Los accionamientos MOVIGEAR se comunican por medio de una red SNI (Single Line Network Installation) la cual consiste en transmitir la alimentación de voltaje y la comunicación por un solo cable, es decir, la comunicación viaja a través de la onda sinusoidal de fuerza modulada en la frecuencia. Este tipo de comunicación permite un control independiente para cada MOVIGEAR, a los cuales se les establece una dirección física, la cual se configura en la cubierta electrónica.

Debido a que por el mismo cable se transmite alimentación y comunicación, es imperativo el uso de cable apantallado, a fin de evitar perdida de datos por interferencias electromagnéticas.



hasta 10 MGF..

Ilustración 0-23: Topología de Instalación de los MOVIGEAR

El controlador MOVIFIT es el encargado de transmitir la alimentación y la comunicación por un solo cable, para lo cual debe recibir la alimentación en el rango de 380 - 500Vac (50 a 60Hz), y el intercambio de datos se realiza por medio de comunicación Ethernet UDP/IP de 100Mbits/s (full duplex). El controlador MOVIFIT se conecta a un PLC, el cual le envía los comandos que cada MOVIGEAR debe seguir.

La cantidad máxima de MOVIGEAR que se pueden conectar en una red SNI es de 10, debido a que los controladores MOVIFIT solo pueden entregar una corriente nominal de 10A y a la cantidad de datos que pueden transmitir. La longitud máxima de cable entre el controlador MOVIFIT y el último MOVIGEAR es de 100m.

El controlador MOVIFIT dispone de un switch de mantenimiento, el cual le permite des energizar la línea de MOVIGEAR que contiene, asimismo, el MOVIFIT cuenta con un grado de protección de IP65 por lo que no es necesario que este instalado en un tablero.

Adicionalmente, el controlador MOVIFIT tiene 12 entradas digitales y 4 entradas/salidas digitales, lo cual permite conectar sensores y actuadores existentes en la línea, con lo cual el PLC puede acceder directamente a la lectura/escritura de dichos sensores y actuadores. Asimismo, los controladores incluyen la generación de 24Vdc para la alimentación de las entradas/salidas digitales.

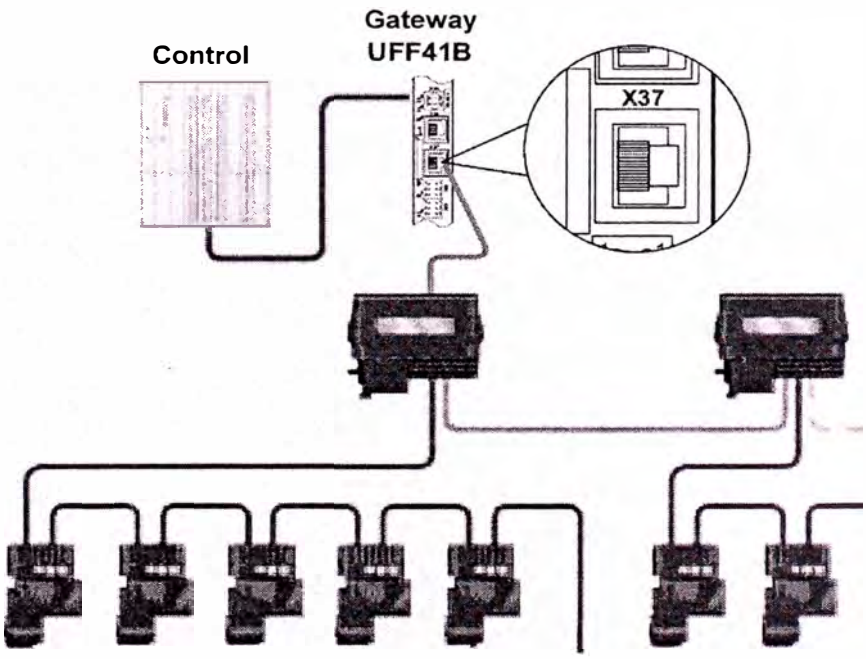


Ilustración 0-24: Control por medio de un PLC usando un Gateway

Debido a la poca difusión de la comunicación Ethernet UDP/IP en la industria, es común utilizar un gateway para comunicarse en Devicenet ó Profibus, que son los protocolos de comunicación más utilizados en la industria.

2.7.3. AHORRO DE ENERGÍA

Los accionamientos MOVIGEAR han sido desarrollados con la más alta tecnología, logrando optimizar la eficiencia de cada etapa del accionamiento, ofreciendo una alta eficiencia global, la cual mejora aproximadamente de 10 a 25% respecto a los accionamientos convencionales, dependiendo del punto de operación.

Este sistema cuenta con una eficiencia que sobrepasa a los motores de eficiencia Super Premium (IE4), permitiendo un ahorro de energía entre 15% y 30%, dependiendo del punto de operación y al ciclo de trabajo.

Es usual en que en este tipo de accionamientos que los costos adicionales generados se amorticen entre 1 y 2 años, debido al ahorro en los costos de energía.

CAPÍTULO III.

Análisis Técnico

El análisis técnico se va a realizar haciendo un análisis previo de los sistemas que actualmente están trabajando en las diversas plantas embotelladoras, para luego hacer los cálculos necesarios para la selección de los accionamientos para el nuevo sistema; y, finalmente, realizar el análisis y selección de los accionamientos en las diferentes variantes existentes.

3.1. ESTUDIO DEL PROCESO Y LA ARQUITECTURA DE INSTALACIÓN

Antes de iniciar el análisis técnico es necesario conocer el proceso objeto del estudio. De todo el proceso de embotellado de bebidas gaseosas, sólo tomaremos la parte concerniente al de transporte de cajas de botellas, el transporte de botellas y sus demás subprocesos no los tomaremos en cuenta en el presente estudio.

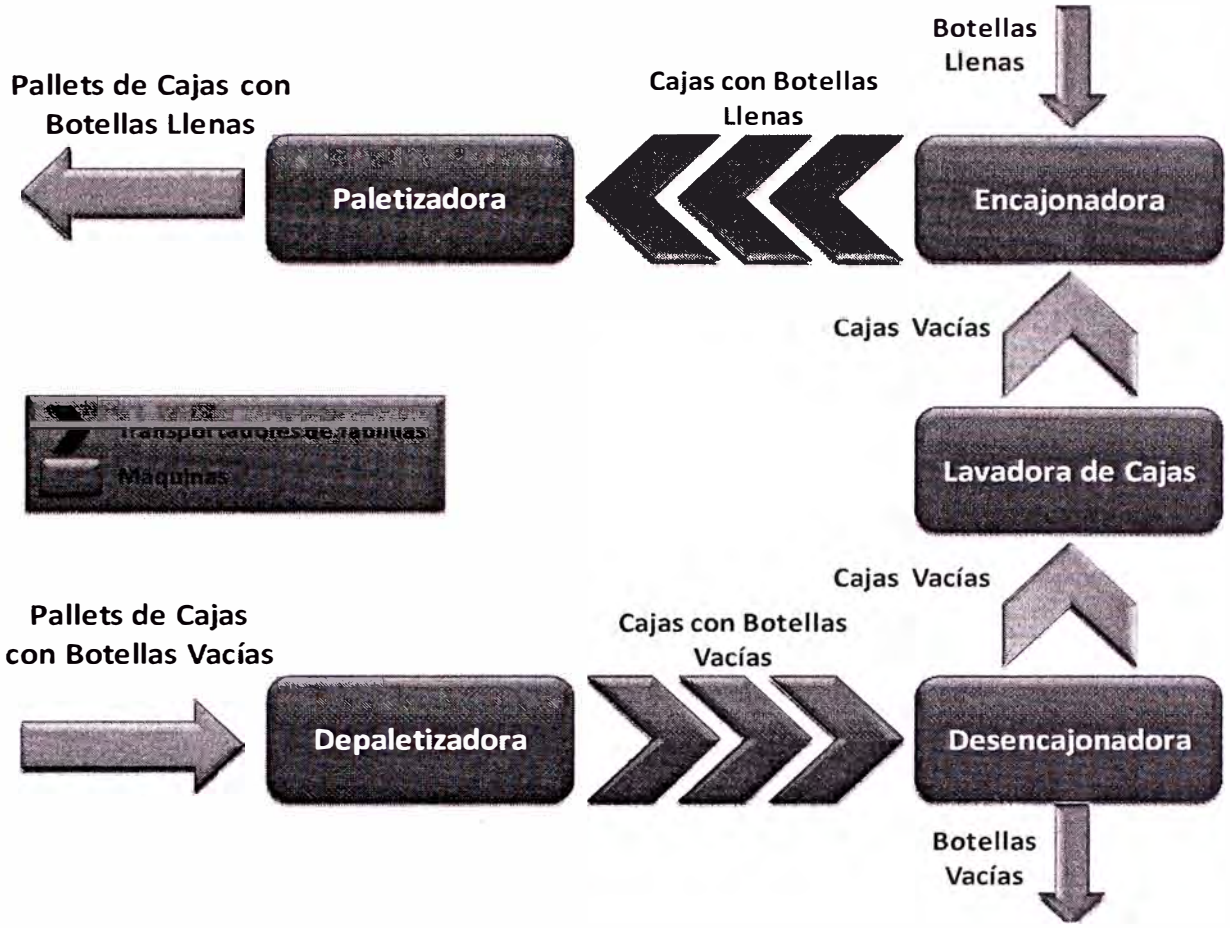


Ilustración 0-1: Proceso en el cual interviene el transporte de cajas de botellas

El proceso comienza con la llegada de los pallets con cajas de botellas vacías a la máquina depaletizadora, la que extrae las cajas de botellas vacías y las deposita sobre los transportadores. Las cajas de botellas vacías son transportadas hasta la máquina desencajonadora, la cual separa las botellas vacías de las cajas. Las botellas vacías se depositan en los transportadores de botellas y siguen otro circuito, el cual no abarcaremos. Las cajas vacías por su parte son transportadas hasta la máquina lavadora de cajas, siguiendo luego su camino hasta la máquina encajonadora. A la máquina encajonadora llegan las botellas llenas de producto, las cuales son depositadas en las cajas vacías, para después ser transportadas hasta la paletizadora. La paletizadora, por su parte, agrupa las cajas de botellas

llenas para formar los pallets; los que, finalmente, son llevados al almacén para su distribución.

La arquitectura general de una instalación típica es como sigue:

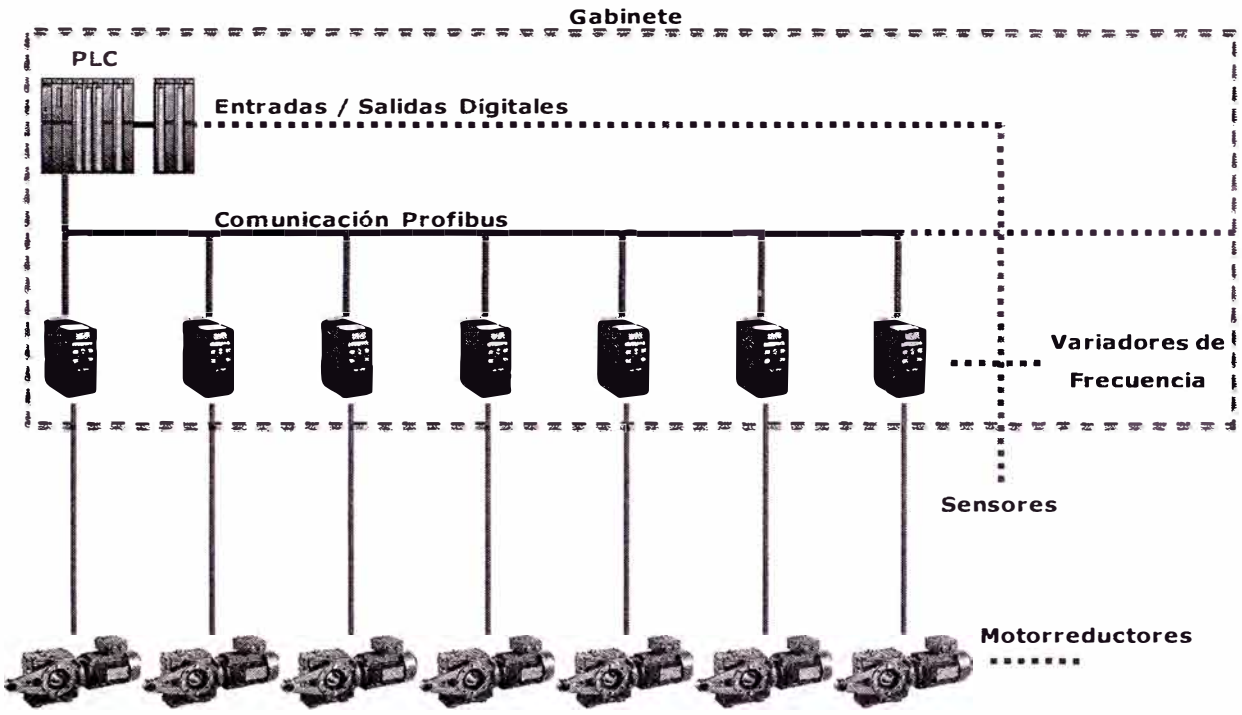


Ilustración 0-2: Arquitectura general de una instalación típica

Como se puede apreciar en la ilustración anterior, tanto el PLC como los variadores de velocidad se encuentran en gabinetes integrados mediante una comunicación Profibus; asimismo, el PLC recibe las señales de los sensores instalados en campo.

A continuación se detalla las características de los sistemas antiguos:

- Transportadores: Para el transporte de botellas de vidrio y cajas botellas es común usar transportadores de tablillas de acero inoxidable. Al instalar una línea de embotellado, es usual que los transportadores de tablillas sean nuevos, debido a que generalmente los transportadores de

segundo uso se encuentran dañados, con las tablillas y cadenas elongadas, por su anterior funcionamiento.

- Accionamientos: Típicamente en las actuales líneas existentes podemos encontrar gran variedad de tipos de accionamientos, pero los principales tipos que se encuentran son los motorreductores coaxiales con eje sólido de salida con transmisión por piñones y cadena, también es común encontrar motorreductores perpendiculares con eje sólido de salida (en algunos casos bridados) con transmisión por piñones y cadena. En la mayoría de casos se mantienen los mismos motorreductores de segundo uso, hasta que falle en operación y se realice el cambio por uno de las series actuales.

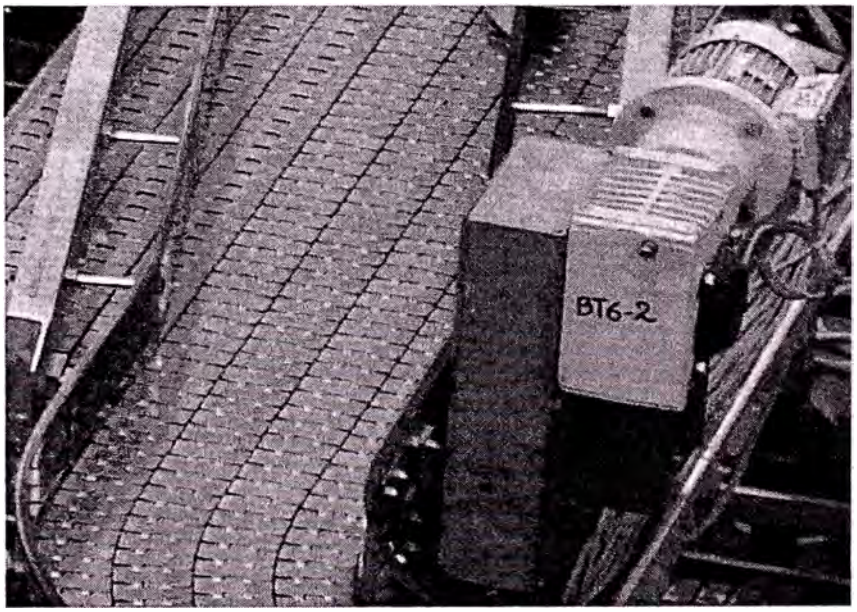


Ilustración 0-3: Transportador de tablillas con accionamiento por motorreductor perpendicular de eje sólido de salida con transmisión por piñones y cadena.

