

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**“CALCULO DE LA POTENCIA
REGENERATIVA PARA EL CONTROL DE
FRENADO CON MV DRIVES ABB DE 315 KW
HASTA 5MW EN UNA FAJA
TRANSPORTADORA”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECATRONICO

MAGNO MADUEÑO AURIS

PROMOCION 2002-II

LIMA-PERU

2010

Dedicado a mis padres:

Asunción Madueño Rojas y Prepodina Auris Arbizú

a mis hermanos:

Damazo, Alejandrina, Mariuja, Fidel, Alfonso, Lady y

Aníbal

y a todas las personas que han contribuido

en mi formación personal y profesional.

CONTENIDO

Prólogo	1
----------------------	---

CAPITULO I

Introducción	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Justificación	4
1.3. Planteamiento del problema	5
1.4. Objetivo	5
1.5. Metodología de trabajo	6
1.6. Alcances	6
1.7. Limitaciones	6

CAPITULO II

Fundamentos.....	8
2.1. Generalidades del sistema MV Drive	8
2.1.1. Qué es un sistema MV Drive	8
2.2. Topologías en sistemas MV Drives	17
2.2.1. Topología VSI	17
2.2.2. Topología CSI	19
2.3. Tecnologías del sistema MV Drive ABB	21

IV

2.3.1. Semiconductores de potencia IGCT	21
2.3.2. Plataforma de control DTC	27
2.4. Variador de velocidad ABB en media tensión ACS1000	32

CAPITULO III

Cálculo de la Potencia de Frenado en Faja Transportadora con Regeneración	37
3.1. Descripción	37
3.2. ¿Qué es una regeneración?	43
3.3. Mapa de las aplicaciones de accionamientos en función de la velocidad y par ...	43
3.4. Evaluar la potencia de frenado	45
3.4.1. Principios generales del dimensionamiento del frenado eléctrico	45
3.4.2. Conceptos básicos de la descripción de cargas	46
3.4.3. Como evaluar el par y la potencia de frenado	47
3.5. Cálculo de la potencia regenerativa en una faja transportadora	50

CAPITULO IV

Solución con un Sistema MV Drive ABB para el Control de la Energía Regenerativa con una Resistencia de Frenado	52
4.1. Dimensionado de un sistema de accionamiento en media tensión	52
4.1.1. Factores para corrección por altura	55
4.1.2. Derating por temperatura	58
4.1.3. Potencia de corto circuito el sistema eléctrico	59
4.1.4. Tipo de aplicación	61
4.1.5. Datos del motor	63

V

4.2. Dimensionado del sistema MV Drive ABB	64
4.3. Chopper de frenado	74
4.4. Cálculo de la resistencia de frenado	76
4.5. Descripción de funcionamiento	83

CAPITULO V

Presupuesto para Implementar la Solución de Frenado con un Sistema MV Drive

ABB para una Faja Transportadora con Regeneración	87
5.1. Alcance de la implementación a nivel de suministro	87
5.2. Alcance de la implementación a nivel de instalación y puesta en marcha	87
5.3. Plazo de entrega de la implementación	88
5.4. Cuadro de costos de la implementación	89

Conclusiones	90
---------------------------	-----------

Bibliografía	91
---------------------------	-----------

Anexos

A. Especificación técnica del MV Drive seleccionado	92
---	----

PRÓLOGO

La corporación transnacional ABB (Asea Brown Boveri) con sede en Suiza es líder en tecnologías de energía y automatización para clientes del área de procesos industriales, minería y de generación. La experiencia adquirida como Product Manager en MV Drives (Medium Voltage Drives) de Automation Products Division de ABB S.A., es la base que me ha servido para elaborar el presente informe de suficiencia. Cuando hablamos de MV Drives, estamos refiriéndonos a variadores de velocidad en media tensión en potencias desde 315kW hasta 100MW y en voltajes desde 2.3 kV hasta 10 kV para motores de asíncronos o síncronicos.

La principal aplicación de MV Drives son para el arranque suave y el control de velocidad y torque del motor de gran potencia y, además se puede ahorrar energía, incrementar la productividad y mejorar la calidad de la producción.

Hay pocos fabricantes de MV Drives alrededor del mundo, se requiere de alta tecnología para fabricar MV Drives a nivel de semiconductores de potencia y software, como ya se indicó, debido a la complejidad y a la tecnología requerida.

El presente informe de suficiencia busca transmitir el conocimiento y aportar experiencia adquirida en una gran variedad de aplicaciones en la minería y el dimensionado del sistema de accionamiento en media tensión con MV Drives ABB y, especialmente en el planteamiento de una solución de frenado con sistema MV Drive ABB al problema de regeneración en una faja transportadora. La particularidad del presente caso de aplicación planteado aquí es que el motor que hace girar a la faja transportadora trabajará como generador cuando ocurra una parada de emergencia y la energía regenerada fluirá hacia el MV Drive.

El informe de suficiencia esta distribuido según lo siguiente:

En el Capitulo I se presentan los antecedentes, la justificación, el objetivo, la metodología de trabajo, los alcances y las limitaciones propias del presente informe.

En el Capitulo II se describe en forma breve y simplificada, las principales etapas de un MV Drive, componentes, principio de funcionamiento, la tecnología del drive a nivel de hardware y software. También se describe las diferentes tecnologías de MV Drives existentes a nivel mundial.

En el Capitulo III se describe en forma detallada los cálculos de potencia regenerativa mecánica que se presenta de acuerdo a las condiciones mecánicas del proceso en la faja transportadora.

En el Capítulo IV se describe el dimensionado del sistema MV Drive, el cálculo de la resistencia de frenado y la descripción del funcionamiento del sistema drive.

En el Capítulo V se presenta el presupuesto para implementar la solución planteada de frenar con un sistema MV Drive ABB la regeneración en una faja transportada debido a una parada de emergencia. Se indica el alcance de la implementación de la solución y un cuadro de costos reales a la fecha.

En la parte final del informe se presenta una serie de conclusiones y resultados obtenidos en base a la solución presentada con MV Drive ABB, así mismo se presenta como anexo información adicional acerca de la aplicación.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES.

ABB, con sede en Suiza, líder en tecnologías de energía y automatización esta presente en más de 100 países y emplea a más de 110,000 personas alrededor del mundo. ABB es el mayor fabricante de MV Drives, liderando con la mayor base instalada en una variedad de aplicaciones industriales. La aplicación de un sistema MV Drive ABB en una faja transportadora con problemas de regeneración momentánea, es la razón del presente informe de suficiencia.

Hoy en día con el desarrollo de la tecnología de los semiconductores se puede fabricar MV Drives de alta tecnología y altamente confiables para el accionamiento de los motores.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El presente informe se realiza con la finalidad de transmitir conocimientos y aportar experiencia adquirida en campo participando en una variedad de aplicaciones con

MV Drives ABB. Se ha seleccionado el presente caso de aplicación porque no hay información disponible al alcance de un estudiante o ingeniero Mecatrónico.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una faja transportadora inclinada que lleva mineral cuesta abajo por una colina y si de pronto es detenida la faja por emergencia, por las propias condiciones mecánicas y de inercia la faja seguirá moviéndose y la faja arrastrará al motor haciéndolo trabajar como un generador y el motor producirá energía eléctrica el problema aquí es controlar esa energía regenerativa.

Hay varios métodos de controlar la energía regenerativa que viene del motor: una de ellas es enviarla de retorno a la red y así aprovechar esa energía regenerativa para mover otras cargas, la segunda alternativa de solución es disipar la energía regenerativa en una resistencia de frenado con la finalidad de frenar la carga.

En el presente informe de suficiencia se focalizará en controlar la energía regenerativa, que viene del motor debido a las condiciones mecánicas y de inercia de la faja transportadora, y disiparlo en una resistencia de frenado. El flujo de la energía regenerativa hacia la resistencia de frenado estará controlado por un sistema MV Drive ABB y, el drive además controlará la velocidad y torque del motor eléctrico.

1.4. OBJETIVO

El objetivo del presente informe de suficiencia es calcular la potencia regenerativa en una faja transportadora y controlar la energía regenerativa disipando en una

resistencia de frenado por medio de un sistema MV Drives ABB de 315kW hasta 5MW.

1.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Con respecto a la metodología empleada en el presente informe se puede decir que en los dos primeros capítulos se hace una descripción sencilla y fácil de los puntos previos que se consideran importantes y que se deben de conocer antes de entrar a los capítulo III y IV en los cuales se presenta el tema principal de este documento.

En cada uno de los capítulos se presentan imágenes, diagramas de flujo, diagrama de bloques, tablas y cuadros para facilitar la comprensión de los temas que se quiere transmitir en forma clara y precisa.

1.6. ALCANCES

El alcance del presente informe es detallar todo lo concerniente para dar solución a una aplicación regenerativa en una faja transportadora inclinada que transporta mineral.

1.7. LIMITACIONES

La configuración del drive se realiza con software DriveSmart de ABB, por la cual no se cuenta exactamente los procedimientos y cálculos que se debe realizar paso a paso para realizar el dimensionado del MV Drive ABB.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS

2.1. GENERALIDADES DEL SISTEMA DRIVE

2.1.1. Qué es un sistema MV Drive

Las máquinas eléctricas convierten potencia eléctrica en potencia mecánica. En el caso de una máquina eléctrica, la potencia mecánica es torque multiplicado por la velocidad rotacional. El motor, sin drive, es conectado directamente a la red de suministro en media tensión con voltajes típicamente entre 2.3kV hasta 13.8kV como muestra la Figura 2.1. Los dos tipos de motores que nosotros estamos enfocándonos en el presente informe son el motor de inducción y el motor sincrónico.