- Variadores de Velocidad: Los variadores de frecuencia regulan la velocidad de los motorreductores recibiendo las señales de control por bus de comunicación, típicamente por Profibus. Los variadores de frecuencia de segundo uso son de tecnología antigua, y generalmente

no se encuentran repuestos ya que son obsoletos, por ello generalmente se opta por el cambio por variadores de frecuencia nuevos.

- PLC: Los PLC provenientes de las líneas de embotellado de segundo uso son de tecnologías antiguas (p.e. PLC Siemens de la serie S5), los cuales actualmente son obsoletos, e incluso generalmente no se encuentra el software necesario para programar los PLC. Por ello, es casi imperativo cambiar el PLC para realizar la nueva programación y regulación del sistema. El PLC comanda los variadores de frecuencia y en algunos casos algunos cilindros neumáticos de apertura y cierre, y a su vez recibe señales digitales de los sensores de instalados en la línea.

3.2. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS ACTUALES

Como se comentó en los antecedentes, típicamente las líneas de embotellado existente en nuestro país son de segundo uso, provenientes de Europa; consecuentemente, los accionamientos para los transportadores también son de segundo uso.

Al instalarse una línea de embotellado se hace el análisis del estado de los accionamientos para evaluar su cambio ó si es posible seguir trabajando con los mismos accionamientos. El seguir trabajando con los accionamientos antiguos deriva finalmente en realizar el cambio cuando el accionamiento falle en operación.

3.2.1. ESTUDIO DE LOS PROBLEMAS ACTUALES

A continuación se listan los problemas más comunes que podemos encontrar en las líneas embotelladoras:

- **Recalentamiento de motores rebobinados**

  Debido a los múltiples mantenimientos correctivos realizados en los motores, estos han sido sometidos a rebobinados de sus estatores, lo cual genera en corto plazo un desgaste mayor de las bobinas, ya que estos rebobinados no cuentan con las mismas tolerancias con las que fueron fabricadas originalmente. Debido a que estos motores trabajan con variador de frecuencia, genera que los bobinados del motor se degraden más rápido que un motor normal, debido a la modulación a alta frecuencia de voltajes elevados.

  Acciones a tomar: Cambiar el motor por uno nuevo ó cambiar solo el estator, cuando el motor vuelva a fallar por el mismo problema.

- **Motores trabajando a frecuencias muy bajas.**

  Cuando el motor es regulado a frecuencias por debajo de los 20Hz, en este caso el motor se recalienta debido a que el ventilador al girar más lento no brinda el flujo de aire necesario para enfriar al motor. Finalmente, el motor termina por recalentarse y en muchos casos se llega a quemar el bobinado del motor.

  Acciones a tomar: Trabajar el motor con ventilación forzada o evitar trabajar a frecuencias bajas.

- **Motores trabajando a frecuencias muy altas.**

  Los variadores de frecuencia regulan la frecuencia de trabajo de los motores llegando muchas veces a trabajar a más de 100Hz, lo cual genera un desgaste de las bobinas del estator y una caída en el torque nominal que puede ofrecer el motor. Cuando ocurre una sobrecarga en estas condiciones, genera un sobre pico de corriente dando como consecuencia que se queme el bobinado del motor.

  Acciones a tomar: Cambiar el índice de reducción del reductor por uno menor o cambiar todo el motorreductor y evitar trabajar en frecuencias altas.

- **Recalentamiento del reductor de engranajes helicoidales**

  Cuando el reductor se encuentra muy caliente se puede deber a diferentes factores: el lubricante no tiene el nivel necesario de lubricante (o tiene lubricante en exceso) lo cual genera que el reductor trabaje en caliente y a la vez degrade la viscosidad del lubricante; el lubricante se encuentra degradado o con impurezas (limaduras de hierro o de aluminio o polvo o agua), lo cual deteriora los engranajes e incluso pueden llegar a una falla del reductor; cuando el motor se encuentra trabajando a bajas revoluciones, esto genera que los reductores con lubricación por salpicadura no lubrique algunos piñones o rodamientos, lo cual puede llevar a un agarrotamiento y finalmente a una falla; el reductor calienta cuando tiene una

sobrecarga constante, lo cual puede derivar en una falla del mismo.

Acciones a tomar: Revisar el nivel y calidad del lubricante. Cambiar por algún lubricante sintético que ofrezca una mayor gama de temperatura de trabajo. Revisar el consumo de corriente del motor, a fin de saber si el reductor trabaja en sobrecarga, en es el caso reemplazar el motorreductor por uno de mayor potencia.

- **Recalentamiento del reductor de engranajes sin fin corona**

Cuando el reductor es sin fin corona, este se encuentra aún más caliente de lo normal, debido al alto grado de rozamiento que genera la corona de bronce con el sin fin de acero, lo cual libera energía en forma de calor, razón por la cual este tipo de reductores tienen una eficiencia menor que los de engranajes helicoidales. Por otro lado, un recalentamiento mayor significa que existe algún problema con el lubricante o de sobrecarga (similar a lo detallado anteriormente). Es común que ante una sobrecarga el reductor sin fin corona falle, llegando incluso a barrer los dientes de la corona, debido a que esta es de bronce y es la primera en fallar.

Acciones a tomar: Revisar el nivel y calidad del lubricante. Cambiar por algún lubricante sintético que ofrezca una mayor gama de temperatura de trabajo. Revisar el consumo de corriente del motor, a fin de saber si el reductor trabaja en

sobrecarga, en este caso reemplazar el motorreductor por uno de mayor potencia. Monitorear la temperatura del reductor a fin que no sobrepase los límites permisibles.

- **Motores quemados por ingreso de agua**

En algunos casos se encuentra que algunos motores fallan por el ingreso de agua al estator. Esto se debe a que al momento de la limpieza de la zona de trabajo, es usual limpiar inyectando agua a presión y en algunos casos con soda caústica. El agua ingresa al motor por el lado del ventilador ó por la misma caja de bornes generando un cortocircuito en el estator, esto se debe a que en algunos casos los motores son muy antiguos y no tienen guarda e incluso no tienen ventiladores, lo que facilita el ingreso de agua. Cabe comentar que el grado de protección estándar de los motores es el IP55.

Acciones a tomar: Mayor cuidado al realizar la limpieza. Cambiar los motores por unos con mayor grado de protección (IP65 ó mayor).

3.3. CÁLCULOS DEL NUEVO SISTEMA

El diseño y la ingeniería de la Línea 140 para Corporación J.R. Lindley, ha sido desarrollado por la empresa Sidel Chile, y la fabricación de los transportadores, montaje e instalación de máquinas ha sido realizado por la empresa Alta Beverage, la cual encargó el estudio de los accionamientos a la empresa SEW del Perú S.A.C.

Para realizar la selección de los accionamientos es necesario contar con: potencia, velocidad y/o torque. Asimismo, como se comentó anteriormente la empresa Sidel Chile ha sido la encarga del diseño y la ingeniería, por lo cual los cálculos realizados se centraran en obtener los datos necesarios para la selección de los accionamientos, tomando como referencia los planos de diseño de los transportadores (ver anexos), los datos de velocidad de diseño en cada tramo del transportador y los siguientes datos:

Tabla 0-1: Datos del Proyecto

Proyecto:	**Transportadores de Cajas - Línea 140**	
Empresa:	Corporación J.R. Lindley - Planta Callao	
Aplicación:	Transportadores de Cajas de Botellas	
Voltaje/Frecuencia:	380V / 60Hz	
Velocidad de Proceso:	50 cajas/min (promedio)	
Transportador de Tablillas:		
	Tipo de Tablilla:	60M 75M
	Peso Especifico:	5.03 kg/m (*)
	Tipo de Piñón:	NS815 21-X
	Numero de Dientes:	Z21
	Diámetro de Piñón:	129.5 mm
	Coef. de Rozamiento Cadena/Producto:	0.12 (*)
	Coef. de Rozamiento Guía/Cadena:	0.15 (*)
Productos: (Coca Cola / Inca Kola) (625ml, 1000ml y 1500ml)		
	Peso Caja + Botella :	12.30 kg (**)
	Peso Caja:	1.80 kg (**)
	Peso Caja + Botella + Producto:	24.20 kg (**)
	Dimensión Máxima de la Caja:	298 mm (**)
Consideraciones:		
	Aceleración:	0.9 m/s^2
	Eficiencia de Transmisión:	0.9
	Factor de servicio:	1.5
	Los pesos considerados son los máximos permisibles.	
	(*) Datos obtenidos de tablas del proveedor de los transportadores de tablillas. (**) Carga máxima con productos de 1500ml. Se considera que los transportadores estarán lubricados con agua jabonosa.	

Los transportadores están divididos en zonas, la cual hace referencia a las maquinas de entrada – salida.

- Depaletizadora a Desencajonadora: Transporta cajas con botellas vacías.
- Desencajonadora a Encajonadora: Transporta cajas vacías.
- Encajonadora a Paletizadora: Transporta cajas con botellas llenas.

A continuación se muestra la lista de accionamientos necesarios para los transportadores de cajas; la lista está dividida en zonas, según la ubicación del accionamiento, asimismo se le asigna un código de identificación y se indica la función del mismo. Adicionalmente se muestran las velocidades lineales del proceso en cada punto, las longitudes de los transportadores en cada uno de los tramos respectivos y la inclinación de los mismos.

Es importante mencionar que la lista mostrada es un extracto del resultado de la etapa de diseño e ingeniería, y los cálculos que se muestran en el presente informe son cálculos básicos, usados con el fin de obtener los datos necesarios para hacer la selección de los accionamientos y a su vez contrastarlos con los proporcionados por la etapa de diseño e ingeniería.

Tabla 0-2: Lista de Accionamientos

Zona	Función	Código	$V_{PROCESO}$ [mpm]	Longitud [mm]
DEPALETIZADORA A DESENCAJONADORA	Entrada Girador	135M0	35.8	2356
	Entrada Girador	130M0	35.8	2861
	Girador	130M1	35.8	1905
	Girador	135M1	35.8	1905
	Girador	130M2	35.8	3000
	Girador	135M2	35.8	3000
	Curva	130M3	26.1	7165
	Curva	135M3	26.1	8356
	Acumulación	130M4	29.8	8410

	Acumulación	135M4	29.8	8410
	Freno	130M5	23.1	1910
	Freno	135M5	23.1	1910
	Curva	130M6	29.8	4456
	Curva	135M6	29.8	3266
	Curva	130M7	26.1	5188
	Curva	135M7	26.1	4048
	Entrada Maquina	130M8	23.1	2395
	Entrada Maquina	135M8	23.1	2395
DESENCAJONADORA A ENCAJONADORA	Salida Maquina	140M0	23.1	2395
	Salida Maquina	140M1	23.1	2395
	Curva	140M2	34.8	7499
	Curva	140M3	34.8	6309
	Freno	140M4	13.5	1925
	Freno	140M5	13.5	1925
	Mesa Unión	140M6	34.6	2468
	Curva	140M7	34.8	3356
	Elevación	140M8	34.8	10303
	Curva	140M9	34.8	4815
	Entrada Maquina	145M0	40.5	4851
	Salida Maquina	145M1	40.5	4351
	Curva	145M2	40.5	4515
	Freno	145M3	27.1	1910
	Candenciador	145M4	40.5	920
	Girador	145M5	40.5	3000
	Curva	145M6	30.3	8742
	Curva	145M7	35.4	8046
	Freno	145M8	20.8	1910
	Curva	145M9	35.4	4267
ENCAJONADORA A PALETIZADORA	Salida Maquina	150M0	30.3	4255
	Curva	150M1	26.4	3361
	Curva	150M2	26.4	4278
	Acumulación	150M3	30.5	7600
	Freno	150M4	26.4	1910
	Curva	150M5	26.4	4363
	Acumulación	150M6	30.5	7577
	Freno	150M7	26.4	1910
	Curva	155M0	30.5	5683
	Freno	155M1	26.4	1410
	Candenciador	155M2	26.4	910
	Divisor	155M3	35.8	2310
	Acumulación	155M4	30.5	7334

	Acumulación	155M5	30.5	6574
	Freno	155M6	25.1	1540
	Freno	155M7	31.3	1360

Las longitudes mostradas en la tabla anterior se refieren a las longitudes lineales de los transportadores incluyendo sus curvaturas. Los esfuerzos generados por dichas curvaturas no serán tomados es cuenta en los cálculos de los esfuerzos estáticos, ni dinámicos.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto se realizan los cálculos de pesos, esfuerzos, torques y potencias necesarias para mover los transportadores, para ello se tienen en cuenta las siguientes fórmulas:

$$V_{RPM} = \frac{1000.V_{PROCESO}}{\pi.D_{Piñon}} \quad ...(3.1)$$

Donde $V_{PROCESO}$ es la velocidad del proceso [m/min], el $D_{Piñon}$ es el diámetro del piñón motriz [mm] y V_{RPM}es la velocidad angular del eje motriz [rpm]. Las velocidades de proceso han sido calculadas por los diseñadores en función a cada etapa del proceso.

$$W_{Transp} = 2.L_{Transp}.w_{transp} \quad ...(3.2)$$

$$W_{Carga} = \frac{L_{Transp}}{L_{Caja}}.W^{*}_{Caja} \quad ...(3.3)$$

Donde W_{Transp} es el peso del transportador [kg], L_{Transp} es la longitud del transportador [m], w_{transp} es el peso específico [kg/m], W_{Carga} es el peso producido por la carga [kg], L_{Caja} es el largo del la caja [m] y W^{*}_{Caja} es el peso de la caja [kg], la cual puede estar vacía ó llevar botellas vacías ó llenas.

$$F_{st} = \{W_{Carga} \cdot \mu_1 + (W_{Transp} + W_{Carga}) \cdot \mu_2\} \cdot g \qquad ...(3.4)$$

Donde F_{st} es la fuerza estática necesaria para mover el transportador [N], μ_1 es el coeficiente de rozamiento entre las cadenas (tablillas) y el producto, μ_2 es el coeficiente de rozamiento entre las cadenas y las guías, y g es la aceleración de la gravedad [m/s^2].

El torque estático necesario para mover los transportadores vendrá dado por:

$$T_{st} = F_{st} \cdot \frac{d}{2} \cdot \frac{fs}{\eta} \qquad ...(3.5)$$

Donde T_{st} es el torque estático [Nm], d es el diámetro de los piñones [mm], fs es factor de servicio de diseño, y η es la eficiencia de transmisión.

Para calcular la potencia de diseño, es necesario tener en cuenta el factor de carga pico, el cual está referido al torque dinámico necesario para arrancar ó frenar el transportador.

Esto debido principalmente a que al inicio del movimiento del transportador, normalmente no está lubricado y el accionamiento debe ser capaz de poder vencer todas las fricciones y resistencias al movimiento, incluso a plena carga.

Los fabricantes recomiendan que el factor de carga pico tenga un valor cercano a 2.

$$P_{dis} = 2 \frac{T_{st} \cdot V_{RPM}}{9550} \qquad ...(3.6)$$

Donde P_{dis} es la potencia necesaria para mover el transportador en [kW].

Una vez evaluados las formulas anteriores en todos los transportadores, obtenemos:

Tabla 0-3 : Valores Calculados

Zona	Función	Código	V_{RPM}	T_{st} [Nm]	P_{dis} [kW]	P_{sel} [kW]
DEPALETIZADORA A DESENCAJONADORA	Entrada Girador	135M0	87.9	21.9	0.40	0.75
	Entrada Girador	130M0	87.9	26.5	0.49	0.75
	Girador	130M1	87.9	17.7	0.33	0.55
	Girador	135M1	87.9	17.7	0.33	0.55
	Girador	130M2	87.9	27.8	0.51	0.75
	Girador	135M2	87.9	27.8	0.51	0.75
	Curva	130M3	64.0	66.5	0.89	1.5
	Curva	135M3	64.0	77.5	1.04	1.5
	Acumulación	130M4	73.2	78.0	1.20	1.5
	Acumulación	135M4	73.2	78.0	1.20	1.5
	Freno	130M5	56.9	17.7	0.21	0.75
	Freno	135M5	56.9	17.7	0.21	0.75
	Curva	130M6	73.2	41.3	0.63	1.1
	Curva	135M6	73.2	30.3	0.46	1.1
	Curva	130M7	64.0	48.1	0.65	1.1
	Curva	135M7	64.0	37.6	0.50	1.1
	Entrada Maquina	130M8	56.9	22.2	0.26	0.75
	Entrada Maquina	135M8	56.9	22.2	0.26	0.75
DESENCAJONADORA A ENCAJONADORA	Salida Maquina	140M0	56.9	5.6	0.07	0.75
	Salida Maquina	140M1	56.9	5.6	0.07	0.75
	Curva	140M2	85.5	17.6	0.31	0.75
	Curva	140M3	85.5	14.8	0.26	0.75
	Freno	140M4	33.3	4.5	0.03	0.55
	Freno	140M5	33.3	4.5	0.03	0.55
	Mesa Unión	140M6	85.0	5.8	0.10	0.55
	Curva	140M7	85.5	7.9	0.14	0.55
	Elevación	140M8	85.5	24.1	0.43	1.5
	Curva	140M9	85.5	11.3	0.20	0.75
	Entrada Maquina	145M0	99.5	11.4	0.24	0.75
	Salida Maquina	145M1	99.5	10.2	0.21	0.75
	Curva	145M2	99.5	10.6	0.22	0.75
	Freno	145M3	66.5	4.5	0.06	0.55
	Candenciador	145M4	99.5	2.2	0.04	0.55
	Girador	145M5	99.5	7.0	0.15	0.75
	Curva	145M6	74.4	20.5	0.32	0.75

	Curva	145M7	86.9	18.9	0.34	0.75
	Freno	145M8	51.2	4.5	0.05	0.55
	Curva	145M9	86.9	10.0	0.18	0.75
ENCAJONADORA A PALETIZADORA	Salida Maquina	150M0	74.4	75.8	1.18	2.2
	Curva	150M1	64.8	59.8	0.81	1.5
	Curva	150M2	64.8	76.2	1.03	1.5
	Acumulación	150M3	74.9	135.3	2.12	2.2
	Freno	150M4	64.8	34.0	0.46	1.5
	Curva	150M5	64.8	77.7	1.05	2.2
	Acumulación	150M6	74.9	134.9	2.12	2.2
	Freno	150M7	64.8	34.0	0.46	1.5
	Curva	155M0	74.9	101.2	1.59	2.2
	Freno	155M1	64.8	25.1	0.34	1.5
	Candenciador	155M2	64.8	16.2	0.22	1.5
	Divisor	155M3	87.9	41.1	0.76	1.1
	Acumulación	155M4	74.9	130.6	2.05	2.2
	Acumulación	155M5	74.9	117.0	1.84	2.2
	Freno	155M6	61.6	27.4	0.35	1.5
	Freno	155M7	76.8	24.2	0.39	1.1

La potencia seleccionada P_{sel} en [kW], es la potencia recomendada por los diseñadores, teniendo en cuenta que las velocidades utilizadas para el cálculo son las nominales, y la velocidad de la línea puede aumentar en función del requerimiento de la línea, adicionalmente, en ciertos casos como las curvas y los frenos, estos han sido sobredimensionados para asegurar que en todos los casos los accionamientos van a ser capaces de mover la carga.

3.4. SELECCIÓN DE ACCIONAMIENTOS

Para la selección de los accionamientos, se van a tener en cuenta los datos resultantes de los cálculos, y se tendrá en cuenta las potencias recomendadas por los diseñadores. Además, para asegurar que los equipos puedan trabajar bajo cualquier condición de proceso, la selección de la velocidad nominal se hará por encima de la velocidad calculada.

La selección de accionamientos abarcará las diferentes tecnologías existentes. Se analizaran las opciones típicas de motorreductores con variador de velocidad, en las diferentes versiones de cajas reductoras, así como la versión tecnológica MOVIGEAR, la que ha sido diseñada para este tipo de aplicaciones.

3.4.1. OPCIÓN A: MOVIGEAR

La opción utilizando la tecnología descentralizada MOVIGEAR, requiere de equipamiento adicional, así como el tener en cuenta los grupos que se generan para la topología de red.

La selección de los accionamientos MOVIGEAR se realiza en función del torque estático necesario para mover los transportadores con carga, el torque dinámico para los arranques y paradas no se tendrán en cuenta, debido a la capacidad de estos accionamientos que ofrecen hasta un 350% de su torque nominal para los arranques.

Tabla 0-4: Selección de accionamientos MOVIGEAR

			MOVIGEAR			
Código	V_{RPM}	T_{st} [Nm]	Talla	Ratio	Velocidad [rpm]	Torque [Nm]
135M0	87.9	21.9	MG2	13.60	14.7-147	49.0
130M0	87.9	26.5	MG2	13.60	14.7-147	49.0
130M1	87.9	17.7	MG2	13.60	14.7-147	49.0
135M1	87.9	17.7	MG2	13.60	14.7-147	49.0
130M2	87.9	27.8	MG2	13.60	14.7-147	49.0
135M2	87.9	27.8	MG2	13.60	14.7-147	49.0
130M3	64.0	66.5	MG4	17.33	11.5-115	119.1
135M3	64.0	77.5	MG4	17.33	11.5-115	119.1
130M4	73.2	78.0	MG4	17.33	11.5-115	119.1
135M4	73.2	78.0	MG4	17.33	11.5-115	119.1
130M5	56.9	17.7	MG2	18.52	10.8-108	67.0
135M5	56.9	17.7	MG2	18.52	10.8-108	67.0
130M6	73.2	41.3	MG4	17.33	11.5-115	119.1
135M6	73.2	30.3	MG4	17.33	11.5-115	119.1
130M7	64.0	48.1	MG4	17.33	11.5-115	119.1

135M7	64.0	37.6	MG4	17.33	11.5-115	119.1
130M8	56.9	22.2	MG2	13.60	14.7-147	49.0
135M8	56.9	22.2	MG2	13.60	14.7-147	49.0
140M0	56.9	5.6	MG2	18.52	10.8-108	67.0
140M1	56.9	5.6	MG2	18.52	10.8-108	67.0
140M2	85.5	17.6	MG2	13.60	14.7-147	49.0
140M3	85.5	14.8	MG2	13.60	14.7-147	49.0
140M4	33.3	4.5	MG2	13.60	14.7-147	49.0
140M5	33.3	4.5	MG2	13.60	14.7-147	49.0
140M6	85.0	5.8	MG2	13.60	14.7-147	49.0
140M7	85.5	7.9	MG2	13.60	14.7-147	49.0
140M8	85.5	24.1	MG4	17.33	11.5-115	119.1
140M9	85.5	11.3	MG2	18.52	10.8-108	67.0
145M0	99.5	11.4	MG2	18.52	10.8-108	67.0
145M1	99.5	10.2	MG2	13.60	14.7-147	49.0
145M2	99.5	10.6	MG2	13.60	14.7-147	49.0
145M3	66.5	4.5	MG2	13.60	14.7-147	49.0
145M4	99.5	2.2	MG2	13.60	14.7-147	49.0
145M5	99.5	7.0	MG2	13.60	14.7-147	49.0
145M6	74.4	20.5	MG2	18.52	10.8-108	67.0
145M7	86.9	18.9	MG2	18.52	10.8-108	67.0
145M8	51.2	4.5	MG2	18.52	10.8-108	67.0
145M9	86.9	10.0	MG2	13.60	14.7-147	49.0
150M0	74.4	75.8	MG4	19.70	10.5-102	135.4
150M1	64.8	59.8	MG4	19.70	10.5-102	135.4
150M2	64.8	76.2	MG4	19.70	10.5-102	135.4
150M3	74.9	135.3	MG4	19.70	10.5-102	135.4
150M4	64.8	34.0	MG2	18.52	10.8-108	67.0
150M5	64.8	77.7	MG4	17.33	11.5-115	119.1
150M6	74.9	134.9	MG4	19.70	10.5-102	135.4
150M7	64.8	34.0	MG2	18.52	10.8-108	67.0
155M0	74.9	101.2	MG4	17.33	11.5-115	119.1
155M1	64.8	25.1	MG2	18.52	10.8-108	67.0
155M2	64.8	16.2	MG2	18.52	10.8-108	67.0
155M3	87.9	41.1	MG2	13.60	14.7-147	49.0
155M4	74.9	130.6	MG4	19.70	10.5-102	135.4
155M5	74.9	117.0	MG4	19.70	10.5-102	135.4
155M6	61.6	27.4	MG4	17.33	11.5-115	119.1
155M7	76.8	24.2	MG4	17.33	11.5-115	119.1

Los MOVIGEAR se tienen que reunir en grupos de hasta 10 MOVIGEAR, esto debido a su topología de red SNI, puesto que requieren de un controlador MOVIFIT, el que tiene una capacidad de 20A de corriente nominal.

Teniendo ambas consideraciones se agrupan los MOVIGEAR de la siguiente manera:

Tabla 0-5: Listado de distribución de MOVIGEAR en grupos

Zona	Grupo	Función	Motor	MOVIGEAR		
				MG	Ratio	Velocidad
DEPALETIZADORA - DESENCAJONADORA	130M	entrada girador	130M0	MG2	13.60	14.7-147
		girador	130M1	MG2	13.60	14.7-147
		girador	130M2	MG2	13.60	14.7-147
		curva	130M3	MG4	17.33	11.5-115
		acumulación	130M4	MG4	17.33	11.5-115
		freno	130M5	MG2	18.52	10.8-108
		curva	130M6	MG4	17.33	11.5-115
		curva	130M7	MG4	17.33	11.5-115
		entrada maquina	130M8	MG2	13.60	14.7-147
	135M	entrada girador	135M0	MG2	13.60	14.7-147
		girador	135M1	MG2	13.60	14.7-147
		girador	135M2	MG2	13.60	14.7-147
		curva	135M3	MG4	17.33	11.5-115
		acumulación	135M4	MG4	17.33	11.5-115
		freno	135M5	MG2	18.52	10.8-108
		curva	135M6	MG4	17.33	11.5-115
		curva	135M7	MG4	17.33	11.5-115
		entrada maquina	135M8	MG2	13.60	14.7-147
DESENCAJONADORA A ENCAJONADORA	140M	salida maquina	140M0	MG2	18.52	10.8-108
		salida maquina	140M1	MG2	18.52	10.8-108
		curva	140M2	MG2	13.60	14.7-147
		curva	140M3	MG2	13.60	14.7-147
		freno	140M4	MG2	13.60	14.7-147
		freno	140M5	MG2	13.60	14.7-147
		mesa unión	140M6	MG2	13.60	14.7-147
		curva	140M7	MG2	13.60	14.7-147
		elevación	140M8	MG4	17.33	11.5-115
		curva	140M9	MG2	18.52	10.8-108
	145M	entrada maquina	145M0	MG2	18.52	10.8-108
		salida maquina	145M1	MG2	13.60	14.7-147
		curva	145M2	MG2	13.60	14.7-147
		freno	145M3	MG2	13.60	14.7-147
		cadenciador	145M4	MG2	13.60	14.7-147
		girador	145M5	MG2	13.60	14.7-147
		curva	145M6	MG2	18.52	10.8-108
		curva	145M7	MG2	18.52	10.8-108
		freno	145M8	MG2	18.52	10.8-108
		curva	145M9	MG2	13.60	14.7-147

ENCAJONADORA A PALETIZADORA	150M	salida maquina	150M0	MG4	19.70	10.5-102
		curva	150M1	MG4	19.70	10.5-102
		curva	150M2	MG4	19.70	10.5-102
		acumulación	150M3	MG4	19.70	10.5-102
		freno	150M4	MG2	18.52	10.8-108
		curva	150M5	MG4	17.33	11.5-115
		acumulación	150M6	MG4	19.70	10.5-102
		freno	150M7	MG2	18.52	10.8-108
	155M	curva	155M0	MG4	17.33	11.5-115
		freno	155M1	MG2	18.52	10.8-108
		cadenciador	155M2	MG2	18.52	10.8-108
		DIVISOR	155M3	MG2	13.60	14.7-147
		acumulación	155M4	MG4	19.70	10.5-102
		acumulación	155M5	MG4	19.70	10.5-102
		freno	155M6	MG4	17.33	11.5-115
		freno	155M7	MG4	17.33	11.5-115

Finalmente se obtienen 6 grupos de MOVIGEAR, los cuales tendrán sus correspondientes controladores MOVIFIT. Cada grupo tiene una corriente nominal por debajo de los 20A.

Tabla 0-6: Distribución de Movigear en grupos

	MG2		MG4		
Grupo	13.60	18.52	17.33	19.70	Cant
130M	4	1	4	0	**9**
135M	4	1	4	0	**9**
140M	6	3	1	0	**10**
145M	6	4	0	0	**10**
150M	0	2	1	5	**8**
155M	1	2	3	2	**8**
Total	**21**	**13**	**13**	**7**	**54**

Para el cableado de las redes SNI el fabricante recomienda el uso de cable apantallado AWG12, tanto entre los MOVIGEAR y el MOVIFIT, como entre los MOVIFIT y el tablero de mando y control. El no usar este tipo de cable traería problemas de comunicación en la red SNI.

Cada MOVIFIT necesita protección contra las interferencias de la línea de fuerza, así como la emisión de dichas interferencias hacia la línea. Por ello cada MOVIFIT, debe ser protegido por un filtro NF018-503. Asimismo, en el tablero de mando y control es necesario que se instalen todas las protecciones eléctricas adicionales como relés térmicos y fusibles, así como protecciones contra la polución.

Los controladores MOVIFIT, se comunican por medio del protocolo Ethernet UDP/IP, y el PLC Siemens S7-300 que será usado para el control tiene comunicación Profibus, por lo que es necesario utilizar gateway Profibus – Ethernet UDP/IP. Cada gateway UFF41B tiene la capacidad de hacer intercambio de 64 palabras de datos, para los MOVIFIT es necesario utilizar 2 palabras de datos y para los MOVIGEAR es necesario utilizar 3 palabras de datos por cada uno. Por lo que como máximo se pueden comunicar 2 MOVIFIT con 20 MOVIGEAR por cada gateway UFF41B. Finalmente se deben utilizar 3 gateway UFF41B Profibus - Ethernet UDP/IP.

Para realizar la automatización de la línea es necesario tener la realimentación del estado del transporte de las cajas de botellas, por lo que se hace necesario el uso de sensores reflectivos en diversos puntos en la línea. Estos sensores se conectarán a las entradas digitales que tienen los MOVIFIT; cada MOVIFIT dispone de hasta 16 entradas digitales de 24Vdc. En total se utilizan 60 sensores en el transporte de cajas de botellas, y se disponen de hasta 96 entradas digitales, por lo que no será necesario utilizar módulos remotos de entradas/salidas digitales.