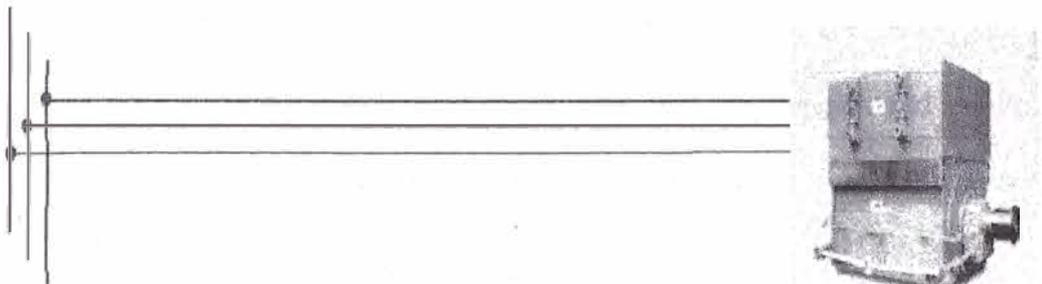


Figura 2.1: Motor conectado directamente a la línea

Como arrancar el motor y mantener la corriente de arranque dentro de ciertos límites, cuando se conecta el motor directamente a la línea o como controlar la carga según al requerimiento de la aplicación más eficientemente o en otras palabras como podemos ajustar al menos cualquier combinación de torque y velocidad dentro de los límites dados y no consumir más potencia que al requerido por la carga.

La manera más eficiente de controlar el proceso es controlando la velocidad del motor eléctrico y, la manera más eficiente de controlar la velocidad es utilizando un variador de velocidad.

El variador de velocidad es también llamado variador de frecuencia, convertidor de frecuencia o drive de velocidad ajustable. El variador de velocidad en su forma más simple es un dispositivo que es utilizado para controlar velocidad, torque o potencia sobre el eje de un motor eléctrico. Toma el voltaje fijo y frecuencia fija de la red y lo convierte en voltaje y frecuencia variable para alimentar al motor.

Esto se hace convirtiendo voltaje fijo y frecuencia fija de la red en voltaje variable y frecuencia variable, a la salida del variador, para alimentar al motor.

El variador de frecuencia regula la frecuencia de la corriente aplicada al motor, logrando con ello modificar su velocidad. Sin embargo, se debe tener presente

que el cambio de frecuencia debe estar acompañado por un cambio de la tensión aplicada, para no saturar el flujo magnético del rotor.

Entonces el variador puede controlar las variables del proceso, tales como el flujo, controlando la velocidad de la bomba y así podemos regular el flujo según al requerimiento del proceso.

Los drives están ubicados entre la red de suministro y el motor eléctrico. Los drives contribuyen a la conversión de la potencia eléctrica en mecánica mejorando el comportamiento de arranque del motor porque reduce la corriente del motor, brinda constante controlabilidad de torque y velocidad producido por el motor brindando al proceso alta eficiencia.

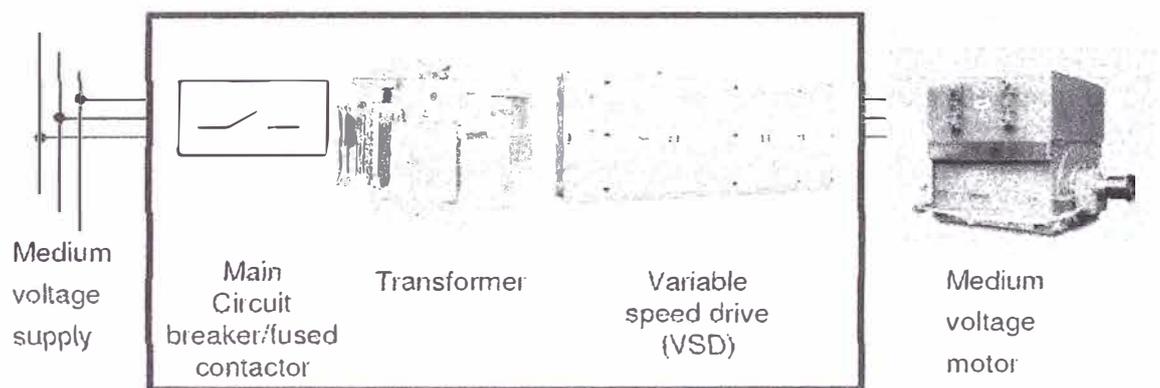


Figura 2.2: Sistema MV Drive

En la Figura 2.2 se muestra un sistema de accionamiento de CA (corriente alterna) que consta, por lo general, de un interruptor principal, de un transformador de entrada o de suministro eléctrico, un variador de velocidad,

un motor de CA y una carga. El transformador de aislamiento es usualmente requerido como un desfasador y generar los pulsos para el rectificador, también puede ser utilizado como reductor para reducir el voltaje de la red y acondicionarlo al voltaje de la aplicación, por otro lado también cumple la función de aislar al sistema de accionamiento de la red. El variador de velocidad controla velocidad y torque del motor.

El mejor beneficio del sistema drive comparando con un sistema donde el motor es conectado directamente a la red de suministro eléctrico es para ahorrar energía.

En la Figura 2.3 muestra el sistema MV Drive que proporciona el arranque más suave del motor eléctrico llevando a reducir la corriente y estrés para el equipamiento durante esta fase, elimina los esfuerzos mecánicos del sistema (motor + cople + reductor + carga), brindando mayor vida útil para los equipos del sistema. Si el motor es expuesto a bajos niveles de estrés, esto puede ser diseñado liviano y barato.

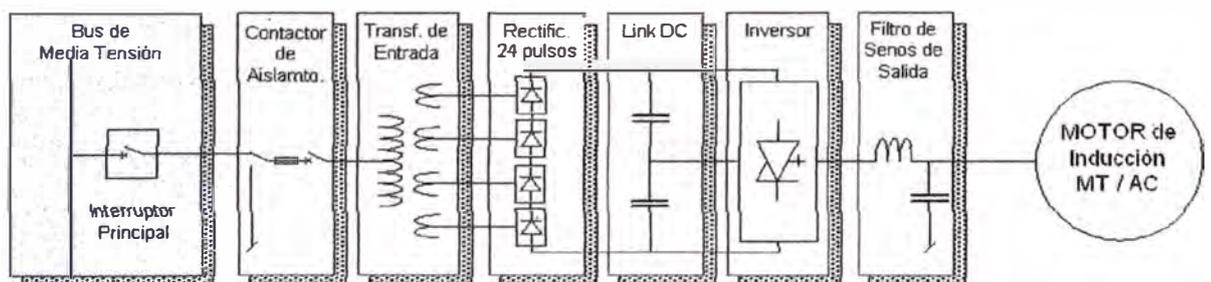


Figura 2.3: Representación del sistema MV Drive

Basado sobre los requerimientos del cliente o al alcance del proyecto esta configuración estándar puede variar. Como es el caso de un arranque sincronizado con bypass, donde el drive puede ser configurado para arrancar un motor y luego conectarlo directamente a la red de suministro. En este caso, un solo variador puede arrancar hasta cinco motores secuencialmente, la cual puede ser beneficioso cuando los motores son operados principalmente a plena carga, como indica la Figura 2.4.

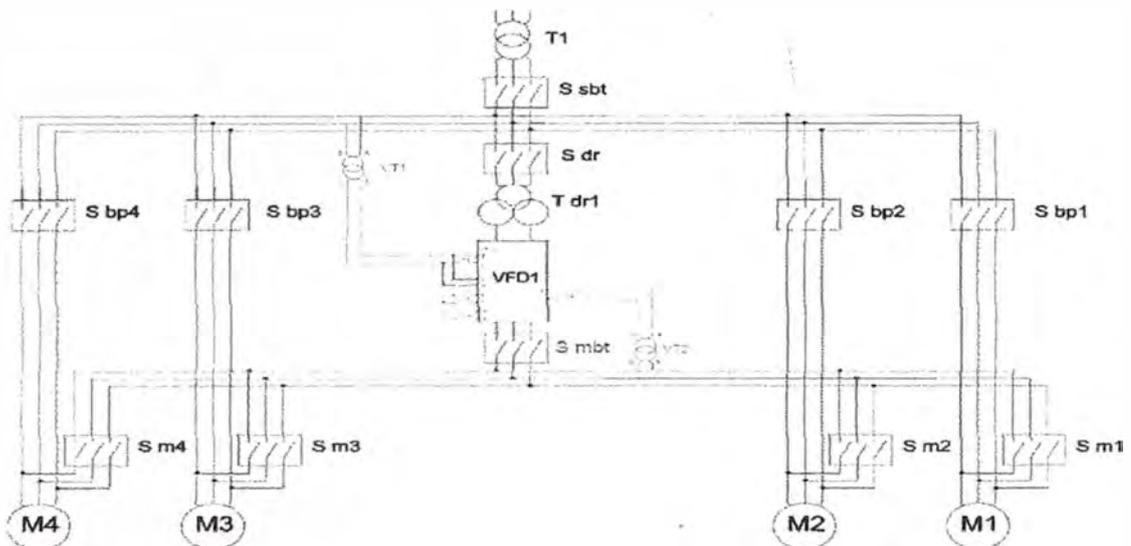


Figura 2.4: Control de cuatro motores con un MV Drive con bypass sincronizado

En el interior del convertidor de frecuencia hay un rectificador, un enlace de CC (corriente continua) y una unidad inversora como muestra la Figura 2.5.

El rectificador recibe la tensión y corriente alterna y lo convierte en voltaje y corriente continua por medio de un puente rectificador por diodos de potencia.

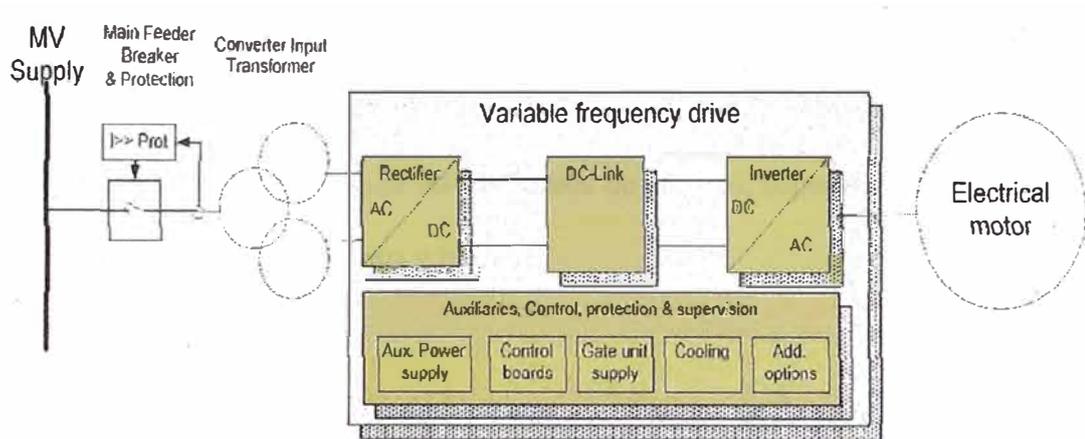


Figura 2.5: Diagrama interno de un MV Drive

El enlace DC (Direct Current) proporciona la interfase entre el rectificador y el inversor. Contiene típicamente energía almacenada para desacoplar el rectificador y el inversor. Esta energía almacenada es un capacitor o un inductor. El circuito intermedio poseen condensadores y bobinas para linealizar la tensión rectificadora, además las bobinas ayudan a disminuir el contenido armónico de la corriente generada por el variador de frecuencia y por ende mejorar el factor de potencia. La función principal del enlace de continua es suavizar el rizado de la tensión rectificadora y reducir la emisión de armónicos hacia la red.