Finalmente, la lista de equipos a adquirir sería la siguiente:

Tabla 0-7: Lista de equipos

Modelo	Ratio	Cant
MGFAT2-DSN-SNI	18.52	13
MGFAT2-DSN-SNI	13.60	21
MGFAT4-DSN-SNI	17.33	13
MGFAT4-DSN-SNI	19.70	7
MOVIFIT-SNI		6
Filtro NF018-503		6
Gateway UFF41B		3

3.4.2. Opción B: Motorreductores Sinfín Corona

Los motorreductores con engranajes sinfín corona, son los modelos más comunes en este tipo de aplicación. La selección de estos motorreductores se realiza en función de las potencias recomendadas por los diseñadores. La velocidad seleccionada es superior a la velocidad nominal requerida, a fin que el diseño tenga la suficiente holgura para subir la producción en caso de ser necesario.

Tabla 0-8: Selección de Motorreductores Sinfín Corona

			Motorreductor Sinfín Corona			
Código	Potencia [kW]	Velocidad [rpm]	Modelo	Ratio	Velocidad [rpm]	Torque [Nm]
135M0	0.75	87.9	SA47TDT80N4	17.62	95.0	67.0
130M0	0.75	87.9	SA47TDT80N4	17.62	95.0	67.0
130M1	0.55	87.9	SA47TDT80K4	17.62	94.0	49.0
135M1	0.55	87.9	SA47TDT80K4	17.62	94.0	49.0
130M2	0.75	87.9	SA47TDT80N4	17.62	95.0	67.0
135M2	0.75	87.9	SA47TDT80N4	17.62	95.0	67.0
130M3	1.5	64.0	SA57TDT90L4	24.77	69.0	173.0
135M3	1.5	64.0	SA57TDT90L4	24.77	69.0	173.0
130M4	1.5	73.2	SA57TDT90L4	23.20	74.0	162.0
135M4	1.5	73.2	SA57TDT90L4	23.20	74.0	162.0
130M5	0.75	56.9	SA47TDT80N4	29.00	58.0	100.0
135M5	0.75	56.9	SA47TDT80N4	29.00	58.0	100.0
130M6	1.1	73.2	SA57TDT90S4	23.20	73.0	119.0
135M6	1.1	73.2	SA57TDT90S4	23.20	73.0	119.0
130M7	1.1	64.0	SA57TDT90S4	24.77	69.0	127.0

135M7	1.1	64.0	SA57TDT90S4	24.77	69.0	127.0
130M8	0.75	56.9	SA47TDT80N4	29.00	58.0	100.0
135M8	0.75	56.9	SA47TDT80N4	29.00	58.0	100.0
140M0	0.75	56.9	SA47TDT80N4	29.00	58.0	100.0
140M1	0.75	56.9	SA47TDT80N4	29.00	58.0	100.0
140M2	0.75	85.5	SA47TDT80N4	20.33	83.0	76.0
140M3	0.75	85.5	SA47TDT80N4	20.33	83.0	76.0
140M4	0.55	33.3	SA47TDT80K4	47.32	35.0	118.0
140M5	0.55	33.3	SA47TDT80K4	47.32	35.0	118.0
140M6	0.55	85.0	SA47TDT80K4	17.62	94.0	49.0
140M7	0.55	85.5	SA47TDT80K4	17.62	94.0	49.0
140M8	1.5	85.5	SA57TDT90L4	19.54	88.0	138.0
140M9	0.75	85.5	SA47TDT80N4	20.33	83.0	76.0
145M0	0.75	99.5	SA47TDT80N4	16.47	102.0	62.0
145M1	0.75	99.5	SA47TDT80N4	16.47	102.0	62.0
145M2	0.75	99.5	SA47TDT80N4	16.47	102.0	62.0
145M3	0.55	66.5	SA47TDT80K4	24.77	67.0	64.0
145M4	0.55	99.5	SA47TDT80K4	16.47	101.0	46.0
145M5	0.75	99.5	SA47TDT80N4	16.47	102.0	62.0
145M6	0.75	74.4	SA47TDT80N4	23.20	72.0	81.0
145M7	0.75	86.9	SA47TDT80N4	20.33	83.0	76.0
145M8	0.55	51.2	SA47TDT80K4	32.48	51.0	83.0
145M9	0.75	86.9	SA47TDT80N4	20.33	83.0	76.0
150M0	2.2	74.4	SA67TDV100M4	23.33	73.0	245.0
150M1	1.5	64.8	SA57TDT90L4	24.77	69.0	173.0
150M2	1.5	64.8	SA57TDT90L4	24.77	69.0	173.0
150M3	2.2	74.9	SA67TDV100M4	23.33	73.0	245.0
150M4	1.5	64.8	SA57TDT90L4	24.77	69.0	173.0
150M5	2.2	64.8	SA67TDV100M4	26.93	63.0	280.0
150M6	2.2	74.9	SA67TDV100M4	23.33	73.0	245.0
150M7	1.5	64.8	SA57TDT90L4	24.77	69.0	173.0
155M0	2.2	74.9	SA67TDV100M4	23.33	73.0	245.0
155M1	1.5	64.8	SA57TDT90L4	24.77	69.0	173.0
155M2	1.5	64.8	SA57TDT90L4	24.77	69.0	173.0
155M3	1.1	87.9	SA57TDT90S4	19.54	87.0	101.0
155M4	2.2	74.9	SA67TDV100M4	23.33	73.0	245.0
155M5	2.2	74.9	SA67TDV100M4	23.33	73.0	245.0
155M6	1.5	61.6	SA57TDT90L4	24.77	69.0	173.0
155M7	1.1	76.8	SA57TDT90S4	23.20	73.0	119.0

Estos motorreductores serán accionados por variadores de velocidad, los cuales irán instalados en los tableros de mando y control. Los modelos de variadores de velocidad seleccionados son los Movitrac 07B, los cuales tienen control escalar y vectorial

sensorless, función de auto-sintonización, pantalla remota de parametrización, además de contar con comunicación Profibus (tarjeta de comunicación). La selección de los variadores de velocidad se hace en función de la potencia nominal de cada uno de los motorreductores a utilizarse en la línea.

Tabla 0-9: Listado de variadores de velocidad

Modelo	Cant
MC07B 0005-5A3-4-00	9
MC07B 0008-5A3-4-00	20
MC07B 0011-5A3-4-00	6
MC07B 0015-5A3-4-00	12
MC07B 0022-5A3-4-00	7

Para el cableado entre cada variador de velocidad y su respectivo motorreductor se usará cable de PVC AWG14. Los variadores de velocidad necesitan protección contra las interferencias de la línea de fuerza, así como la emisión de dichas interferencias hacia la línea, además de los armónicos. Por ello los variadores de velocidad tendrán un filtro NF180-503 y una reactancia de línea ND200-0033 para proteger a todos los variadores de velocidad.

Asimismo, en el tablero de mando y control es necesario que se instalen todas las protecciones eléctricas adicionales como relés térmicos y fusibles, así como protecciones contra la polución, además de estar lo suficientemente ventiladas para evitar que los variadores de velocidad se sobrecalienten.

Los variadores de velocidad, se comunican por medio del protocolo Profibus con el PLC Siemens S7-300.

Para realizar la automatización de la línea es necesario tener la realimentación del estado del transporte de las cajas de botellas, por lo que se hace necesario el uso de sensores reflectivos en diversos puntos en la línea. Estos sensores se conectarán a las entradas digitales del módulo remoto ET 200M de entradas/salidas digitales. En total se utilizan 60 sensores en el transporte de cajas de botellas.

Finalmente, la lista de equipos a adquirir sería la siguiente:

Tabla 0-10: Lista de Equipos

Modelo	Ratio	Cant
SA47TDT80K4	17.62	4
SA47TDT80K4	47.32	2
SA47TDT80K4	24.77	1
SA47TDT80K4	16.47	1
SA47TDT80K4	32.48	1
SA47TDT80N4	17.62	4
SA47TDT80N4	29	6
SA47TDT80N4	20.33	5
SA47TDT80N4	16.47	4
SA47TDT80N4	23.2	1
SA57TDT90L4	24.77	9
SA57TDT90L4	23.2	2
SA57TDT90L4	19.54	1
SA57TDT90S4	23.2	3
SA57TDT90S4	24.77	2
SA57TDT90S4	19.54	1
SA67TDV100M4	23.33	6
SA67TDV100M4	26.93	1
MC07B 0005-5A3-4-00		9
MC07B 0008-5A3-4-00		20
MC07B 0011-5A3-4-00		6
MC07B 0015-5A3-4-00		12
MC07B 0022-5A3-4-00		7
Reactancia ND200-0033		1
Filtro NF180-503		1
Modulo E/S ET 200M		1

3.4.3. Opción C: Motorreductores Helicoidales

La selección de los motorreductores con engranajes helicoidales, se realiza en función de las potencias recomendadas por los diseñadores. La velocidad seleccionada es superior a la velocidad nominal requerida a fin que el diseño tenga la suficiente holgura para subir la producción en caso de ser necesario.

Tabla 0-11: Selección de Motorreductores Helicoidales

			Motorreductor Helicoidal			
Código	Potencia [kW]	Velocidad [rpm]	Modelo	Ratio	Velocidad [rpm]	Torque [Nm]
135M0	0.75	87.9	FA37GDT80N4	19.27	87.0	82.0
130M0	0.75	87.9	FA37GDT80N4	19.27	87.0	82.0
130M1	0.55	87.9	FA37GDT80K4	17.03	97.0	54.0
135M1	0.55	87.9	FA37GDT80K4	17.03	97.0	54.0
130M2	0.75	87.9	FA37GDT80N4	19.27	87.0	82.0
135M2	0.75	87.9	FA37GDT80N4	19.27	87.0	82.0
130M3	1.5	64.0	FA47GDT90L4	25.72	66.0	215.0
135M3	1.5	64.0	FA47GDT90L4	25.72	66.0	215.0
130M4	1.5	73.2	FA47GDT90L4	21.82	78.0	181.0
135M4	1.5	73.2	FA47GDT90L4	21.82	78.0	181.0
130M5	0.75	56.9	FA37GDT80N4	28.09	60.0	120.0
135M5	0.75	56.9	FA37GDT80N4	28.09	60.0	120.0
130M6	1.1	73.2	FA47GDT90S4	21.82	78.0	135.0
135M6	1.1	73.2	FA47GDT90S4	21.82	78.0	135.0
130M7	1.1	64.0	FA47GDT90S4	25.72	66.0	159.0
135M7	1.1	64.0	FA47GDT90S4	25.72	66.0	159.0
130M8	0.75	56.9	FA37GDT80N4	28.09	60.0	120.0
135M8	0.75	56.9	FA37GDT80N4	28.09	60.0	120.0
140M0	0.75	56.9	FA37GDT80N4	28.09	60.0	120.0
140M1	0.75	56.9	FA37GDT80N4	28.09	60.0	120.0
140M2	0.75	85.5	FA37GDT80N4	19.27	87.0	82.0
140M3	0.75	85.5	FA37GDT80N4	19.27	87.0	82.0
140M4	0.55	33.3	FA37GDT80K4	47.02	35.0	149.0
140M5	0.55	33.3	FA37GDT80K4	47.02	35.0	149.0
140M6	0.55	85.0	FA37GDT80K4	17.03	97.0	54.0
140M7	0.55	85.5	FA37GDT80K4	17.03	97.0	54.0
140M8	1.5	85.5	FA47GDT90L4	19.70	87.0	165.0
140M9	0.75	85.5	FA37GDT80N4	19.27	87.0	82.0
145M0	0.75	99.5	FA37GDT80N4	17.03	99.0	72.0
145M1	0.75	99.5	FA37GDT80N4	17.03	99.0	72.0
145M2	0.75	99.5	FA37GDT80N4	17.03	99.0	72.0
145M3	0.55	66.5	FA37GDT80K4	23.88	70.0	75.0

145M4	0.55	99.5	FA37GDT80K4	15.81	105.0	50.0
145M5	0.75	99.5	FA37GDT80N4	17.03	99.0	72.0
145M6	0.75	74.4	FA37GDT80N4	20.57	82.0	88.0
145M7	0.75	86.9	FA37GDT80N4	19.27	87.0	82.0
145M8	0.55	51.2	FA37GDT80K4	31.69	52.0	100.0
145M9	0.75	86.9	FA37GDT80N4	19.27	87.0	82.0
150M0	2.2	74.4	FA47GDV100M4	21.82	78.0	270.0
150M1	1.5	64.8	FA47GDT90L4	25.72	66.0	215.0
150M2	1.5	64.8	FA47GDT90L4	25.72	66.0	215.0
150M3	2.2	74.9	FA47GDV100M4	21.82	78.0	270.0
150M4	1.5	64.8	FA47GDT90L4	25.72	66.0	215.0
150M5	2.2	64.8	FA47GDV100M4	25.72	66.0	315.0
150M6	2.2	74.9	FA47GDV100M4	21.82	78.0	270.0
150M7	1.5	64.8	FA47GDT90L4	25.72	66.0	215.0
155M0	2.2	74.9	FA47GDV100M4	21.82	78.0	270.0
155M1	1.5	64.8	FA47GDT90L4	25.72	66.0	215.0
155M2	1.5	64.8	FA47GDT90L4	25.72	66.0	215.0
155M3	1.1	87.9	FA47GDT90S4	19.70	86.0	122.0
155M4	2.2	74.9	FA47GDV100M4	21.82	78.0	270.0
155M5	2.2	74.9	FA47GDV100M4	21.82	78.0	270.0
155M6	1.5	61.6	FA47GDT90L4	25.72	66.0	215.0
155M7	1.1	76.8	FA47GDT90S4	21.82	78.0	135.0

Estos motorreductores serán accionados por variadores de velocidad, los cuales irán instalados en los tableros de mando y control. Los modelos de variadores de velocidad seleccionados son los Movitrac 07B, los cuales tienen control escalar y vectorial sensorless, función de auto-sintonización, pantalla remota de parametrización, además de contar con comunicación Profibus.

Tabla 0-12: Lista de variadores de velocidad

Modelo	Cant
MC07B 0005-5A3-4-00	9
MC07B 0008-5A3-4-00	20
MC07B 0011-5A3-4-00	6
MC07B 0015-5A3-4-00	12
MC07B 0022-5A3-4-00	7

Para el cableado entre cada variador de velocidad y su prespectivo motorreductor se usará cable de PVC AWG14. Los variadores de velocidad necesitan protección contra las interferencias de la línea de fuerza, así como la emisión de dichas interferencias hacia la línea, además de los armónicos.

Por ello los variadores de velocidad tendrán un filtro NF180-503 y una reactancia de línea ND200-0033 para proteger a todos los variadores de velocidad.

Asimismo, en el tablero de mando y control es necesario que se instalen todas las protecciones eléctricas adicionales como relés térmicos y fusibles, así como protecciones contra la polución, además de estar lo suficientemente ventiladas para evitar que los variadores de velocidad se sobrecalienten.

Los variadores de velocidad, se comunican por medio del protocolo Profibus con el PLC Siemens S7-300.

Para realizar la automatización de la línea es necesario tener la realimentación del estado del transporte de las cajas de botellas, por lo que se hace necesario el uso de sensores reflectivos en diversos puntos en la línea.

Estos sensores se conectarán a las entradas digitales del módulo remoto ET 200M de entradas/salidas digitales. En total se utilizan 60 sensores en el transporte de cajas de botellas.

Finalmente, la lista de equipos a adquirir sería la siguiente:

Tabla 0-13: Lista de Equipos

Modelo	Ratio	Cant
FA37GDT80K4	17.03	4
FA37GDT80K4	47.02	2
FA37GDT80K4	23.88	1
FA37GDT80K4	15.81	1
FA37GDT80K4	31.69	1
FA37GDT80N4	19.27	9
FA37GDT80N4	28.09	6
FA37GDT80N4	17.03	4
FA37GDT80N4	20.57	1
FA47GDT90L4	25.72	9
FA47GDT90L4	21.82	2
FA47GDT90L4	19.7	1
FA47GDT90S4	21.82	3
FA47GDT90S4	25.72	2
FA47GDT90S4	19.7	1
FA47GDV100M4	21.82	6
FA47GDV100M4	25.72	1
MC07B 0005-5A3-4-00		9
MC07B 0008-5A3-4-00		20
MC07B 0011-5A3-4-00		6
MC07B 0015-5A3-4-00		12
MC07B 0022-5A3-4-00		7
Reactancia ND200-0033		1
Filtro NF180-503		1
Modulo E/S ET 200M		1

3.4.4. Opción D: Motorreductores Cónico-Helicoidales

La selección de los motorreductores con engranajes cónico-helicoidales, se realiza en función de las potencias recomendadas por los diseñadores.

La velocidad seleccionada es superior a la velocidad nominal requerida a fin que el diseño tenga la suficiente holgura para subir la producción en caso de ser necesario.

Tabla 0-14: Selección de motorreductores Cónico-Helicoidal

			Motorreductor Cónico-Helicoidal			
Código	Potencia [kW]	Velocidad [rpm]	Modelo	Ratio	Velocidad [rpm]	Torque [Nm]
135M0	0.75	87.9	KA37TDT80N4	17.15	98.0	73.0
130M0	0.75	87.9	KA37TDT80N4	17.15	98.0	73.0
130M1	0.55	87.9	KA37TDT80K4	17.15	97.0	54.0
135M1	0.55	87.9	KA37TDT80K4	17.15	97.0	54.0
130M2	0.75	87.9	KA37TDT80N4	17.15	98.0	73.0
135M2	0.75	87.9	KA37TDT80N4	17.15	98.0	73.0
130M3	1.5	64.0	KA47TDT90L4	25.91	66.0	220.0
135M3	1.5	64.0	KA47TDT90L4	25.91	66.0	220.0
130M4	1.5	73.2	KA47TDT90L4	21.81	78.0	181.0
135M4	1.5	73.2	KA47TDT90L4	21.81	78.0	181.0
130M5	0.75	56.9	KA37TDT80N4	28.83	58.0	123.0
135M5	0.75	56.9	KA37TDT80N4	28.83	58.0	123.0
130M6	1.1	73.2	KA47TDT90S4	21.81	78.0	135.0
135M6	1.1	73.2	KA47TDT90S4	21.81	78.0	135.0
130M7	1.1	64.0	KA47TDT90S4	25.91	66.0	160.0
135M7	1.1	64.0	KA47TDT90S4	25.91	66.0	160.0
130M8	0.75	56.9	KA37TDT80N4	28.83	58.0	123.0
135M8	0.75	56.9	KA37TDT80N4	28.83	58.0	123.0
140M0	0.75	56.9	KA37TDT80N4	28.83	58.0	123.0
140M1	0.75	56.9	KA37TDT80N4	28.83	58.0	123.0
140M2	0.75	85.5	KA37TDT80N4	17.15	98.0	73.0
140M3	0.75	85.5	KA37TDT80N4	17.15	98.0	73.0
140M4	0.55	33.3	KA37TDT80K4	49.79	33.0	157.0
140M5	0.55	33.3	KA37TDT80K4	49.79	33.0	157.0
140M6	0.55	85.0	KA37TDT80K4	17.15	97.0	54.0
140M7	0.55	85.5	KA37TDT80K4	17.15	97.0	54.0
140M8	1.5	85.5	KA47TDT90L4	19.58	87.0	164.0
140M9	0.75	85.5	KA37TDT80N4	17.15	98.0	73.0
145M0	0.75	99.5	KA37TDT80N4	17.15	98.0	73.0
145M1	0.75	99.5	KA37TDT80N4	17.15	98.0	73.0
145M2	0.75	99.5	KA37TDT80N4	17.15	98.0	73.0
145M3	0.55	66.5	KA37TDT80K4	24.99	66.0	79.0
145M4	0.55	99.5	KA37TDT80K4	15.31	108.0	48.0
145M5	0.75	99.5	KA37TDT80N4	17.15	98.0	73.0
145M6	0.75	74.4	KA37TDT80N4	23.36	72.0	99.0
145M7	0.75	86.9	KA37TDT80N4	17.15	98.0	73.0
145M8	0.55	51.2	KA37TDT80K4	29.96	55.0	95.0
145M9	0.75	86.9	KA37TDT80N4	17.15	98.0	73.0
150M0	2.2	74.4	KA47TDV100M4	21.81	78.0	270.0
150M1	1.5	64.8	KA47TDT90L4	25.91	66.0	220.0
150M2	1.5	64.8	KA47TDT90L4	25.91	66.0	220.0
150M3	2.2	74.9	KA47TDV100M4	21.81	78.0	270.0
150M4	1.5	64.8	KA47TDT90L4	25.91	66.0	220.0

150M5	2.2	64.8	KA47TDV100M4	25.91	66.0	315.0
150M6	2.2	74.9	KA47TDV100M4	21.81	78.0	270.0
150M7	1.5	64.8	KA47TDT90L4	25.91	66.0	220.0
155M0	2.2	74.9	KA47TDV100M4	21.81	78.0	270.0
155M1	1.5	64.8	KA47TDT90L4	25.91	66.0	220.0
155M2	1.5	64.8	KA47TDT90L4	25.91	66.0	220.0
155M3	1.1	87.9	KA47TDT90S4	19.58	87.0	121.0
155M4	2.2	74.9	KA47TDV100M4	21.81	78.0	270.0
155M5	2.2	74.9	KA47TDV100M4	21.81	78.0	270.0
155M6	1.5	61.6	KA47TDT90L4	25.91	66.0	220.0
155M7	1.1	76.8	KA47TDT90S4	21.81	78.0	135.0

Estos motorreductores serán accionados por variadores de velocidad, los cuales irán instalados en los tableros de mando y control. Los modelos de variadores de velocidad seleccionados son los Movitrac 07B, los cuales tienen control escalar y vectorial sensorless, función de auto-sintonización, pantalla remota de parametrización, además de contar con comunicación Profibus (opcional). La selección de los variadores de velocidad se hace en función de la potencia nominal de cada uno de los motorreductores a utilizarse en la línea.

Tabla 0-15: Lista de variadores de velocidad

Modelo	Cant
MC07B 0005-5A3-4-00	9
MC07B 0008-5A3-4-00	20
MC07B 0011-5A3-4-00	6
MC07B 0015-5A3-4-00	12
MC07B 0022-5A3-4-00	7

Para el cableado entre cada variador de velocidad y su prespectivo motorreductor se usará cable de PVC AWG14. Los variadores de velocidad necesitan protección contra las interferencias de la línea de fuerza, así como la emisión de dichas interferencias hacia la línea,

además de los armónicos. Por ello los variadores de velocidad tendrán un filtro NF180-503 y una reactancia de línea ND200-0033 para proteger a todos los variadores de velocidad. Asimismo, en el tablero de mando y control es necesario que se instalen todas las protecciones eléctricas adicionales como relés térmicos y fusibles, así como protecciones contra la polución, además de estar lo suficientemente ventiladas para evitar que los variadores de velocidad se sobrecalienten.

Los variadores de velocidad, se comunican por medio del protocolo Profibus con el PLC Siemens S7-300.

Para realizar la automatización de la línea es necesario tener la realimentación del estado del transporte de las cajas de botellas, por lo que se hace necesario el uso de sensores reflectivos en diversos puntos en la línea. Estos sensores se conectarán a las entradas digitales del módulo remoto ET 200M de entradas/salidas digitales. En total se utilizan 60 sensores en el transporte de cajas de botellas.

Finalmente, la lista de equipos a adquirir sería la siguiente:

Tabla 0-16: Lista de Equipos

Modelo	Ratio	Cant
KA37TDT80K4	17.15	4
KA37TDT80K4	49.79	2
KA37TDT80K4	24.99	1
KA37TDT80K4	15.31	1
KA37TDT80K4	29.96	1
KA37TDT80N4	17.15	13
KA37TDT80N4	28.83	6
KA37TDT80N4	23.36	1
KA47TDT90L4	25.91	9
KA47TDT90L4	21.81	2
KA47TDT90L4	19.58	1

KA47TDT90S4	21.81	3
KA47TDT90S4	25.91	2
KA47TDT90S4	19.58	1
KA47TDV100M4	25.91	1
KA47TDV100M4	21.81	6
MC07B 0005-5A3-4-00		9
MC07B 0008-5A3-4-00		20
MC07B 0011-5A3-4-00		6
MC07B 0015-5A3-4-00		12
MC07B 0022-5A3-4-00		7
Reactancia ND200-0033		1
Filtro NF180-503		1
Modulo E/S ET 200M		1

3.5. EFICIENCIA DE LOS ACCIONAMIENTOS

El análisis de eficiencia de los accionamientos nos ayuda a determinar cuál de los diferentes tipos de accionamientos es el más adecuado para la línea de transportadores de cajas de botellas.

Para el análisis es necesario establecer cuál es el punto de operación en el cual se realizara el estudio, el punto de operación corresponde a la velocidad a la que se mueve el accionamiento, así como la carga que mueve (torque). Las velocidades han sido seleccionadas por los diseñadores, en función al funcionamiento típico de los transportadores, y las cargas han sido calculadas para los casos en el cual el transportador está totalmente vacío (sin cajas) y cuando el transportador esta a plena carga (lleno de cajas).

Los valores de las eficiencias en función de los puntos de operación han sido proporcionados por el proveedor de los accionamientos en cada caso, dichas eficiencias son globales e incluyen reductor, motor y variador de velocidad.

A continuación se muestran las tablas con las eficiencias y las potencias consumidas por cada uno de los accionamientos:

Tabla 0-17: Eficiencia de Accionamientos MOVIGEAR

Motor	Punto Operación			MOVIGEAR					
	V_{RPM} [rpm]	T_{min} [Nm]	$T_{máx}$ [Nm]	Talla	Ratio	η_{min} [%]	P_{min} [kW]	$\eta_{máx}$ [%]	$P_{máx}$ [kW]
130M0	133	4	27	MG2	13.6	34%	0.16	74%	0.51
130M1	74	3	18	MG2	13.6	26%	0.09	64%	0.22
130M2	140	4	28	MG2	13.6	34%	0.17	75%	0.55
130M3	87	8	67	MG4	17.3	42%	0.17	82%	0.74
130M4	84	9	79	MG4	17.3	45%	0.18	83%	0.83
130M5	65	3	18	MG2	18.5	21%	0.10	60%	0.21
130M6	52	5	42	MG4	17.3	30%	0.09	74%	0.31
130M7	35	6	49	MG4	17.3	31%	0.07	73%	0.25
130M8	37	3	23	MG2	13.6	20%	0.06	60%	0.15
135M0	118	3	22	MG2	13.6	28%	0.13	71%	0.39
135M1	74	3	18	MG2	13.6	26%	0.09	64%	0.22
135M2	140	4	28	MG2	13.6	34%	0.17	75%	0.55
135M3	87	9	78	MG4	17.3	45%	0.18	83%	0.85
135M4	84	9	79	MG4	17.3	45%	0.18	83%	0.83
135M5	65	3	18	MG2	18.5	21%	0.10	60%	0.21
135M6	47	4	31	MG4	17.3	25%	0.08	69%	0.22
135M7	47	5	38	MG4	17.3	29%	0.08	72%	0.26
135M8	37	3	23	MG2	13.6	20%	0.06	60%	0.15
140M0	87	3	6	MG2	18.5	22%	0.12	36%	0.15
140M1	87	3	6	MG2	18.5	22%	0.12	36%	0.15
140M2	103	8	18	MG2	13.6	49%	0.18	67%	0.29
140M3	81	7	15	MG2	13.6	45%	0.13	61%	0.21
140M4	74	3	5	MG2	13.6	26%	0.09	36%	0.11
140M5	74	3	5	MG2	13.6	26%	0.09	36%	0.11
140M6	103	3	6	MG2	13.6	27%	0.12	42%	0.15
140M7	118	4	8	MG2	13.6	34%	0.15	50%	0.20
140M8	76	11	25	MG4	17.3	49%	0.18	67%	0.30
140M9	92	6	12	MG2	18.5	36%	0.16	52%	0.22
145M0	71	6	12	MG2	18.5	35%	0.13	51%	0.17
145M1	74	5	11	MG2	13.6	36%	0.11	54%	0.16
145M2	59	5	11	MG2	13.6	34%	0.09	52%	0.13
145M3	74	3	5	MG2	13.6	26%	0.09	36%	0.11
145M4	133	1	3	MG2	13.6	12%	0.12	28%	0.15
145M5	148	4	8	MG2	13.6	34%	0.18	50%	0.25
145M6	103	10	21	MG2	18.5	48%	0.22	65%	0.35
145M7	103	9	19	MG2	18.5	46%	0.21	63%	0.33
145M8	98	3	5	MG2	18.5	22%	0.14	32%	0.16
145M9	133	5	11	MG2	13.6	39%	0.18	58%	0.27
150M0	87	5	76	MG4	19.7	29%	0.16	82%	0.84

150M1	97	4	60	MG4	19.7	25%	0.16	80%	0.76
150M2	72	5	77	MG4	19.7	29%	0.13	82%	0.71
150M3	77	9	136	MG4	19.7	42%	0.17	86%	1.27
150M4	65	3	35	MG2	18.5	21%	0.10	71%	0.34
150M5	66	5	78	MG4	17.3	31%	0.11	82%	0.65
150M6	67	9	135	MG4	19.7	42%	0.15	86%	1.10
150M7	65	3	35	MG2	18.5	21%	0.10	71%	0.34
155M0	87	7	102	MG4	17.3	39%	0.16	85%	1.09
155M1	65	2	26	MG2	18.5	15%	0.09	67%	0.27
155M2	92	1	17	MG2	18.5	9%	0.11	60%	0.27
155M3	150	3	42	MG2	13.6	28%	0.17	79%	0.84
155M4	87	8	131	MG4	19.7	40%	0.18	87%	1.38
155M5	87	8	118	MG4	19.7	40%	0.18	86%	1.25
155M6	47	2	28	MG4	17.3	14%	0.07	67%	0.21
155M7	47	2	25	MG4	17.3	14%	0.07	65%	0.19
						ΣP_{min}	7.09	$\Sigma P_{máx}$	22.88