El inversor proporciona un sistema AC (Alternating Current) trifásico para el motor con una frecuencia y voltaje variable. La conversión en el inversor también es realizado por semiconductores de potencia switchando con un cierto patrón para generar los pulsos de voltaje de manera controlada.

Además de estos elementos, la cuál es parte del flujo principal de la potencia, necesitamos suministro de potencia auxiliar para el sistema de enfriamiento y control del variador. Para el control del variador de velocidad se requiere tarjetas de control que realiza las funciones de control, supervisión y protección del sistema de accionamiento y la carga.

Los variadores de velocidad como estándar incluyen las siguientes protecciones como: cortocircuito, sobre tensión, baja tensión, falla a tierra, sobre corriente, pérdida de fase en la entrada del variador, pérdida de fase en la salida del variador, sobre carga del motor, baja carga del motor, falla interna del microprocesador, capacidad térmica del motor, falla del inversor, rotor bloqueado.

Por otro lado las operaciones tradicionales, como el control mecánico siempre trabajan con velocidad fija. Esto significa que trabaja al 100% de valor nominal del motor aunque la carga real sea menor. Los variadores de velocidad siempre trabajan con velocidad variable que es proporcional a la carga de trabajo.

No es necesario sobredimensionar los motores para arranques con alta inercia. Como el drive suministrará toda la corriente hasta magnetizar el motor, este obtendrá la corriente necesaria para romper la inercia, sin necesidad de tener motores con alto par de arranque.

Adicional beneficio, al utilizar variador de velocidad, es mejorar el control del proceso debido a que mejora la controlabilidad de la máquina eléctrica. Un aspecto de mejorar el proceso de control es reduciendo la variabilidad de la producción y por lo tanto mejora la calidad de producción.

La mejor controlabilidad de la maquina eléctrica también permite reducir el estrés sobre el equipamiento mecánico y así contribuye a una reducción de costo de mantenimiento o lleva a prolongar el tiempo de utilización del equipamiento en el proceso.

Equipamiento mecánico puede no ser necesitado más cuando el sistema drive es instalado. Esto contribuye al ahorro de costo y, específicamente, también reduce costo de energía debido a las perdidas eliminadas en el proceso técnico.

Los variadores reflejan hacia la red un factor de potencia $FP=0.97$, con esto hace "desaparecer" al motor de la red y te dejas de preocupar por bancos de capacitores y por las multas por bajo factor de potencia.

Tener los variadores para una función de arranque suave logras eliminar los picos de demanda que generan los motores en el arranque. Un motor consume de 6-7 veces su corriente nominal en el arranque mientras que conectado a un variador solamente consume 2-3 veces su corriente nominal. Si estos arranques y paros continuos se dan en las horas de mayor demanda la compañía eléctrica te castiga fuertemente.

En cuanto a los arrancadores suaves sí te eliminan el pico de arranque, pero cuando llegan al voltaje nominal del motor y entra a trabajar el contactor de bypass el motor queda conectado directamente a la red, reflejando un bajo factor de potencia.

Existen aplicaciones en donde los variadores de frecuencia sí pueden ahorrar energía, hasta un 30% y algunos dicen que 50%, en aplicaciones de bombas y ventiladores que no giren al 100% de su velocidad durante el 100% del tiempo de trabajo.

Hay dos tipos de variadores, par constante y par variable o cuadrático, los primeros se utilizan en máquinas en las que el par motor no varía con la velocidad y los segundos en sistemas en los que el par motor es dependiente de la velocidad, ventiladores, bombas centrífugas, etc.

La conducción del rectificador deberá ser continua a lo largo de todo el rango de operación especificado. Para cualquier carga o condición de servicio, los armónicos de corriente inyectados por cada convertidor hacia el sistema no deberán exceder lo permitido por la Norma IEEE 519-1992. El diseño de los convertidores que guardan la energía continua en condensadores, deberá alcanzar los requerimientos de esta cláusula, incluyendo la suficiente inductancia entre el rectificador de entrada y los condensadores.

2.2. TOPOLOGÍAS DE SISTEMAS MV DRIVES

En general, los accionamientos de media tensión con tecnología de vanguardia de la actualidad están basados en una de dos topologías básicas de inversor: Inversor en Fuente de Tensión VSI (Voltage Source Inverter), que emplea un capacitor en el circuito de enlace de continua y suministra una onda conmutada de tensión y, el Inversor en Fuente de Corriente CSI (Current Source Inverter), que emplea un inductor en el circuito de enlace de continua y suministra una onda conmutada de corriente.

2.2.1. Topología VSI

El drive considerado aquí es del tipo de fuente de voltaje. El sistema de voltaje es primero rectificado y después almacenado en un DC link, que consiste principalmente de capacitores. El inversor, con dispositivo semiconductor switchable, posteriormente convierte el voltaje DC nuevamente a AC que permite ajustar su frecuencia y voltaje. La velocidad del motor de inducción conectado es entonces variado como una función de la frecuencia según a la frecuencia aplicado. El voltaje también debe ser variado como una función de la frecuencia para asegurar que el flujo inducido permanezca constante.

Por más de dos décadas, ABB ha sido pionero en el desarrollo de accionamientos de media tensión basados en VSI como se muestra en la Figura 2.6. Hoy en día VSI es la topología preferida en el mercado.

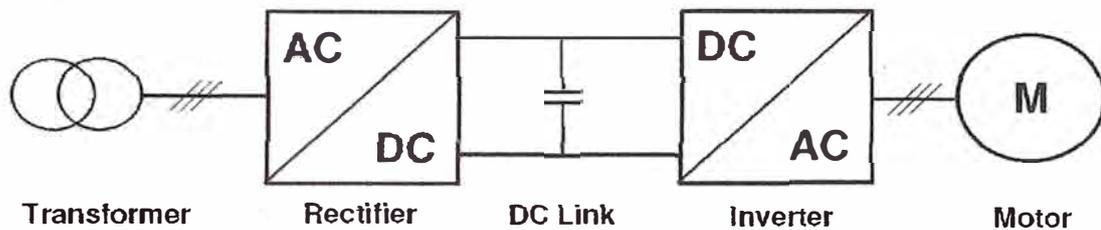


Figura 2.6: Topología VSI

Se puede implementar un VSI sin necesidad de filtros adicionales de entrada o de salida, los cuales son indispensables en una topología CSI con semiconductores auto-conmutados.

Un VSI permite una topología del rectificador de entrada muy confiable y altamente eficiente por medio de un simple puente de diodos. Además de proporcionar una excelente eficiencia y confiabilidad, los puentes de diodos tienen un alto factor de potencia (típicamente >0.95), el cual es constante en todo el rango de velocidad. La topología CSI utiliza un rectificador por tiristores o una unidad de rectificación activa con componentes autoconmutados, los cuales son inherentemente menos confiables y menos eficientes. Así también, un rectificador por tiristores tiene un bajo factor de potencia del lado de la red y típicamente requiere equipo adicional de compensación.

Asimismo, la topología VSI presenta un desempeño de control dinámico superior al de la topología CSI.

El inversor por fuente de voltaje alimentando drives en media tensión ha encontrado amplia aplicación en la industria. Estos drives vienen con un número de diferentes configuraciones, cada una de las cuales tiene una única característica. Inversor por fuente de voltaje (VSI) es la más común topología hoy en día.

El sistema consiste de un Inversor por Fuente de Voltaje con un voltaje DC constante en el DC link. El rectificador puede ser construido con robusto diodo. Alternativamente, un frente activo puede ser usado. El capacitor en el DC link suaviza el voltaje DC y suministra potencia reactiva al motor. La unidad inversor conmutado usa Tiristor Turn-off Gate, IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistor) de alto voltaje o IGCTs.

El factor de potencia del VSI es muy alto (típicamente sobre 0.95) sobre todo el rango de operación. VSIs puede arreglárselas con alto requerimiento dinámico para el control de torque desde que la corriente de salida puede ser incrementada rápidamente debido a muy pequeña inductancia en el VSI.

2.2.2. Topología CSI

La Figura 2.7 muestra un inversor por fuente de corriente CSI, contiene un rectificador controlado sobre el lado de la línea, un DC link con un reactor, y un inversor autoconmutado sobre el lado del motor la cual convierte la corriente directa en corriente de tres fases de frecuencia ajustable. La amplitud

de la corriente del motor es ajustado por el rectificador controlado, mientras la frecuencia y la velocidad del motor es operado por el inversor.

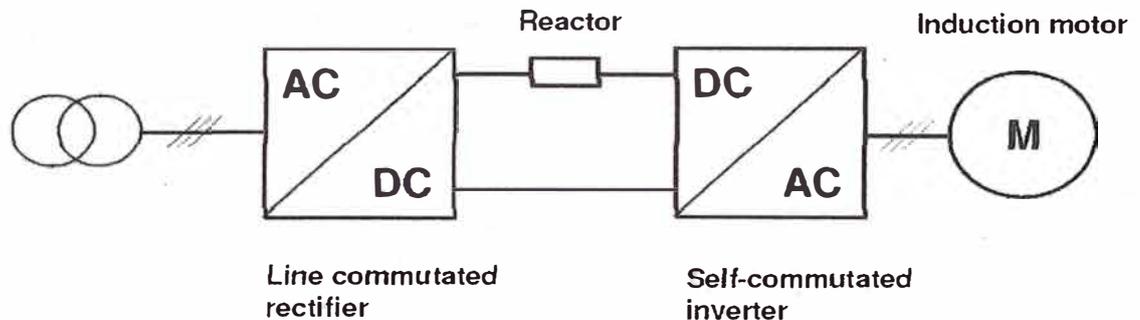


Figura 2.7: Topología CSI

El drive CSI, forma de onda amigable del motor, capacidad de operación en cuatro cuadrantes en caso del rectificador activo.