Tabla 0-18: Eficiencia de Motorreductores Sinfín Corona

Motor	Punto Operación			Motorreductor Sinfín Corona					
	V_{RPM} [rpm]	T_{min} [Nm]	$T_{máx}$ [Nm]	Modelo	Ratio	η_{min} [%]	P_{min} [kW]	$\eta_{máx}$ [%]	$P_{máx}$ [kW]
130M0	133	4	27	SA47TDT80N4	17.62	23%	0.24	57%	0.66
130M1	74	3	18	SA47TDT80K4	17.6	16%	0.15	46%	0.30
130M2	140	4	28	SA47TDT80N4	17.62	23%	0.25	57%	0.72
130M3	87	8	67	SA57TDT90L4	24.8	22%	0.34	58%	1.06
130M4	84	9	79	SA57TDT90L4	23.2	24%	0.32	60%	1.16
130M5	65	3	18	SA47TDT80N4	29.00	12%	0.17	40%	0.31
130M6	52	5	42	SA57TDT90S4	23.2	17%	0.16	53%	0.43
130M7	35	6	49	SA57TDT90S4	24.8	18%	0.12	53%	0.34
130M8	37	3	23	SA47TDT80N4	29.00	11%	0.10	42%	0.21
135M0	118	3	22	SA47TDT80N4	17.62	18%	0.20	54%	0.50
135M1	74	3	18	SA47TDT80K4	17.6	16%	0.15	46%	0.30
135M2	140	4	28	SA47TDT80N4	17.62	23%	0.25	57%	0.72
135M3	87	9	78	SA57TDT90L4	24.8	24%	0.35	59%	1.20
135M4	84	9	79	SA57TDT90L4	23.2	24%	0.32	60%	1.16
135M5	65	3	18	SA47TDT80N4	29.00	12%	0.17	40%	0.31
135M6	47	4	31	SA57TDT90S4	23.2	14%	0.14	48%	0.32
135M7	47	5	38	SA57TDT90S4	24.8	16%	0.15	51%	0.37
135M8	37	3	23	SA47TDT80N4	29.00	11%	0.10	42%	0.21
140M0	87	3	6	SA47TDT80N4	29.00	12%	0.22	21%	0.26
140M1	87	3	6	SA47TDT80N4	29.00	12%	0.22	21%	0.26
140M2	103	8	18	SA47TDT80N4	20.33	33%	0.26	49%	0.40
140M3	81	7	15	SA47TDT80N4	20.33	30%	0.20	45%	0.28
140M4	74	3	5	SA47TDT80K4	47.3	12%	0.20	17%	0.22
140M5	74	3	5	SA47TDT80K4	47.3	12%	0.20	17%	0.22

140M6	103	3	6	SA47TDT80K4	17.6	16%	0.20	27%	0.24
140M7	118	4	8	SA47TDT80K4	17.6	20%	0.24	33%	0.30
140M8	76	11	25	SA57TDT90L4	19.5	31%	0.29	46%	0.43
140M9	92	6	12	SA47TDT80N4	20.33	27%	0.21	41%	0.28
145M0	71	6	12	SA47TDT80N4	16.47	30%	0.15	43%	0.21
145M1	74	5	11	SA47TDT80N4	16.47	27%	0.15	42%	0.20
145M2	59	5	11	SA47TDT80N4	16.47	26%	0.12	41%	0.17
145M3	74	3	5	SA47TDT80K4	24.8	12%	0.19	18%	0.21
145M4	133	1	3	SA47TDT80K4	16.5	7%	0.21	17%	0.24
145M5	148	4	8	SA47TDT80N4	16.47	24%	0.25	37%	0.33
145M6	103	10	21	SA47TDT80N4	23.20	33%	0.32	46%	0.49
145M7	103	9	19	SA47TDT80N4	20.33	35%	0.28	50%	0.41
145M8	98	3	5	SA47TDT80K4	32.5	14%	0.23	20%	0.25
145M9	133	5	11	SA47TDT80N4	20.33	26%	0.27	41%	0.37
150M0	87	5	76	SA67TDV100M4	23.3	14%	0.33	60%	1.16
150M1	97	4	60	SA57TDT90L4	24.8	13%	0.32	57%	1.08
150M2	72	5	77	SA57TDT90L4	24.8	15%	0.25	59%	0.98
150M3	77	9	136	SA67TDV100M4	23.3	21%	0.34	65%	1.69
150M4	65	3	35	SA57TDT90L4	24.8	10%	0.21	48%	0.50
150M5	66	5	78	SA67TDV100M4	26.9	12%	0.29	58%	0.93
150M6	67	9	135	SA67TDV100M4	23.3	21%	0.30	65%	1.46
150M7	65	3	35	SA57TDT90L4	24.8	10%	0.21	48%	0.50
155M0	87	7	102	SA67TDV100M4	23.3	18%	0.36	63%	1.48
155M1	65	2	26	SA57TDT90L4	24.8	7%	0.20	43%	0.41
155M2	92	1	17	SA57TDT90L4	24.8	4%	0.27	35%	0.47
155M3	150	3	42	SA57TDT90S4	19.5	17%	0.28	58%	1.13
155M4	87	8	131	SA67TDV100M4	23.3	20%	0.37	65%	1.84
155M5	87	8	118	SA67TDV100M4	23.3	20%	0.37	64%	1.68
155M6	47	2	28	SA57TDT90L4	24.8	6%	0.15	43%	0.32
155M7	47	2	25	SA57TDT90S4	23.2	8%	0.13	45%	0.28
						ΣP_{min}	**12.51**	$\Sigma P_{máx}$	**31.95**

Tabla 0-19: Eficiencia de Motorreductores Helicoidales

Motor	Punto Operación			Motorreductor Helicoidal					
	V_{RPM} [rpm]	T_{min} [Nm]	$T_{máx}$ [Nm]	Modelo	Ratio	η_{min} [%]	P_{min} [kW]	$\eta_{máx}$ [%]	$P_{máx}$ [kW]
130M0	133	4	27	FA37GDT80N4	19.27	22%	0.25	60%	0.63
130M1	74	3	18	FA37GDT80K4	17.0	16%	0.14	50%	0.28
130M2	140	4	28	FA37GDT80N4	19.27	23%	0.25	61%	0.67
130M3	87	8	67	FA47GDT90L4	25.7	22%	0.33	65%	0.94
130M4	84	9	79	FA47GDT90L4	21.8	27%	0.30	69%	1.01
130M5	65	3	18	FA37GDT80N4	28.09	13%	0.16	44%	0.28
130M6	52	5	42	FA47GDT90S4	21.8	18%	0.15	60%	0.38
130M7	35	6	49	FA47GDT90S4	25.7	18%	0.12	60%	0.30
130M8	37	3	23	FA37GDT80N4	28.09	12%	0.10	47%	0.19

135M0	118	3	22	FA37GDT80N4	19.27	18%	0.21	56%	0.48
135M1	74	3	18	FA37GDT80K4	17.0	16%	0.14	50%	0.28
135M2	140	4	28	FA37GDT80N4	19.27	23%	0.25	61%	0.67
135M3	87	9	78	FA47GDT90L4	25.7	24%	0.34	67%	1.06
135M4	84	9	79	FA47GDT90L4	21.8	27%	0.30	69%	1.01
135M5	65	3	18	FA37GDT80N4	28.09	13%	0.16	44%	0.28
135M6	47	4	31	FA47GDT90S4	21.8	15%	0.13	55%	0.28
135M7	47	5	38	FA47GDT90S4	25.7	16%	0.15	56%	0.33
135M8	37	3	23	FA37GDT80N4	28.09	12%	0.10	47%	0.19
140M0	87	3	6	FA37GDT80N4	28.09	13%	0.21	23%	0.24
140M1	87	3	6	FA37GDT80N4	28.09	13%	0.21	23%	0.24
140M2	103	8	18	FA37GDT80N4	19.27	35%	0.25	52%	0.37
140M3	81	7	15	FA37GDT80N4	19.27	32%	0.19	48%	0.27
140M4	74	3	5	FA37GDT80K4	47.0	12%	0.20	18%	0.22
140M5	74	3	5	FA37GDT80K4	47.0	12%	0.20	18%	0.22
140M6	103	3	6	FA37GDT80K4	17.0	17%	0.19	28%	0.23
140M7	118	4	8	FA37GDT80K4	17.0	21%	0.23	34%	0.29
140M8	76	11	25	FA47GDT90L4	19.7	32%	0.27	51%	0.39
140M9	92	6	12	FA37GDT80N4	19.27	29%	0.20	44%	0.27
145M0	71	6	12	FA37GDT80N4	17.03	30%	0.15	45%	0.20
145M1	74	5	11	FA37GDT80N4	17.03	27%	0.14	43%	0.20
145M2	59	5	11	FA37GDT80N4	17.03	26%	0.12	42%	0.16
145M3	74	3	5	FA37GDT80K4	23.9	13%	0.18	19%	0.20
145M4	133	1	3	FA37GDT80K4	15.8	7%	0.20	18%	0.23
145M5	148	4	8	FA37GDT80N4	17.03	24%	0.25	38%	0.32
145M6	103	10	21	FA37GDT80N4	20.57	39%	0.28	54%	0.42
145M7	103	9	19	FA37GDT80N4	19.27	38%	0.26	53%	0.38
145M8	98	3	5	FA37GDT80K4	31.7	14%	0.23	21%	0.25
145M9	133	5	11	FA37GDT80N4	19.27	26%	0.27	43%	0.36
150M0	87	5	76	FA47GDV100M4	21.8	15%	0.31	67%	1.03
150M1	97	4	60	FA47GDT90L4	25.7	13%	0.32	63%	0.96
150M2	72	5	77	FA47GDT90L4	25.7	15%	0.25	67%	0.87
150M3	77	9	136	FA47GDV100M4	21.8	23%	0.31	74%	1.49
150M4	65	3	35	FA47GDT90L4	25.7	9%	0.22	52%	0.46
150M5	66	5	78	FA47GDV100M4	25.7	13%	0.27	65%	0.83
150M6	67	9	135	FA47GDV100M4	21.8	23%	0.27	74%	1.29
150M7	65	3	35	FA47GDT90L4	25.7	9%	0.22	52%	0.46
155M0	87	7	102	FA47GDV100M4	21.8	19%	0.33	71%	1.31
155M1	65	2	26	FA47GDT90L4	25.7	7%	0.21	46%	0.39
155M2	92	1	17	FA47GDT90L4	25.7	3%	0.28	37%	0.44
155M3	150	3	42	FA47GDT90S4	19.7	17%	0.27	67%	0.99
155M4	87	8	131	FA47GDV100M4	21.8	21%	0.34	74%	1.62
155M5	87	8	118	FA47GDV100M4	21.8	21%	0.34	73%	1.48
155M6	47	2	28	FA47GDT90L4	25.7	6%	0.16	47%	0.30
155M7	47	2	25	FA47GDT90S4	21.8	8%	0.12	50%	0.25
						$\Sigma P_{mín}$	**12.04**	$\Sigma P_{máx}$	**28.86**

Tabla 0-20: Eficiencia de Motorreductores Cónico-Helicoidal

Motor	Punto Operación			Motorreductor Cónico-Helicoidal					
	V_{RPM} [rpm]	$T_{mín}$ [Nm]	$T_{máx}$ [Nm]	Modelo	Ratio	$\eta_{mín}$ [%]	$P_{mín}$ [kW]	$\eta_{máx}$ [%]	$P_{máx}$ [kW]
130M0	133	4	27	KA37TDT80N4	17.15	24%	0.23	60%	0.62
130M1	74	3	18	KA37TDT80K4	17.2	16%	0.14	49%	0.29
130M2	140	4	28	KA37TDT80N4	17.15	24%	0.24	61%	0.68
130M3	87	8	67	KA47TDT90L4	25.9	22%	0.34	64%	0.96
130M4	84	9	79	KA47TDT90L4	21.8	27%	0.30	68%	1.02
130M5	65	3	18	KA37TDT80N4	28.83	12%	0.17	43%	0.28
130M6	52	5	42	KA47TDT90S4	21.8	18%	0.15	60%	0.38
130M7	35	6	49	KA47TDT90S4	25.9	18%	0.12	59%	0.31
130M8	37	3	23	KA37TDT80N4	28.83	11%	0.10	46%	0.19
135M0	118	3	22	KA37TDT80N4	17.15	19%	0.19	57%	0.48
135M1	74	3	18	KA37TDT80K4	17.2	16%	0.14	49%	0.29
135M2	140	4	28	KA37TDT80N4	17.15	24%	0.24	61%	0.68
135M3	87	9	78	KA47TDT90L4	25.9	24%	0.35	66%	1.08
135M4	84	9	79	KA47TDT90L4	21.8	27%	0.30	68%	1.02
135M5	65	3	18	KA37TDT80N4	28.83	12%	0.17	43%	0.28
135M6	47	4	31	KA47TDT90S4	21.8	15%	0.13	54%	0.28
135M7	47	5	38	KA47TDT90S4	25.9	16%	0.15	55%	0.34
135M8	37	3	23	KA37TDT80N4	28.83	11%	0.10	46%	0.19
140M0	87	3	6	KA37TDT80N4	28.83	13%	0.22	22%	0.25
140M1	87	3	6	KA37TDT80N4	28.83	13%	0.22	22%	0.25
140M2	103	8	18	KA37TDT80N4	17.15	37%	0.23	53%	0.36
140M3	81	7	15	KA37TDT80N4	17.15	33%	0.18	49%	0.26
140M4	74	3	5	KA37TDT80K4	49.8	12%	0.19	19%	0.21
140M5	74	3	5	KA37TDT80K4	49.8	12%	0.19	19%	0.21
140M6	103	3	6	KA37TDT80K4	17.2	17%	0.19	28%	0.23
140M7	118	4	8	KA37TDT80K4	17.2	21%	0.23	34%	0.29
140M8	76	11	25	KA47TDT90L4	19.6	32%	0.27	50%	0.40
140M9	92	6	12	KA37TDT80N4	17.15	31%	0.19	45%	0.26
145M0	71	6	12	KA37TDT80N4	17.15	30%	0.15	44%	0.20
145M1	74	5	11	KA37TDT80N4	17.15	27%	0.15	43%	0.20
145M2	59	5	11	KA37TDT80N4	17.15	26%	0.12	42%	0.16
145M3	74	3	5	KA37TDT80K4	25.0	12%	0.19	19%	0.21
145M4	133	1	3	KA37TDT80K4	15.3	7%	0.19	19%	0.23
145M5	148	4	8	KA37TDT80N4	17.15	24%	0.26	38%	0.33
145M6	103	10	21	KA37TDT80N4	23.36	36%	0.30	51%	0.44
145M7	103	9	19	KA37TDT80N4	17.15	39%	0.25	54%	0.38
145M8	98	3	5	KA37TDT80K4	30.0	13%	0.24	20%	0.26
145M9	133	5	11	KA37TDT80N4	17.15	28%	0.25	44%	0.35
150M0	87	5	76	KA47TDV100M4	21.8	15%	0.31	66%	1.05
150M1	97	4	60	KA47TDT90L4	25.9	12%	0.33	62%	0.98
150M2	72	5	77	KA47TDT90L4	25.9	15%	0.26	66%	0.89
150M3	77	9	136	KA47TDV100M4	21.8	23%	0.31	72%	1.52
150M4	65	3	35	KA47TDT90L4	25.9	9%	0.22	51%	0.46

150M5	66	5	78	KA47TDV100M4	25.9	13%	0.28	64%	0.85
150M6	67	9	135	KA47TDV100M4	21.8	23%	0.28	72%	1.31
150M7	65	3	35	KA47TDT90L4	25.9	9%	0.22	51%	0.46
155M0	87	7	102	KA47TDV100M4	21.8	19%	0.33	70%	1.33
155M1	65	2	26	KA47TDT90L4	25.9	6%	0.21	45%	0.39
155M2	92	1	17	KA47TDT90L4	25.9	3%	0.28	36%	0.45
155M3	150	3	42	KA47TDT90S4	19.6	17%	0.28	66%	1.01
155M4	87	8	131	KA47TDV100M4	21.8	21%	0.34	72%	1.65
155M5	87	8	118	KA47TDV100M4	21.8	21%	0.34	71%	1.51
155M6	47	2	28	KA47TDT90L4	25.9	6%	0.16	46%	0.30
155M7	47	2	25	KA47TDT90S4	21.8	8%	0.12	50%	0.25
						ΣP_{min}	**12.02**	$\Sigma P_{máx}$	**29.22**

Resumiendo las tablas anteriores podemos encontrar lo siguiente.