La principal desventaja de la topología CSI es el requerimiento de un filtro de salida (capacitor). La combinación de este capacitor con la inductancia del motor o la inductancia de la red (en caso de un rectificador activo) forma un circuito de resonancia la cual tiene que ser manejado cuidadosamente con la finalidad de evitar excitación.

Otra desventaja es su bajo factor de potencia, la cual varía sobre el rango de operación, y limita el rendimiento dinámico. Sin embargo, la mayoría (alrededor del 85%) de los drives en media tensión instalados son para altas potencias en ventiladores, bombas y compresor donde el alto rendimiento dinámico es usualmente no es de primera importancia.

2.3. TECNOLOGÍAS DEL SISTEMA DRIVE

Alrededor del mundo hay tres a cuatro fabricantes de MV Drives (entre ellas ABB, Allen Bradley Rockwell, Siemens, Toshiba, entre otros) de los cuales cada uno a desarrollando su propia tecnología. La tecnología del drive se basa en el hardware y software. Sobre hardware podemos tener los distintos semiconductores de potencia que pueden utilizar para diseñar y fabricar los drives, por otro lado se requiere el software (la plataforma de control) que controlará el suministro de alta calidad de voltaje variable al motor.

Alrededor del mundo hay distintos semiconductores de potencia como IGBT, IGCT, SGCT tanto en media como en baja tensión para construir un MV Drive.

En cuanto al sistema de control del drive hay distintas tecnologías dependiendo del fabricante y la aplicación. Entre las plataformas existentes tenemos PWM, Control vectorial, DTC, entre otros.

2.3.1. Semiconductores de potencia IGCT

Hay tres tipos de IGCT, como muestra la Figura 2.8: Asimétrico (como es usado en MV Drives ACS6000 ABB), Reverse Conducting (como es usado en MV Drives ACS1000 ABB) y Reverse Blocking (como es usado en Powerflex 7000 de Rockwell).

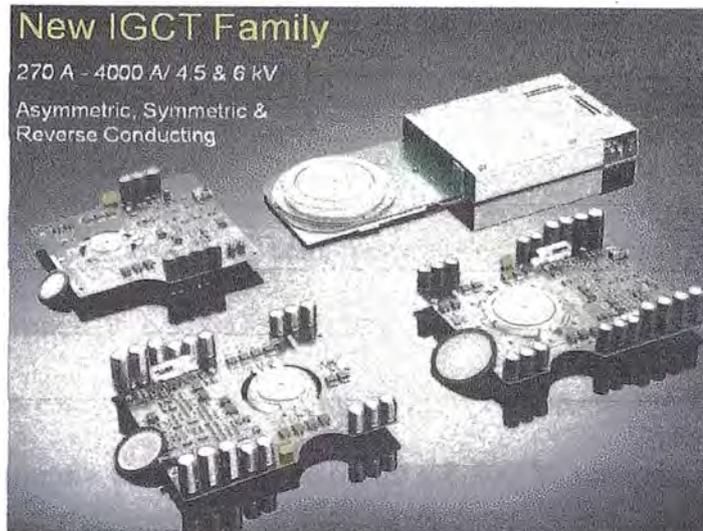


Figura 2.8: Familia de IGCTs

Los últimos treinta años han sido testigos de cómo los semiconductores de potencia han sustituido casi por completo a las soluciones electromecánicas empleadas en accionamientos (drives) y fuentes de alimentación. Este predominio es fácilmente explicable: en la industria y en el transporte, así como en la transmisión y distribución de energía, los semiconductores de potencia ofrecen a los usuarios una libertad prácticamente ilimitada para conformar el flujo de energía eléctrica.

Explicar cómo funcionan los dispositivos semiconductores de potencia es sumamente fácil pues, al igual que un interruptor sencillo, sólo conocen dos estados: “abierto” y “cerrado”. Sin embargo, a diferencia de los interruptores sencillos, pueden “bascular” muy rápidamente entre estos dos estados, normalmente en tan sólo unos microsegundos.

Así pues, utilizando impulsos rápidos de activación/desactivación se puede producir prácticamente cualquier forma deseable de flujo de energía, como la onda sinusoidal.

Se puede fabricar interruptores semiconductores de potencia con un amplio rango de tensiones y corrientes de régimen, adaptados exactamente a las necesidades de los usuarios industriales. Hoy en día, la máxima tensión de bloqueo se encuentra en la región de 6.500 a 8.500 V, mientras que la máxima intensidad de conducción de un dispositivo puede llegar a ser de hasta varios miles de amperios. Para valores nominales mayores, los interruptores semiconductores de potencia se pueden conectar en paralelo o serie. Éste es el caso, por ejemplo, en la transmisión de corriente continua de Alta Tensión (HVDC), en la que se utiliza tensiones de hasta 600 kV.

Pérdidas, pequeñas pero significativas. En el segmento de alta potencia se han establecido tres tipos de dispositivos semiconductores: los tiristores, los tiristores IGCT (controlados por puerta integrada) y los transistores bipolares de puerta aislada IGBT. Aunque su predominio da a entender que se trata de dispositivos ideales, esto no es así en modo alguno, ya que generan pérdidas. Aunque estas pérdidas son relativamente pequeñas –por regla general, menos del 0.5 % de la energía conmutada se disipa en forma de calor -la cantidad de energía que manejan es grande, por lo que la pérdida real es sustancial. Eliminar el calor producido puede resultar complicado y es un importante factor de costo en el diseño del sistema. La causa de estas pérdidas está en la física de los dispositivos: en el estado de “no conducción” apenas existen

electrones móviles en el cuerpo de silicio del elemento, por lo que no puede circular corriente. Cuando se activa el dispositivo, el cuerpo de silicio se inunda literalmente de electrones móviles, haciendo que el interruptor sea un buen conductor de corriente de alta intensidad. Sin embargo, la concentración de portadores de cargas móviles en el estado de conducción no es tan alta como en un metal. En consecuencia hay una apreciable caída de tensión. Las pérdidas asociadas a este efecto se denominan pérdidas por conducción. Cuando el interruptor retorna al estado de aislamiento, todos los electrones previamente introducidos se han de volver a eliminar del cuerpo de silicio: este tiene lugar mediante la tensión de retorno, que “barre” los electrones. Por consiguiente, durante la desactivación circula corriente durante un breve instante con alta tensión, produciendo lo que se conoce como pérdidas por corte.

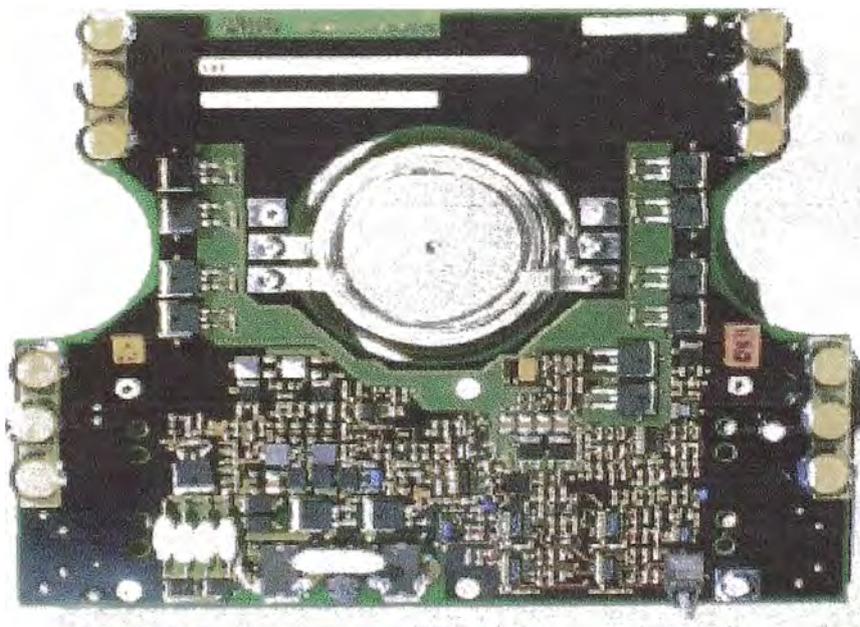


Figura 2.9: Vista de un IGCT

El IGCT que se muestra en la Figura 2.9 ha sido diseñado para las necesidades del mercado de variadores en media tensión que proporciona los beneficios de IGBT's con la robustez requerida en aplicaciones de variadores de MT (media tensión).

El dispositivo avanzado de conmutación IGCT combina la rapidez de conmutación de los IGBTs con la comprobada confiabilidad de los GTOs (Gate Turn-Off Thyristor). Conduce como un thyristor, switchea como un transistor y bajas pérdidas de estado y por conmutación.

Tabla 2.1: Características y beneficio de los IGCTs

Característica	Beneficio
Rápida conmutación (hasta 20kHz)	alto desempeño
Bajas pérdidas de estado y por conmutación	Alta eficiencia
sin circuitos de amortiguación ("snubberless")	Bajo número de componentes
Compuerta de control ('gate driver') integrada y diodo de paso inverso libre ("freewheeling").	Alta confiabilidad

Todos los IGCTs de ABB son dispositivos del tipo "press-pack". Se montan a presión con un esfuerzo relativamente elevado sobre disipadores técnicos que también sirven de contactos eléctricos para los terminales de potencia.

Dado que los IGCTs son parientes de los GTOs en cuanto a "forma-montaje-función", con frecuencia los usuarios de GTOs sienten la atracción de cambiar

a nuevos diseños de sistemas o actualizaciones de generación de dispositivos (con cambios mínimos) pasando a la tecnología de IGCTs, más avanzada.

La unidad de control de conexión/desconexión de los IGCTs es un elemento integrado en el componente. Sólo requiere una fuente de alimentación externa y el acceso a sus funciones de control se realiza cómodamente a través de conexiones por fibra óptica. La potencia consumida para control del dispositivo suele ser de 10 -100 W.

Al igual que los GTOs, los IGCTs están también optimizados para bajas pérdidas en conducción. Su frecuencia típica de conmutación de conexión/desconexión es del orden de los 500 Hz. Sin embargo, en contraposición a los GTOs, la frecuencia superior de conmutación está limitada únicamente por las pérdidas térmicas en funcionamiento y por la capacidad del sistema para disipar este calor. Esta característica, conjuntamente con la transición rápida del dispositivo entre el estado conectado y desconectado, permite aplicar ráfagas de impulsos de conexión/desconexión cortas con frecuencias de conmutación de hasta 40 kHz.

Los IGCTs requieren un circuito protector para la conexión (en lo esencial una inductancia) que limite el gradiente de aumento de la intensidad. Sin embargo, al contrario de los GTOs, el circuito de protección de la desconexión es opcional. Puede omitirse pagando como contrapartida una cierta pérdida en cuanto a prestaciones de intensidad de desconexión.

2.3.2. Plataforma de control DTC

El control directo de torque DTC, ha sido desarrollado y patentado por ABB, es el sistema de control de motores que ABB presentó en 1994 como solución universal para los sistemas de accionamiento de baja tensión y media tensión.

A diferencia del control vectorial tradicional, en que los parámetros que afectan a la tensión eléctrica y a la frecuencia (la intensidad y flujo del motor) se miden indirectamente y donde un codificador de impulsos debe suministrar constantemente nuevos datos para alcanzar un alto grado de precisión, el sistema DTC permite controlar la máquina rápida y flexiblemente sin necesidad de retroalimentación de datos del codificador. Además, las variables utilizadas en el control vectorial del flujo están controladas por un modulador que retarda la respuesta del motor a las variaciones de la velocidad y del par torsor. Por otra parte, como muestra Figura 2.10 el DTC aplica la teoría avanzada de motores para calcular directamente el par torsor sin necesidad de modulador; las variables de control son el flujo en el estator y el par del motor.

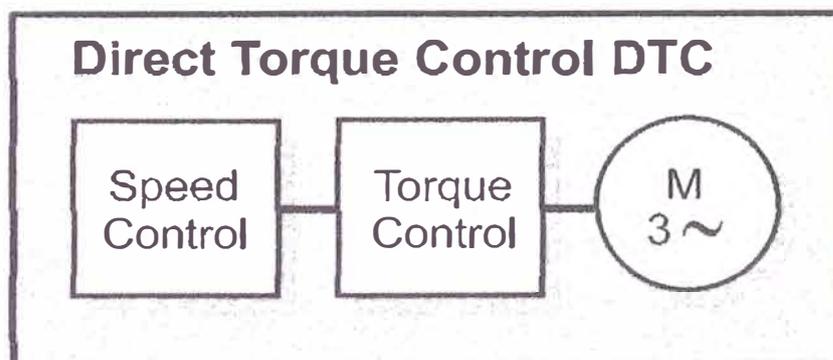


Figura 2.10: Lazo de control de un accionamiento de CA con DTC

Cuando se instalan sistemas de accionamiento DTC con bucle abierto se puede conseguir en muchos casos un alto rendimiento mecánico sin necesidad de tacómetro. Si se requiere más precisión se utilizan sistemas DTC de bucle abierto, aunque el dispositivo de retroalimentación puede ser menos preciso, y por lo tanto más barato, que el utilizado en los sistemas tradicionales de control vectorial de flujo, ya que el accionamiento identifica el error de velocidad y no la posición del rotor.

Las variables de control en el DTC son las siguientes: Flujo en el estator y par torsor, calculado a partir del flujo y la intensidad en el estator. Comparación de la amplitud del flujo y de la desviación del par torsor con los valores de referencia dados; la información que así se obtiene basta para establecer el vector óptimo de tensión en cada momento.

ABB ha investigado el DTC desde 1988, después de la publicación en 1971 y 1985 de la teoría del doctor alemán Blaschke y su colega Depenbrock. ABB ha invertido el equivalente a más de 100 años de Investigación desarrollando esta tecnología. El DTC se basa en la teoría del control de orientación de campo de las máquinas de inducción y en la teoría de autocontrol directo. El DTC describe la manera en la que el control del par y la velocidad se basan directamente en el estado electromagnético del motor de forma similar al motor de CC.

DTC es la primera tecnología que controla las variables de control de par y flujo del motor, dado que el par y el flujo son parámetros del motor que se controlan de forma directa, no es necesario utilizar un modulador, como en el caso de los accionamientos PWM, para controlar la frecuencia y la tensión. Con ello, por tanto, se elimina el intermediario y se acelera considerablemente la respuesta del accionamiento ante cambios en el par requeridos.

Además, el DTC ofrece un control preciso del par sin necesidad de utilizar un dispositivo de retroalimentación.

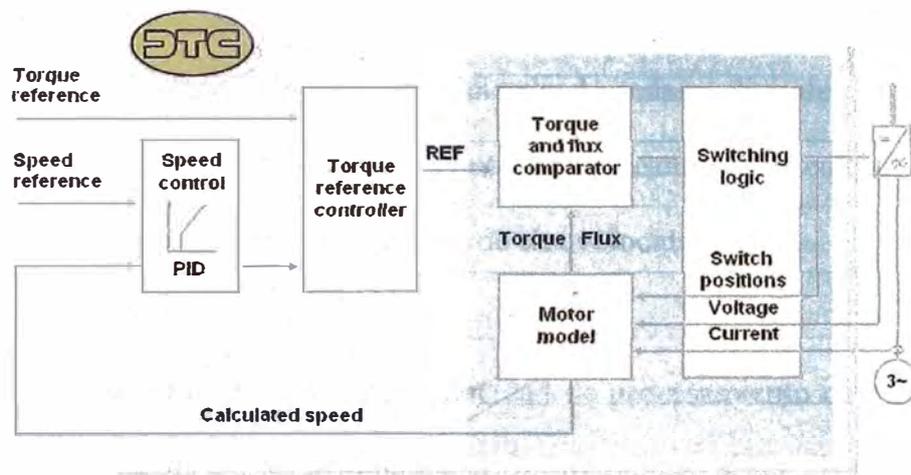


Figura 2.11. Diagrama de bloques del DTC

Según a la figura 2.11 el diagrama de bloques del DTC muestra que tiene dos secciones fundamentales: el bucle de control del par y el bucle de control de velocidad. Durante el funcionamiento normal, se miden simplemente dos intensidades de fase del motor y la tensión de bus CC, junto con las posiciones de los conmutadores del inversor. Esta información alimenta al modelo de

motor adaptivo. La sofisticación de este modelo permite calcular datos precisos sobre el motor. El modelo adaptivo recibe información sobre el motor que se recoge durante la marcha de identificación (Auto ajuste). El modelo del motor emite señales de control que representan directamente el par del motor y el flujo del estator, la velocidad del eje también se calcula en el modelo del motor, estas variables alimentan a los comparadores (son comparados cada 25 microsegundos con un valor de referencia del par y flujo).

Las señales de estado del par y flujo se calculan utilizando un método de control de histéresis de dos niveles, estos a su vez alimentan al selector de pulsos óptimos. En el selector de pulsos óptimos se encuentra, junto con el hardware ASIC, el procesador más avanzado de señales digitales de 40MHZ (DSP), Además todas las señales de control se transmiten por enlaces ópticos para conseguir una transmisión de datos de alta velocidad.

Esta configuración ofrece una gran velocidad de procesamiento de modo que, cada 25 microsegundos se suministra un pulso óptimo a los dispositivos de conmutación del semiconductor del inversor para alcanzar o mantener un par preciso del motor. Esta alta velocidad de conmutación es fundamental para el éxito del DTC. Los principales parámetros de control de motor se actualizan 40,000 veces por segundo. Con ello se obtiene una respuesta extremadamente rápida en el eje que es necesaria para que el modelo del motor pueda actualizar esta información. Es gracias a esta velocidad de procesamiento que se obtienen cifras tan elevadas de rendimiento, incluida una precisión de control de

velocidad estática, sin codificador, de +/- 0.5% y una respuesta del par inferior a 2ms.

Para el DTC, una respuesta típica del par es de 1 a 2ms por debajo de 40Hz. Esto reduce de forma considerable el tiempo de caída de la velocidad durante una oscilación de la carga, con lo cual se mejora el control del proceso y se obtiene una calidad más consistente del proceso.

Con DTC, la velocidad puede controlarse a frecuencias inferiores a 0.5Hz y ofrecer todavía un par al 100% durante todo el proceso hasta llegar a la velocidad cero; este aspecto es especialmente beneficioso para las grúas y los ascensores, donde la carga debe iniciarse y detenerse de forma regular sin sacudidas. Asimismo, con una bobinadora puede controlarse la tensión de cero a la velocidad máxima. En comparación con los accionamientos de vector de flujo PWM, el DTC ofrece una ventaja de ahorro ya que no es necesario el uso de un tacómetro.

Esto es importante en las aplicaciones de precisión, como en el caso de las bobinadoras utilizadas en la industria del papel, donde es imprescindible un nivel preciso y consistente del bobinado.

La precisión de velocidad dinámica del bucle abierto DTC se encuentra entre 0.3 y 0.4 %. Esto depende del ajuste de ganancia del regulador, que puede adaptarse a los requisitos del proceso; después de un cambio súbito de la carga,

el motor puede recuperarse y alcanzar un estado estable con una rapidez considerable.

Control directo del estado electromagnético del Motor. El torque y flujo magnético se controlan en cada ciclo de control al igual que la selección de patrón de conmutación del Inversor; no hay patrones de conmutación predeterminados.

Cálculo exacto del vector de flujo magnético. Utilizando un modelo adaptivo del motor, basado en la data de la placa del motor. Control de torque mediante el uso de bandas de histéresis.

2.4. VARIADOR DE VELOCIDAD EN MEDIA TENSIÓN ACS1000

Con más de un siglo de experiencia en producción industrial, ABB proporciona un acercamiento simple y confiable al control electrónico de potencia en el rango de media tensión.

ABB, con sede en Suiza, ha presentado un nuevo accionador de corriente alterna (CA), denominado ACS 1000, como producto “estándar” para la mayoría de aplicaciones de media tensión en numerosas industrias, especialmente para las industrias del cemento, del petróleo y gas, del agua y aguas residuales, de la minería y química, así como para la producción de energía eléctrica. El drive ACS 1000, un accionamiento de media tensión para el control de velocidad y torque de motores asíncronos, que ha sido diseñado para potencias de 315 a 5000 kW y tensiones de

2.3 kV, 3.3 kV y 4.16 kV. Su excelente rendimiento y compacto diseño – se trata del accionador más pequeño del mundo en su clase - han sido posibles gracias a la incorporación de innovaciones tecnológicas, especialmente en el campo de los semiconductores de potencia, ha permitido construir los accionadores ACS 1000 de forma muy compacta, como el tiristor IGCT (Integrated Gate Commutated Thyristor), el control directo del par motor DTC (Direct Torque Control) y un nuevo filtro de salida de onda sinusoidal.