Tabla 0-21: Potencias y Eficiencias consumidas

	Potencia Consumida		Eficiencia (*)	
	En Vacio	A Plena Carga	En Vacio	A Plena Carga
MOVIGEAR	7.09 kW	22.88 kW	-	-
Motorreductor Sinfín Corona	12.51 kW	31.95 kW	43.3%	28.4%
Motorreductor Helicoidal	12.04 kW	28.86 kW	41.1%	20.7%
Motorreductor Cónico-helicoidal	12.02 kW	29.22 kW	41.0%	21.7%

(*) Los valores de eficiencia son resultado de la comparación entre los motorreductores y el accionamiento MOVIGEAR.

De los resultados observados podemos notar que los accionamientos MOVIGEAR mejoran la eficiencia del sistema entre 20% y 43%, dependiendo si los transportadores están en vacio ó si están a plena carga.

3.6. RESUMEN TÉCNICO

- Del tipo de montaje: El usar motorreductores de eje hueco para montaje al eje de la máquina, es más eficiente que los diferentes tipos de montaje existentes (por piñones y cadenas, engranajes, fajas y poleas ó ejes cardánicos, etc.), ya que permiten una transmisión de potencia directa sin pérdidas de energía. Además, reducen los posibles problemas de vibración que se pudiese generar por des alineamientos ó desbalances producidos por un mal montaje.
- Del tipo de engranajes: El tipo de engranajes más eficiente en este tipo de aplicación son los engranajes helicoidales o cónico-helicoidales; y eso lo podemos corroborar en la comparación de eficiencias entre los motorreductores.
- Del tipo de accionamiento: Los tipos de accionamientos recomendados son los MOVIGEAR, debido a la alta eficiencia que puede lograr, gran reducción en la cantidad de modelos de equipos (reducción en la cantidad piezas de repuestos), mejor grado de protección (IP65) y capacidad de poder usar entradas/salidas digitales remotas en campo sin necesidad de características adicionales.

Finalmente, se puede concluir que los accionamientos recomendados son los MOVIGEAR y los motorreductores de engranajes helicoidales con eje hueco.

CAPÍTULO IV.

Análisis Económico

El análisis económico abarca los costos de equipamiento (accionamiento y variadores de velocidad), costo de tableros (incluyendo sus accesorios), cableado de fuerza y de control y el costo de la mano de obra involucrada.

Este análisis es principalmente comparativo por lo que obviarán los costos comunes para las diferentes opciones analizadas.

Los costos analizados son estimados y proporcionales a precios reales del mercado, dichos precios se mostraran en dólares americanos sin incluir IGV.

Las opciones analizadas comprenden:

- Opción A: Accionamiento MOVIGEAR de ejes paralelos con eje hueco, en topología de red SNI, para comunicarse por medio de Ethernet. Comandado por un PLC Siemens S7-300, con comunicación Profibus a gateways Ethernet.
- Opción B: Motorreductor de engranajes sinfín corona de ejes ortogonales con eje hueco, accionados por variadores de frecuencia con comunicación Profibus. Comandados por un PLC Siemens S7-300, con comunicación Profibus y módulos remotos de I/O.
- Opción C: Motorreductor de engranajes helicoidales de ejes paralelos con eje hueco, accionados por variadores de frecuencia con comunicación

Profibus. Comandados por un PLC Siemens S7-300, con comunicación Profibus y módulos remotos de I/O.

- Opción D: Motorreductor de engranajes cónico-helicoidal de ejes ortogonales con eje hueco, accionados por variadores de frecuencia con comunicación Profibus. Comandados por un PLC Siemens S7-300, con comunicación Profibus y módulos remotos de I/O.

4.1. COSTOS DE EQUIPAMIENTO

Los costos de equipamiento solo incluyen el accionamiento (MOVIGEAR ó motorreductor) y el controlador MOVIFIT, ya que este va instalado en campo y no en un tablero como los variadores de velocidad.

Tabla 0-1: Opción A: Equipamiento MOVIGEAR

Modelo	Ratio	Cant	USD/unit	P. Total
MGFAT2-DSN-SNI	18.52	13	$ 1,974.00	$ 25,662.00
MGFAT2-DSN-SNI	13.60	21	$ 1,974.00	$ 41,454.00
MGFAT4-DSN-SNI	17.33	13	$ 2,340.00	$ 30,420.00
MGFAT4-DSN-SNI	19.70	7	$ 2,340.00	$ 16,380.00
MOVIFIT-SNI		6	$ 1,548.00	$ 9,288.00
			Total	**$ 123,204.00**

Tabla 0-2: Opción B: Equipamiento Motorreductor Sinfín Corona

Modelo	Ratio	Cant	USD/unit	P. Total
SA47TDT80K4	17.6	4	$ 830.90	$ 3,323.60
SA47TDT80K4	47.3	2	$ 830.90	$ 1,661.80
SA47TDT80K4	24.8	1	$ 830.90	$ 830.90
SA47TDT80K4	16.5	1	$ 830.90	$ 830.90
SA47TDT80K4	32.5	1	$ 830.90	$ 830.90
SA47TDT80N4	17.6	4	$ 855.74	$ 3,422.96
SA47TDT80N4	29	6	$ 855.74	$ 5,134.44
SA47TDT80N4	20.3	5	$ 855.74	$ 4,278.70
SA47TDT80N4	16.5	4	$ 855.74	$ 3,422.96
SA47TDT80N4	23.2	1	$ 855.74	$ 855.74
SA57TDT90L4	24.8	9	$ 1,037.06	$ 9,333.54
SA57TDT90L4	23.2	2	$ 1,037.06	$ 2,074.12

SA57TDT90L4	19.5	1	$ 1,037.06	$ 1,037.06
SA57TDT90S4	23.2	3	$ 998.56	$ 2,995.68
SA57TDT90S4	24.8	2	$ 998.56	$ 1,997.12
SA57TDT90S4	19.5	1	$ 998.56	$ 998.56
SA67TDV100M4	23.3	6	$ 1,289.20	$ 7,735.20
SA67TDV100M4	26.9	1	$ 1,289.20	$ 1,289.20
			Total	**$ 52,053.38**

Tabla 0-3: Opción C: Equipamiento Motorreductor Helicoidal

Modelo	Ratio	Cant	USD/unit	P. Total
FA37GDT80K4	17	4	$ 705.46	$ 2,821.84
FA37GDT80K4	47	2	$ 705.46	$ 1,410.92
FA37GDT80K4	23.9	1	$ 705.46	$ 705.46
FA37GDT80K4	15.8	1	$ 705.46	$ 705.46
FA37GDT80K4	31.7	1	$ 705.46	$ 705.46
FA37GDT80N4	19.3	9	$ 725.33	$ 6,527.97
FA37GDT80N4	28.1	6	$ 725.33	$ 4,351.98
FA37GDT80N4	17	4	$ 725.33	$ 2,901.32
FA37GDT80N4	20.6	1	$ 725.33	$ 725.33
FA47GDT90L4	25.7	9	$ 878.09	$ 7,902.81
FA47GDT90L4	21.8	2	$ 878.09	$ 1,756.18
FA47GDT90L4	19.7	1	$ 878.09	$ 878.09
FA47GDT90S4	21.8	3	$ 880.57	$ 2,641.71
FA47GDT90S4	25.7	2	$ 880.57	$ 1,761.14
FA47GDT90S4	19.7	1	$ 880.57	$ 880.57
FA47GDV100M4	21.8	6	$ 904.18	$ 5,425.08
FA47GDV100M4	25.7	1	$ 904.18	$ 904.18
			Total	**$ 43,005.50**

Tabla 0-4: Opción D: Equipamiento Motorreductor Cónico-Helicoidal

Modelo	Ratio	Cant	USD/unit	P. Total
KA37TDT80K4	17.15	4	$ 1,051.97	$ 4,207.88
KA37TDT80K4	49.79	2	$ 1,051.97	$ 2,103.94
KA37TDT80K4	24.99	1	$ 1,051.97	$ 1,051.97
KA37TDT80K4	15.31	1	$ 1,051.97	$ 1,051.97
KA37TDT80K4	29.96	1	$ 1,051.97	$ 1,051.97
KA37TDT80N4	17.15	13	$ 1,074.33	$ 13,966.29
KA37TDT80N4	28.83	6	$ 1,074.33	$ 6,445.98
KA37TDT80N4	23.36	1	$ 1,074.33	$ 1,074.33
KA47TDT90L4	25.91	9	$ 1,282.98	$ 11,546.82
KA47TDT90L4	21.81	2	$ 1,282.98	$ 2,565.96
KA47TDT90L4	19.58	1	$ 1,282.98	$ 1,282.98

KA47TDT90S4	21.81	3	$ 1,270.56	$ 3,811.68
KA47TDT90S4	25.91	2	$ 1,270.56	$ 2,541.12
KA47TDT90S4	19.58	1	$ 1,270.56	$ 1,270.56
KA47TDV100M4	25.91	1	$ 1,378.62	$ 1,378.62
KA47TDV100M4	21.81	6	$ 1,378.62	$ 8,271.72
			Total	$ 63,623.79

4.2. COSTOS DE VARIADORES DE VELOCIDAD

La opción A ya tiene incluidos los variadores de velocidad en los accionamientos MOVIGEAR. Los costos de los variadores de velocidad incluyen sus accesorios como teclado de programación remota y tarjeta de comunicación Profibus.

Tabla 0-5: Opción B, C y D: Variadores de Velocidad Motorreductores

Descripción	Cant	USD/unit	P. Total
MC07B 0005-5A3-4-00	9	$ 535.20	$ 4,816.80
MC07B 0008-5A3-4-00	20	$ 583.20	$ 11,664.00
MC07B 0011-5A3-4-00	6	$ 643.20	$ 3,859.20
MC07B 0015-5A3-4-00	12	$ 733.20	$ 8,798.40
MC07B 0022-5A3-4-00	7	$ 877.20	$ 6,140.40
		Total	$ 35,278.80

4.3. COSTOS DE TABLERO DE MANDO Y CONTROL

Los costos de los gabinetes incluyen los accesorios propios del gabinete como ventiladores, rejillas, etc. Asimismo, también incluye los componentes de fuerza (fusibles, relés térmicos, pulsadores, botoneras, rieles, etc.) y el cableado interno de fuerza y comunicación entre dispositivos.

En el caso del tablero para los accionamientos MOVIGEAR solo será necesario utilizar un gabinete en donde irán distribuidos la etapa de fuerza (incluyendo los filtros) y la etapa de control que incluye al PLC Siemens y el gateway.

Tabla 0-6: Opción A: Tablero MOVIGEAR

Descripción	Cant	USD/unit	P. Total
Gabinete y accesorios	1	$ 3,523.00	$ 3,523.00
Filtro NF018-503	6	$ 355.32	$ 2,131.92
Gateway UFF41B	3	$ 1,038.00	$ 3,114.00
		Total	**$ 8,768.92**

En el caso del tablero para los motorreductores será necesario utilizar 4 gabinetes, en el primero se instalará la etapa de control incluyendo, el PLC, el Modulo E/S y la etapa de fuerza (incluyendo el filtro y la reactancia de red). En los 3 gabinetes adicionales irán instalados los variadores velocidad en grupos de 20 variadores de velocidad por gabinete.

Tabla 0-7: Opción B, C y D: Tablero Motorreductores

Descripción	Cant	USD/unit	P. Total
Gabinete y accesorios	4	$ 3,523.00	$ 14,092.00
Reactancia ND200-0033	1	$ 434.70	$ 434.70
Filtro NF180-503	1	$ 1,804.32	$ 1,804.32
Modulo E/S ET 200M	1	$ 1,500.00	$ 1,500.00
		Total	**$ 17,831.02**

4.4. Costos de Cableado

El cálculo de la cantidad de metros de cable necesarios ha sido sacado del metrado, teniendo una protección del 40% para eventuales imprevistos. Se ha considerado el cableado de fuerza, así como el de los sensores y el de Ethernet (sólo para MOVIGEAR).

Tabla 0-8: Opción A: Cableado MOVIGEAR

Descripción	m	USD/m	P. Total
Cable AWG12 Apantallado	468	$ 6.11	$ 2,858.54
Cable Sensores	266	$ 2.12	$ 564.98
Cable Ethernet	202	$ 4.56	$ 921.12
		Total	**$ 4,344.65**

Tabla 0-9: Opción B, C y D: Cableado Motorreductores

Descripción	m	USD/m	P. Total
Cable AWG14	2734	$ 2.12	$ 5,807.02
Cable Sensores	2734	$ 2.12	$ 5,807.02
		Total	**$ 11,614.03**

4.5. Costos de Ingeniería e Instalación

Los costos de ingeniería se han tomado en función de la complejidad en la elaboración de la instalación, elaboración de planos de distribución, elaboración de planos de tableros y tiempo para la programación del sistema.

Los costos de instalación se han tomado en función de los tiempos necesarios para hacer los cableados de fuerza y control, así como la complejidad de la instalación de los tableros.

Tabla 0-10: Opción A: Ingenieria e Instalación MOVIGEAR

Descripción	hr/H	USD/hr	P. Total
Instalación			
Tablero	40	$ 10.00	$ 400.00
Cableado Fuerza	47	$ 7.00	$ 329.00
Cableado Sensores	14	$ 5.00	$ 70.00
Cableado Ethernet	11	$ 5.00	$ 55.00
Ingeniería			
Ingeniero	60	$ 40.00	$ 2,400.00
Dibujante	40	$ 20.00	$ 800.00
Programación	40	$ 30.00	$ 1,200.00
		Total	**$ 5,254.00**

Tabla 0-11: Opción B, C y D: Ingeniería e Instalación Motorreductores

Descripción	hr/H	USD/hr	P. Total
Instalación			
Tablero	200	$ 10.00	$ 2,000.00
Cableado Fuerza	274	$ 7.00	$ 1,918.00
Cableado Sensores	137	$ 5.00	$ 685.00

Ingeniería			
Ingeniero	120	$ 40.00	$ 4,800.00
Dibujante	80	$ 20.00	$ 1,600.00
Programación	60	$ 30.00	$ 1,800.00
		Total	**$ 12,803.00**

4.6. AHORRO DE ENERGÍA

Teniendo en cuenta el análisis de ahorro de energía visto en el capítulo anterior, y teniendo en cuenta que el análisis se hace en base a un trabajo continuo de 24 h/día, 7 días/semana y 52 semanas/año, teniendo un total de 8,736 h/año. Además, se considera que el costo de kW-h industrial es de 0.13 USD.

Las tablas que se muestran a continuación son una comparación de los consumos de potencia de cada una de las opciones analizadas, en diferentes situaciones de carga: en vacio, a plena carga y al 50% de la plena carga.

Tabla 0-12: Ahorro de Energía Anual en Vacío

	MOVIGEAR	Sinfín Corona	Helicoidal	Cónico-helicoidal
Potencia Consumida	7.09 kW	12.51 kW	12.04 kW	12.02 kW
Carga de Consumo	0%	0%	0%	0%
Consumo Anual	61,955 kW-h	109,270 kW-h	105,156 kW-h	105,006 kW-h
Eficiencia (*)		43.3%	41.1%	41.0%
Costo Anual	$ 8,054.13	$ 14,205.13	$ 13,670.23	$ 13,650.78
Ahorro Anual (*)		$ 6,151.00	$ 5,616.10	$ 5,596.65

Tabla 0-13: Ahorro de Energía Anual a Plena Carga

	MOVIGEAR	Sinfín Corona	Helicoidal	Cónico-helicoidal
Potencia Consumida	22.88 kW	31.95 kW	28.86 kW	29.22 kW
Carga de Consumo	100%	100%	100%	100%
Consumo Anual	199,886 kW-h	279,086 kW-h	252,138 kW-h	255,280 kW-h
Eficiencia (*)		28.4%	20.7%	21.7%
Costo Anual	$ 25,985.20	$ 36,281.19	$ 32,777.88	$ 33,186.37
Ahorro Anual (*)		$ 10,295.99	$ 6,792.68	$ 7,201.17

Tabla 0-14: Ahorro de Energía Anual al 50% de la Plena Carga

	MOVIGEAR	Sinfín Corona	Helicoidal	Cónico-helicoidal
Potencia Consumida	14.99 kW	22.23 kW	20.45 kW	20.62 kW
Carga de Consumo	50%	50%	50%	50%
Consumo Anual	130,921 kW-h	194,178 kW-h	178,647 kW-h	180,143 kW-h
Eficiencia (*)		32.6%	26.7%	27.3%
Costo Anual	$ 17,019.67	$ 25,243.16	$ 23,224.05	$ 23,418.57
Ahorro Anual (*)		$ 8,223.49	$ 6,204.39	$ 6,398.91

(*) Las eficiencias y el ahorro anual se comparan con respecto a los accionamientos MOVIGEAR.