El variador de velocidad en media tensión ABB modelo ACS1000 se utiliza para el control de velocidad y de par en motores de inducción y síncronas de alta potencia. El control es de alta precisión gracias al DTC y aseguran una alta precisión de velocidad sin uso de realimentación de velocidad, aún cuando existen variaciones de carga. Además se adaptan a la velocidad del motor en función de las necesidades del proceso, ello nos lleva a la optimización del consumo de energía.

La energía que entrega el drive al motor es de una calidad tal que garantiza la utilización de motor estándar nuevo o usado con factor de servicio uno. El drive en media tensión ACS1000 no requiere cables especiales entre éste y el motor, no limita la distancia de los cables entre éste y el motor, no provoca daño prematuro a motores estándares producto de voltajes de modo común, sobre voltajes transitorios, dv/dt , reflexión de forma de onda, descargas parciales y calentamiento por armónicos. Además no induce pulsaciones de torque mayores a 1%, para evitar daños al sistema mecánico accionado por éste.

Los variadores son apropiados para operar en el interior de salas eléctricas, y tienen un grado de protección mecánico IP21.

El variador de velocidad en media tensión tipo ACS1000 fabricado por ABB 1 rededor del mundo hay tres a cuatro fabricantes de MV Drives (ente ellas ABB y Rockwell)

El sistema de accionamiento en media tensión con ACS1000 esta compuesto por un transformador para convertidor de tres debanados.

El Variador ACS1000 tiene una etapa de entrada rectificadora, el bus de continua y un inversor. El rectificador puede ser de 12 pulsos o 24 pulsos diseñado con diodos de potencia. El inversor esta diseñado con semiconductores de potencia IGCTs.

El variador ACS1000 es compacto y tiene bajo número de componentes brindando confiabilidad al equipo. Siendo en total 18 diodos y 14 IGCTs, como se muestra en la Figura 2.12.

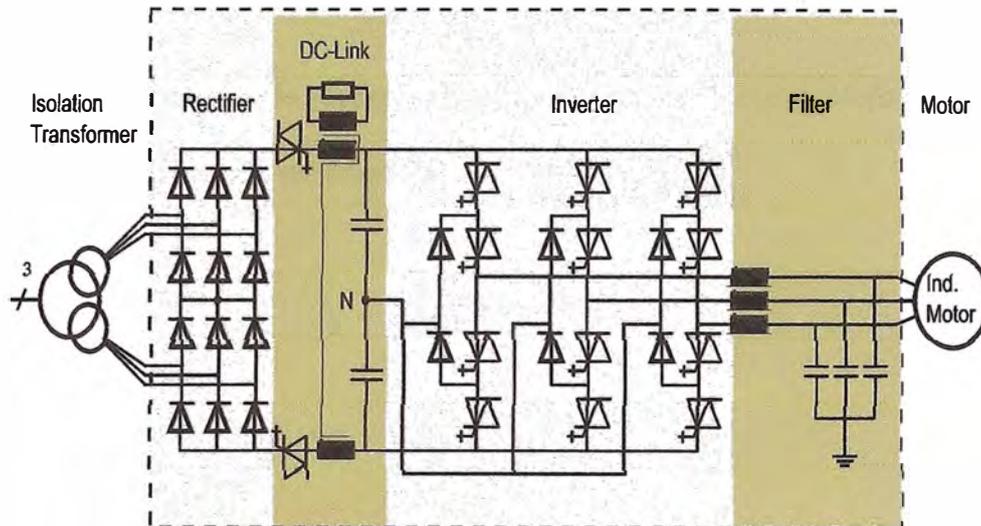


Figura 2.12: Diagrama del MV Drive ACS1000

A la entrada, del sistema de accionamiento en media tensión, tenemos un transformador de aislamiento (transformador para variador): que es un transformador des fasador para generar los pulsos y de esta manera eliminar armónicos. Además el transformador de aislamiento que aísla el sistema de accionamiento de la red.

Además el transformador de aislamiento para variador puede trabajar como reductor de voltaje, si la red es de 13.2 kV y el motor en 4.16kV. Entonces el transformador reduce la tensión de 13.2 kV a 4.16 kV y el sistema de accionamiento variador y motor va trabajar en 4.16 kV.

Según al diseño del drive, el variador tiene un filtro senoidal de salida incorporado y por ello no hay voltajes de reflexión ni de modo común en el motor esto protege el aislamiento y rodamiento del motor por lo tanto, no se requiere sobredimensionar el motor.

Además se puede usar cable estándar. No hay limitación en longitud de cable entre el variador y el motor puede ser hasta 5km.

CAPITULO III

CÁLCULO DE LA POTENCIA DE FRENADO EN FAJA TRANSPORTADORA CON REGENERACIÓN

3.1. DESCRIPCIÓN

El freno dinámico es una resistencia que se pone en paralelo con un motor que mueve una carga inercial justamente para frenarlo cuando se le deja de aplicar tensión. La energía cinética del motor se disipa en forma de calor en la resistencia. También se puede hacer frenado regenerativo (la corriente vuelve a la fuente, pero requiere dispositivos extra en la electrónica de potencia que mueve al motor), o por contracorriente (requiere inversión de tensión para CC o de fases para CA).

Regeneración a la línea. En muchas aplicaciones existe regeneración de energía. Existen variadores de velocidad especializados en tomar dicha energía regenerada y mandarla directamente a la línea de alimentación (Frente Activo).

Largas distancias de fajas transportadoras siempre ha sido un desafío para un drive y controlar la aplicación. Hay muchos métodos de aplicar un drive. Diferentes sistemas

de drive tiene que ser probado para encajar a las condiciones topográficas, al material a ser transportado, a los requerimientos ambientales y al método de operación.

El término frenado describe el efecto de la energía generada en el motor que se realimenta en el variador que lo controla. La realimentación de energía puede darse en situaciones como, por ejemplo, la deceleración, o parada total, de la carga en términos de velocidad o la reducción de la carga cuando ésta se controla verticalmente.

Para controlar el movimiento vertical, es decir, la elevación, se necesita un variador que pueda soportar la regeneración necesaria. Es decir, debe utilizarse un transistor de frenado (por lo general incorporado en los variadores con menos de 15 KW) y una resistencia de frenado adecuados.

Los variadores suelen tener dos modalidades de funcionamiento: moción y regeneración. El término moción hace referencia al tiempo durante el cual el variador controla la carga. Regeneración indica el período en el que la carga intenta hacerse con el control.

La energía se genera porque, si se analiza el tipo de motor, éste es prácticamente idéntico al del generador, y si el rotor gira con la fuerza actual, se dan todas las condiciones necesarias para lo que se denomina regeneración.

Es precisamente esta energía regenerativa la que los diseñadores de equipos y procesos deben tener en cuenta. Existen dos métodos habituales para tratar la energía regenerativa:

Frenado dinámico: el medio más frecuente para controlar la regeneración. En principio, se utiliza una resistencia para absorber la energía y disiparla en forma de calor. En el interior del circuito de conexión de CC del variador, un transistor (estándar o acoplado posteriormente) controla el voltaje del circuito de CC y, en un determinado punto, efectúa una conmutación rápida, con lo que la resistencia (acoplada externamente debido al calor) forma parte o se excluye del circuito, disipando de este modo el exceso de energía. La principal ventaja de este sistema es que se necesitan muy pocos componentes adicionales, la tecnología es sencilla y funciona.

Frenado regenerativo: se utiliza un rectificador controlado en paralelo con el existente para permitir que la energía regenerativa se reutilice en el sistema principal. El control del sistema reside en el propio variador. Debido al mayor coste de este diseño, suele aplicarse únicamente en variadores diseñados en exclusiva para funcionar en áreas de aplicación propensas a la regeneración.

Si no se adoptan las medidas correctivas indicadas, la energía que regenera el motor podría causar un aumento del voltaje en la conexión a CC, lo que provocaría golpes en la carga o sobrecarga en el variador o daños importantes en los componentes internos del mismo.

Consideremos a la maquina impulsada por el motor reducida a un volante de inercia acoplado al motor, para acelerar dicho volante el motor debe suministrar energía mecánica que recibe del variador en forma de energía eléctrica.

El variador tiene incluida rampas ajustables que permiten controlar el incremento y decremento de velocidad en función del tiempo, controlando de esa forma el flujo de energía.

Durante la rampa de frenado el motor trabajando como generador retira energía mecánica del volante que representa a la maquina, para permitir su frenado. Esa energía es devuelta, en forma de energía eléctrica al variador en proceso denominado regeneración. Dado que el inversor interno del variador es reversible, la energía devuelta o regenerada por el motor es enviada por el inversor a los capacitores del filtro de salida del rectificador de entrada del variador. Los capacitores de filtro son el punto de unión entre el rectificador de entrada y el inversor de salida, suele denominarse a dicha conexión Bus de Corriente Continua.

La energía regenerada es función del tiempo o rampa de desaceleración. Dependiendo de las características del frenado y las inercias en juego, los capacitores pueden alcanzar valores elevados e inadmisibles de tensión.

A fin de limitar ese proceso los variadores incluyen un chopper de freno que al alcanzarse un valor de tensión prefijado en los capacitores del filtro actúa derivando esa energía proveniente del frenado a una resistencia externa de disipación (a fin de

proteger las partes internas del variador). La resistencia de disipación suele denominarse resistencia de freno o frenado.

Normalmente los capacitores de filtro del rectificador se encuentran a alta tensión (es la tensión de la red de suministro rectificadas). Durante el frenado, al actuar la chopper aparece sobre los bornes de la resistencia de freno la tensión de dichos capacitores.

Debe prepararse la instalación para tal fin, instalando además los medios necesarios de protección a las personas. Si bien los variadores cuentan con protecciones internas en la chopper de freno, en caso de una falla por ejemplo un cortocircuito en la etapa de potencia de la chopper, la resistencia de freno puede quedar conectada permanentemente al Bus de Continua disipando energía excesiva aun cuando no haya frenado, hasta alcanzar temperaturas peligrosas para la instalación. Debe instalarse un protector para este evento consistente en un sensor de temperatura o corriente en la resistencia de freno que interrumpa la alimentación al variador.

El freno dinámico es una resistencia que se pone en paralelo con un motor que mueve una carga inercial justamente para frenarlo cuando se le deja de aplicar tensión. La energía cinética del motor se disipa en forma de calor en la resistencia.

También se puede hacer frenado regenerativo (la corriente vuelve a la fuente, pero requiere dispositivos extra en la electrónica de potencia que mueve el motor), o por contracorriente (requiere inversión de tensión para CC o de fases para CA).

En la gran minería se presenta una gran cantidad de aplicaciones con procesos regenerativos en la cual los las maquina trabajan como motores en un momento y en otro momento como generadores, es importante conocer en que tipo de aplicaciones y en que momento se da el proceso regenerativo, con la finalidad de controlar esta energía regenerativa en beneficio propio y no perturbar el sistema eléctrico y no dañe equipos electrónicos.

Hay distintas aplicaciones de accionamientos que presentan este tipo de regeneración de energía en la cual los motores van estar trabajando como generador como consecuencia que el motor esta siendo accionado por la carga ya sea cuando la carga por la propia inercia se mueve y mueve al motor que inicialmente arranco el proceso.

Analizaremos el caso de una faja transportadora inclinada que lleva el mineral de arriba hacia abajo, la faja es accionado por un motor. Y para al control y regulación de velocidad de la faja transportadora se utiliza un MV Drive.

Inicialmente el drive controla al motor y el motor mueve a la faja transportadora. En una operación normal el motor controla a la carga por medio de la regulación del movimiento de la faja transportadora, pero como la faja es inclinada y lleva mineral de arriba hacia abajo en un momento determinado por la inercia y dependiendo de la masa de la carga del mineral la carga se moverá por su propia inercia porque esta en una pendiente y esto jala la motor haciéndolo girar mas rápido que al controlado por el drive y esto accionará un regeneración de energía y esta energía es necesario

controlarlo mediante un disipación, devolviendo a la red depende con que tecnología uno cuanta para dar solución a esta energía regenerativa.

3.2. ¿QUÉ ES UNA REGENERACIÓN?

Cuando el rotor de un motor de inducción gira más lento que la velocidad fijada por la frecuencia aplicada, el motor esta transformando la energía eléctrica en energía mecánica al eje del motor. Este proceso es referido como motor. Cuando el rotor gira más rápido que la velocidad sincrónica fijado por el drive, el motor esta transformando energía mecánica del eje del motor en energía eléctrica. Esto puede ser una rampa para parar, una reducción en velocidad comandada o una carga overhauling que causa la velocidad del eje es mayor que la velocidad sincrónica. En cualquier caso, esta condición es referida como 'regeneración'.

El MV Drive tiene además la capacidad de regenerar un frenado inherente en aplicaciones en las que la carga sobrepasa al motor, o en las que se tienen que atenuar con celeridad grandes cargas de inercia.

3.3. MAPA DE LAS APLICACIONES DE ACCIONAMIENTOS EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD Y PAR

Las aplicaciones de accionamientos se pueden dividir en tres categorías principales en función de la velocidad y el par, como se muestra en la Figura 3.1. La aplicación de accionamientos de CA más habitual es en un cuadrante, en la que la velocidad y el par siempre tienen la misma dirección: el flujo de la potencia (velocidad multiplicada por el par) va del inversor al proceso. En estas aplicaciones, que suelen ser de

bombas y ventiladores, el par de la carga tiene un comportamiento cuadrático, por lo que se las suele llamar aplicaciones a par variable. Algunas aplicaciones en un cuadrante como las extrusoras o las cintas transportadoras son aplicaciones a par constante (el par de la carga no tiene por qué cambiar al cambiar la velocidad).

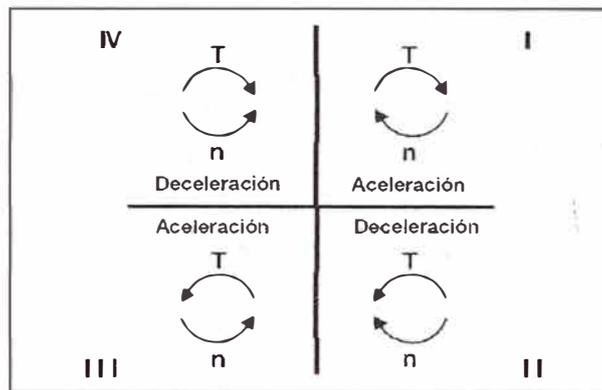


Figura 3.1: Mapa de las aplicaciones de accionamientos en función de la velocidad y el par

La segunda categoría son las aplicaciones en dos cuadrantes, en las que, sin que cambie la dirección de rotación, puede cambiar la dirección del par (el flujo de potencia puede ir del accionamiento al motor o viceversa). Un accionamiento en un cuadrante puede serlo en dos, por ejemplo, al decelerar un ventilador más rápido que de forma natural con las pérdidas mecánicas. En muchas industrias, un paro de emergencia puede precisar de un funcionamiento en dos cuadrantes aunque el proceso sea en un cuadrante.

La tercera categoría son las aplicaciones en cuatro cuadrantes en las que puede cambiar libremente la dirección de la velocidad y el par. Las más típicas son

ascensores, cabrestantes y grúas, si bien muchos procesos de corte, plegado, tejeduría y bancos de pruebas de motores pueden necesitar que la velocidad y el par cambien repetidamente. También cabe mencionar procesos en un cuadrante en los que el flujo de potencia va principalmente de la maquinaria al inversor, como una bobinadora o una cinta transportadora descendente.

Por lo general, desde un punto de vista de ahorro de energía, un motor de CA con un inversor es mejor que los métodos de control mecánico como el estrangulamiento. Sin embargo, se presta menos atención al hecho de que muchos procesos pueden contar con un flujo de la potencia del proceso al accionamiento, aunque no se ha estudiado cómo utilizar esta energía de frenado de la forma más económica.

3.4. EVALUAR LA POTENCIA DE FRENADO

3.4.1. Principios generales del dimensionado del frenado eléctrico

La evaluación de la necesidad de frenado empieza por la mecánica. Normalmente se tiene que frenar el sistema mecánico en un tiempo concreto, o existen subciclos del proceso en los que el motor funciona en el generador a velocidad constante o ligeramente variable.

Es importante destacar que los dispositivos empleados en el frenado eléctrico se dimensionan en función de la potencia de frenado. La potencia mecánica de frenado depende del par y la velocidad de frenado, según la Fórmula (3.1). Cuando mayor sea la velocidad, mayor será la potencia. Esta potencia se

transmite a una tensión e intensidad determinadas. Cuanto mayor sea la tensión, menos intensidad se necesita para una misma potencia, según la Fórmula (3.2). La intensidad es el componente principal que define el coste en accionamientos de CA de media tensión.

$$P_{Mecánica} = T * \omega = T * \frac{n}{60} * 2\pi \quad (W) \quad (3.1)$$

$$P_{Eléctrica} = U_{CC} * I_{CC} = \sqrt{3} * U_{CA} * I_{CA} * \cos\phi \quad (W) \quad (3.2)$$

En la Fórmula (3.2) podemos observar la expresión $\cos\phi$. Esta expresión define la intensidad del motor empleada para magnetizar el motor. La intensidad de magnetización no crea ningún par y, por tanto, se ignora.

Por otra parte, esta intensidad de magnetización del motor no se toma de la fuente de alimentación de CA que alimenta al convertidor (la intensidad al inversor es menor que la intensidad al motor). Ello significa que, en la sección de alimentación, $\cos\phi$ suele ser aproximadamente 1,0. Cabe destacar en la Fórmula (3.2) que se ha supuesto que no se produce ninguna pérdida cuando la potencia de CC se convierte en potencia de CA. En esta conversión se producen algunas pérdidas que se pueden ignorar en este contexto.

3.4.2. Conceptos básicos de descripción de cargas

Las cargas se suelen clasificar en cargas a par constante o a par cuadrático. Una carga a par cuadrático significa que el par de la carga es proporcional al

cuadrado de la velocidad. También significa que la potencia es la velocidad elevada al cubo. En las aplicaciones a par constante, la potencia es directamente proporcional a la velocidad.

Par constante:

C: constante

$$T_{Carga} = C \quad (Nm)$$

$$P_{Carga} = T * \omega = C * \omega \quad (W)$$

Par cuadrático:

$$T_{Carga} = C * \omega^2 \quad (Nm)$$

$$P_{Carga} = T * \omega = C * \omega^2 * \omega = C * \omega^3 \quad (W)$$

3.4.3. Cómo evaluar el par y la potencia de frenado

En caso de funcionamiento en régimen permanente (α (aceleración angular) = cero) el par del motor tiene que hacer que el par de rozamiento corresponda proporcionalmente a la velocidad angular y al par de la carga a esa velocidad angular. El par y la potencia de frenado necesarios en función del tiempo varía mucho en estos dos tipos distintos de carga.

$$T = -[J * \alpha + \beta * \omega + T_{Carga}(\omega)] \quad (3.3)$$

Estudiamos primero el caso en que la carga es a par constante y el sistema de accionamiento no puede generar el par de frenado (accionamiento con funcionamiento en un cuadrante). Para calcular el tiempo de frenado necesario se puede aplicar la siguiente ecuación. Hay que fijarse en que la fórmula (3.3) destaca que el par necesario para la aceleración (o deceleración) inercial, el par de rozamiento y carga está en dirección opuesta al par del motor.

$$0 = -\left[J * \alpha + \beta * \omega + T_{Carga}(\omega)\right] \quad (3.4)$$

En la práctica es difícil definir exactamente el efecto del rozamiento. Al asumir que el rozamiento es igual a cero, el margen de error en el tiempo calculado es inexistente.

$$T_{Carga}(\omega) = J * \alpha = J \frac{(\omega_{Arranque} - \omega_{Final})}{t} = J * \frac{(n_{Arranque} - n_{Final}) * 2\pi}{t * 60} \quad (3.5)$$

Para despejar t se deriva de la fórmula

$$t = J * \frac{(n_{Arranque} - n_{Final}) * 2\pi}{60 * T_{Carga}(\omega)} \quad (3.6)$$

Suponiendo que la inercia de la carga sea de 60 kgm² y que el par de la carga sea de 800 Nm en todo el rango de velocidades, con una carga a 1000 rpm y el par del motor puesto a cero, la carga pasa a velocidad cero en el tiempo:

$$t = J * \frac{(n_{Arranque} - n_{Final}) * 2\pi}{60 * T_{Carga}(\omega)} = 60 * \frac{(1000 - 0) * 2\pi}{60 * 800} = 7.85s$$

Esto es así en las aplicaciones en las que el par de la carga es constante al empezar el frenado. Cuando desaparece el par de la carga (por ej., al romperse una cinta transportadora) aunque no cambie la energía cinética de la mecánica, el par de la carga que deceleraría la mecánica no está activo. En tal caso, si el motor no está frenando, la velocidad sólo disminuirá como resultado del rozamiento mecánico.