4.7. Resumen Económico

En la siguiente tabla se incluyen todos los costos de las diferentes opciones de accionamientos para la línea.

Tabla 0-15: Resumen de Costos

Costos	Movigear	Sinfín Corona	Helicoidal	Cónico-helicoidal
Equipamiento	$ 123,204.00	$ 52,053.38	$ 43,005.50	$ 63,623.79
Variadores de Velocidad	-	$ 35,278.80	$ 35,278.80	$ 35,278.80
Tableros	$ 8,768.92	$ 17,831.02	$ 17,831.02	$ 17,831.02
Cableado	$ 4,344.65	$ 11,614.03	$ 11,614.03	$ 11,614.03
Ingeniería e Instalación	$ 5,254.00	$ 12,803.00	$ 12,803.00	$ 12,803.00
Total	**$ 141,571.57**	**$ 129,580.23**	**$ 120,532.35**	**$ 141,150.64**

Se puede notar claramente en la tabla anterior que los costos de los accionamientos MOVIGEAR son los más elevados, así mismo podemos notar que los costos con motorreductores helicoidales son los más económicos.

Si incluimos en este análisis el ahorro de energía como un costo a favor de los accionamientos MOVIGEAR, nos servirá para amortizar la diferencia de costos de inversión con respecto a los motorreductores.

La siguiente tabla está basada en el ahorro de energía al 50% de la plena carga, que nos servirá como un promedio del consumo real.

Tabla 0-16: Diferencia de Costos y Amortización con MOVIGEAR

Costos	Sinfín Corona	Helicoidal	Conico-helicoidal
Diferencia de Costos	$ 11,991	$ 21,039	$ 421
Ahorro de Energía Anual	$ 10,296	$ 6,793	$ 7,201
Amortización de Diferencia de Costos	1.2 años	3.1 años	0.1 años

De la tabla anterior podemos encontrar que al comparar los MOVIGEAR con los motorreductores helicoidales, la diferencia de costos se pagaría en 3.1 años, a partir de allí, los accionamientos empiezan a generar una ganancia a la empresa.

Se puede concluir que la opción con motorreductores helicoidales es la que requiere el menor costo de inversión a corto plazo. Pero, la opción con accionamientos MOVIGEAR es la que ofrece un mejor equilibrio de gastos a largo plazo, e incluso un ahorro de energía importante.

CONCLUSIONES

- De los análisis técnico y económico podemos afirmar que los accionamientos más adecuados para la línea de embotellado son los motorreductores helicoidales y los accionamientos MOVIGEAR.
- Los accionamientos MOVIGEAR brindan a largo plazo una ganancia (producto del ahorro de energía) a la empresa.
- El uso de los accionamientos MOVIGEAR reduce en gran medida la cantidad de piezas de repuesto en almacén. Asimismo, reduce la cantidad de espacio necesario para la instalación de los tableros de mando y control.
- El uso de accionamientos MOVIGEAR se recomienda en proyectos nuevos en el cual se tengan grandes cantidades de motorreductores.

COMENTARIOS FINALES

En la línea 140 – Callao de Corporación J.R. Lindley, se instaló los accionamientos MOVIGEAR, principalmente por el ahorro de energía estimado.

Finalmente, en mediciones reales y comparando el consumo de energía con respecto a una línea similar con motorreductores sinfín corona con transmisión de piñones y cadena (motorreductores de segundo uso), se determinó que el ahorro de energía estimado está alrededor del 65%.

Debido a estos resultados, Corporacion J.R. Lindley así como la corporación Coca Cola a nivel internacional están requiriendo que las líneas nuevas a implementarse tengan accionamientos MOVIGEAR.

Asimismo, se realizará el estudio del cambio de líneas existentes (en funcionamiento) por líneas con accionamiento MOVIGEAR.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS, TESIS Y PUBLICACIONES

- Molina, J.; "Automatización y control de una máquina cortadora de tela vulcanizada usando PLC y un servomotor AC"; Lima – Perú, 2003.
- Faires, V.; "Diseño de Elementos de Máquinas"; Cuarta Edición. Barcelona – España; 2002.
- Barnes, M.; "Practical Variable Speed Drives and Power Electronics"; Primera Edición. Gran Bretaña; 2003.
- Roldán, J.; "Motores Eléctricos – Aplicación Industrial"; Segunda Edición. Madrid – España; 1996.
- CEMA; "Belt Conveyors for Bulk Materials" Quinta Edición.
- Mohan, N.; "First Course on Power Electronics and Drives"; Primera Edición. USA; 2003.
- Sapag, N.; "Proyectos de Inversión – Formulación y Evaluación", Primera Edición. México; 2007.

CATÁLOGOS Y MANUALES

- TECSUP; “Control Secuencial con PLC”; Lima – Perú; 2008.
- TECSUP; “Variador de Velocidad de Motores Eléctricos”; Lima – Perú; 2008.
- Schneider Electric; “Manual Electrotécnico”; España; 1999.
- SEW EURODRIVE; “Manual - Reductores y Motorreductores”; Lima – Perú; 2008.
- Rexnord Marbett; “Marbett Conveyor Components Engineering Manual”

ENLACES WEB

- CEMA: http://www.cemanet.org/
- NEMA: http://www.nema.org/
- SEW EURODRIVE: http://www.sew-eurodrive.com/

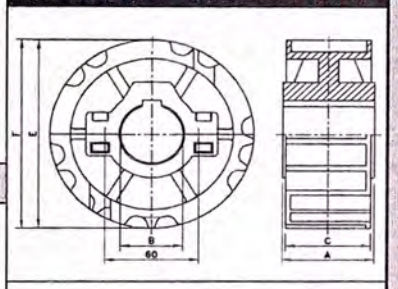
PIÑONES PARA CADENAS DE CHARNELA

Dimensiones nominales de la chaveta según ISO 773; las tolerancias del chavetero en piñones de plástico pueden variar con respecto a ISO 773 debido a las propiedades del material.

Los tambores y piñones locos están optimizados para ejes con una tolerancia de diámetro de h9.

MATERIAL página 209

Tipo de piñón	Nº de código	Nº de dientes	Eje B	Diámetro primitivo E	Diámetro exterior F	Ancho (dientes) C	Ancho del cubo A	Diámetro del cubo H
			mm/pulg.	mm	mm	mm	mm	mm
PIÑONES PARTIDOS, INYECTADOS - NS 815								
EJES MÉTRICOS								
NS815 21-25	L0815663881	21	25	129,3	129,5	52,0	51,0	60
NS815 21-30	L0815663891	21	30					
NS815 21-35	L0815663901	21	35					
NS815 21-40	L0815663911	21	40					
NS815 21-45	L0815663921	21	45					
NS815 23-25	L0815662481	23	25	141,2	142,0			
NS815 23-30	L0815662491	23	30					
NS815 23-35	L0815662501	23	35					
NS815 23-40	L0815662511	23	40					
NS815 23-45	L0815662521	23	45					
NS815 25-25	L0815665331	25	25	153,2	154,2	54,0	58,5	
NS815 25-30	L0815665311	25	30					
NS815 25-35	L0815665341	25	35					
NS815 25-40	L0815664931	25	40					
NS815 25-45	L0815665351	25	45					
EJES EN PULGADAS								
NS815 21-1	L0815663931	21	1,00"	129,3	129,5	52,0	51,0	60
NS815 21-1¹/₄	L0815663991	21	1,25"					
NS815 23-1	L0815662661	23	1,00"	141,2	142,0			
NS815 23-1¹/₄	L0815662701	23	1,25"					
NS815 25-1	L0815665411	25	1,00"	153,2	154,2	54,0	58,5	
NS815 25-1¹/₄	L0815665451	25	1,25"					
NS815 25-1¹/₂	L0815665491	25	1,50"					



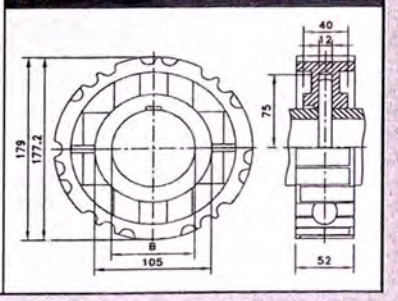
Para series de cadenas de acero: Rexnord: 812 (excepto TAB y bisagra mini), 815

MCC: Cadena recta con bisagra simple, bisagra simple Magnetflex. Nota: No para TAB de altas prestaciones

* Rogamos se ponga en contacto con el servicio de atención al cliente para informarse sobre el pedido mínimo.

PIÑONES PARTIDOS, INYECTADOS - NS 815

EJES GRANDES MÉTRICOS								
NS815 29-75	L0815660911	29	75	177,2	179,0	52,0	40,0	105
NS815 29-87	L0815660921	29	87					

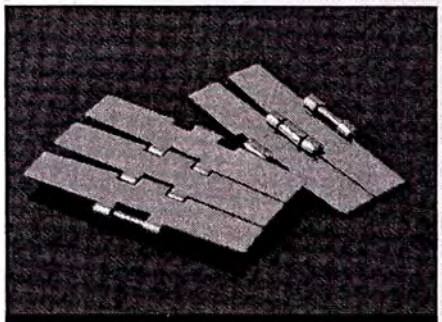


Para series de cadenas de acero: Rexnord: 812 (excepto TAB y bisagra mini), 815

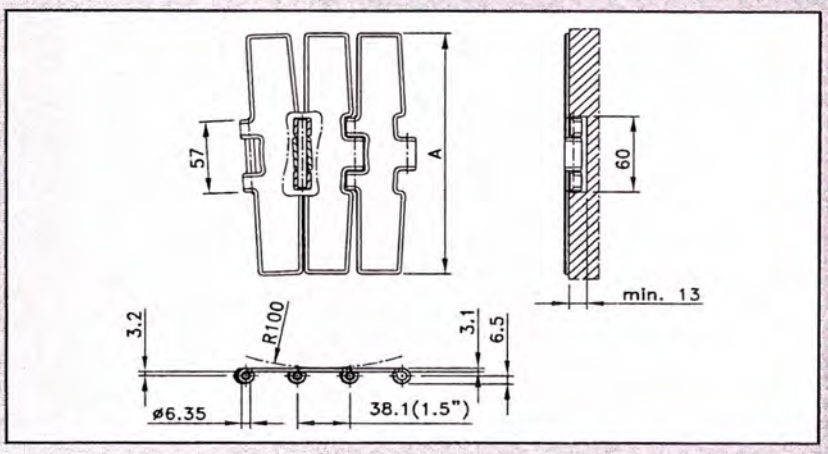
MCC: Cadena recta con bisagra simple, bisagra simple Magnetflex. Nota: No para TAB de altas prestaciones

En este piñón de 29 dientes no se utiliza chavetero, sino un pasador redondo de 12 mm montado a través del eje.

CADENAS DE CHARNELA DE ACERO



MAGNETFLEX®
ALTAS PRESTACIONES
MAXLINE

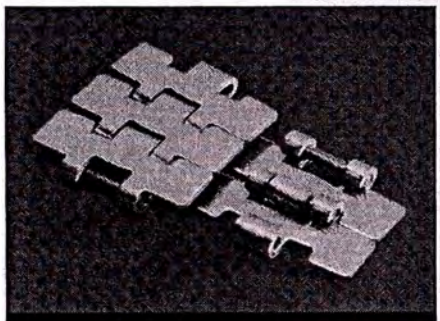


página 104
página 60
MATERIAL página 207

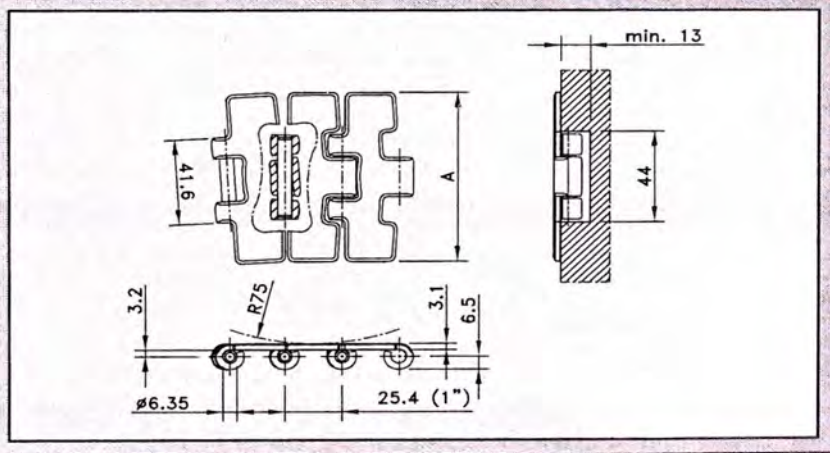
Tipo de cadena	Nº de código	Ancho	A	Peso	Planitud de la superficie (máx.)	Acabado superficial	Bisagras refrentadas	Carga de trabajo (máx.)
			mm pulgadas	kg/m	mm			N
SERIE 60								
60 M 75 M 767.53.75	190,5 7,50 5,03 0	60 no sí 7000						
SERIE 66								
66 M 75 M 767.03.75	190,5 7,50 5,03 0	60 no sí 7000						

Longitud estándar: 3,048 m - 10 pies (80 eslabones)

Radio de giro lateral mín. 860 mm.



GIRO LATERAL
BISAGRA SIMPLE
MAXLINE 1"



página 108,112
página 65
MATERIAL página 207

Tipo de cadena	Nº de código	Ancho	A	Peso	Planitud de la superficie (máx.)	Acabado superficial	Bisagras refrentadas	Carga de trabajo (máx.)
			mm pulgadas	kg/m	mm			N
OPTI-PLUS								
SSC 581 M-K325 10.0	27.21.11 82,5 3,25	2,80 0,18 no no 5000						

Longitud estándar: 3,048 m - 10 pies (120 eslabones)

Radio de giro lateral mín. 500 mm.

* Rogamos se ponga en contacto con el servicio de atención al cliente para informarse sobre el pedido mínimo.

60-Series

60 series

Brief Description

Special chrome-nickel stainless steel for excellent sliding properties, improved corrosion resistance, long wearlife and high strength

Primary Components

Special Alloy

General Information

Prefix	Material	Temperature (°C)			FDA
		Min	max		
			dry	wet	
60	Special Alloy	-70	+400	+120	

Friction Factors Between Material and Product

Operating Condition	Product Material						
	Glass	Crates	Plastic	Carton	Metal	Alu cans	Pet
Dry	0.35	0.30	0.30	0.45	0.40	0.40	0.31
Water	0.30	0.23	0.23	-	0.35	0.35	0.24
Soap & Water	0.15	0.12	0.12	-	0.15	0.15	0.17

Friction Factors Between Material and Wearstrips

Operating Condition	UHMWPE	MCC 1000	MCC 1200	Steel	Polyamid
Dry	0.30	0.30	0.30	0.40	0.30
Water	0.22	0.23	0.23	0.35	0.23
Soap & Water	0.15	0.12	0.12	0.15	0.12

Additional Notes