Ahora pensemos en un caso en el que se exige que el sistema mecánico frene en un tiempo determinado a partir de una velocidad concreta. El ventilador de 90 kW tiene una inercia de 60 kgm². El punto de funcionamiento nominal del ventilador es 1000 rpm. El ventilador se tiene que parar en 20 segundos. El efecto de frenado natural provocado por las características de la carga es el máximo al principio del frenado. La energía máxima de la inercia se puede calcular con la fórmula (3.7). La potencia media de frenado se puede calcular dividiendo esta energía de frenado por el tiempo. Este valor es, por supuesto, muy conservador debido a que no se tienen en cuenta las características de carga del ventilador.

$$W_{Kin} = \frac{1}{2} * J * \omega^2 = \frac{1}{2} * J * \left(\frac{n}{60} * 2\pi\right)^2 = P * t \quad (W) \quad (3.7)$$

$$P = \frac{1}{2} * J * \left(\frac{n}{60} * 2\pi\right)^2 * \frac{1}{t} = \frac{1}{2} * 60 * \left(\frac{1000}{60} * 2\pi\right)^2 * \frac{1}{20} = 16.4kW$$

Cuando se dimensiona el chopper de frenado para este valor de 16,4 kW y la capacidad de frenado del motor a una velocidad mayor es muy superior a 16,4

kW, el accionamiento debe incorporar una función de supervisión para obtener la máxima potencia de regeneración, función disponible en algunos accionamientos.

3.5. CÁLCULO DE LA POTENCIA REGENERATIVA EN UNA FAJA TRANSPORTADORA

El dimensionado del motor y la creación del concepto del sistema drive esta basado en los siguientes requerimientos:

Tabla 3.1: Parámetros técnicos de la faja transportadora

Parámetro	Símbolo	Unidad	Faja transportadora
Entradas			
Capacidad de la faja	Qt	t/h	1200
Resistencia al rozamiento de la faja	C	-	0.5200
Fricción en poleas 0.025 hasta 0.030	f	-	0.0250
Peso de la faja/m incl. partes rotativas	Gm	Kg/m	80
Distancia entre centros	L	m	2397
Ancho de la faja	B	mm	1200
Altura	H	m	-193
Diámetro del tambor	D	m	1.02
Velocidad de la faja	v	m/s	3.30
Relación de cambio	i	-	25
Eficiencia de la caja de engranajes	n	%	0.98
Salida			
Potencia en el eje del motor a plena carga requerido	P	kW	-449

La potencia del drive es determinado por la siguiente ecuación:

$$P = \frac{C * f * L}{367 * \eta} * (3.6 * G_m * v - Q_t) + \frac{Q_t * H}{367} \quad (W)$$

Reemplazando los valores de la tabla 1, en la ecuación, tenemos:

$$P = \frac{0.52 * 0.025 * 2397}{367 * 0.98} * (3.6 * 80 * 3.30 - 1200) + \frac{1200 * (-193)}{367}$$

$$P = -652 \text{ kW}$$

Considerando una regeneración de 60% de la potencia de la carga.

Cada sistema drive consiste de un convertidor de frecuencia accionando un motor jaula de ardilla, un disco de freno entre el motor y la caja de engranaje (el propósito del disco de freno es para mantener la carga de la faja cuando esta fuera de operación, cuando esta estacionario, y, si hay una caída de potencia, para frenar el sistema drive con cuidado hasta velocidad cero).

Bajo condiciones normales de operación el motor funciona a una velocidad definida. La velocidad puede ser disminuida debajo de la velocidad nominal. Por cualquier razón, pero puede también ser incrementado arriba de la velocidad nominal con la finalidad de llenar una reserva vacía, etc.

CAPITULO IV

SOLUCIÓN CON UN SISTEMA MV DRIVE ABB PARA EL CONTROL DE LA ENERGÍA REGENERATIVA CON UNA RESISTENCIA DE FRENADO

4.1. DIMENSIONADO DE UN SISTEMA DE ACCIONAMIENTO EN MEDIA TENSIÓN

El dimensionamiento consiste en definir todas las características y opciones especiales del variador, seleccionar la tecnología, el fabricante y el modelo del variador de acuerdo a las exigencias de la aplicación de accionamiento, teniendo en cuenta detenidamente todos y cada uno de los factores y según a las especificaciones del cliente con el fin de satisfacer los requisitos de regulación de la velocidad del motor.

El dimensionado requiere el conocimiento íntegro del sistema, incluyendo el suministro eléctrico, la máquina impulsada mediante el accionamiento, las condiciones ambientales, el motor y el accionamiento. El tiempo invertido en la fase de dimensionado puede traducirse en considerables ahorros de costos.

Al seleccionar un variador de corriente alterna de media tensión, el cliente tiene que considerar determinados problemas potenciales relacionados con: las condiciones en el lado de alimentación, la variación de la velocidad y el motor.

En el lado de alimentación hay tres aspectos que requieren especial atención: los armónicos, el factor de potencia de entrada y el transformador aislamiento de entrada.

En primer lugar, comprobar las condiciones iniciales de la red y la carga. Para seleccionar el convertidor de frecuencia y el motor correctos, comprobar el nivel de red (2.30 kV, 3.3 kV, 4.16 kV, 6.0 kV o 6.9 kV) y la frecuencia (50 Hz o 60 Hz). La frecuencia de red no limita el rango de velocidad de la aplicación.

El accionador ACS 1000 ha sido diseñado para cumplir las normativas de armónicos, tales como las IEEE 519.1992 y la G5/3 del Reino Unido, prácticamente en todas las instalaciones con entrada de rectificador de 12 pulsos. El accionador no requiere filtros adicionales de armónicos para cumplir las normativas. El quinto y séptimo armónicos, que por tener las mayores amplitudes son los más problemáticos en los sistemas de media tensión, se suprimen con el rectificador de puente de diodos no controlados, de 12 pulsos, del accionador ACS 1000. En redes más débiles, o si hay que satisfacer requisitos de armónicos más estrictos, puede emplearse una unidad de 24 pulsos, como se muestra en la Figura 4.1.

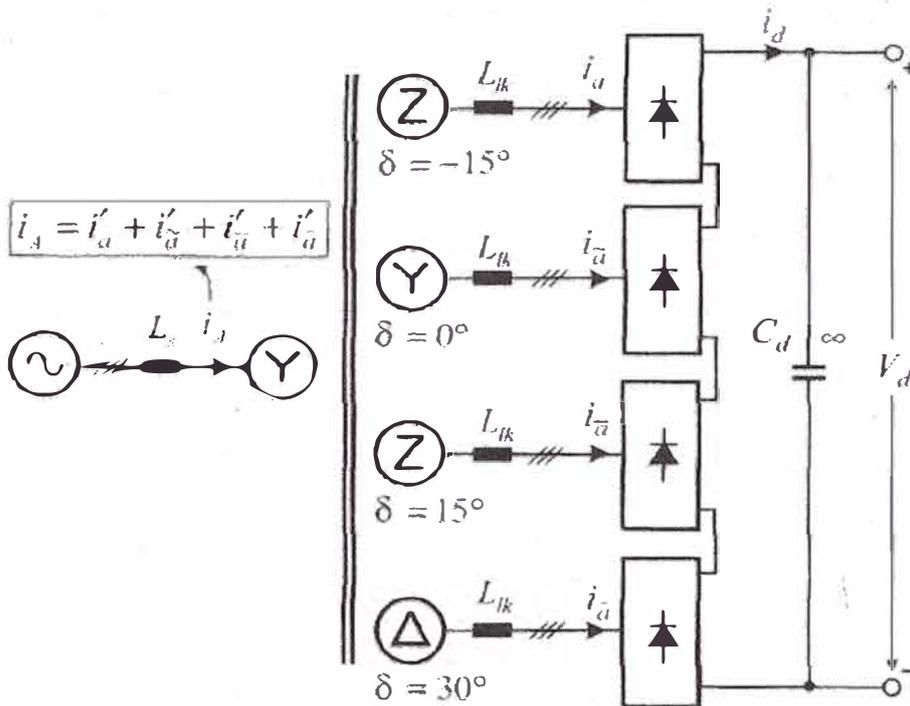


Figura 4.1: MV Drive ACS 1000 con rectificador de 24 pulsos

El diseño del rectificador de puente de diodos, el accionador ACS 1000 proporciona un factor de potencia fundamental de al menos 0,97 y un factor de potencia total superior a 0,95. El factor de potencia permanece constante en toda la gama de velocidades y por tanto no se precisa equipamiento adicional para corregirlo. Esta es una ventaja que las topologías de accionador utilizadas por otros fabricantes no suelen ofrecer. El elevado factor de potencia del accionador ACS 1000 se traduce en un ahorro importante de costes, ya que no es necesario instalar equipamiento adicional alguno para la compensación de la energía reactiva y, además, se pueden dimensionar los cables y transformadores para corrientes menores.

Hay muchos factores que uno debe tener en cuenta cuando se tiene que hacer un dimensionamiento de un sistema de accionamiento con variador de velocidad ABB.

Para el dimensionamiento es necesario conocer la aplicación, es decir, cual es la carga un molino, bomba, ventilador, etc. Después necesitamos conocer el tipo de del motor y sus valores nominales de operación, por otro lado se requiere conocer los niveles de tensión de la red y la potencia de cortocircuito que alimenta la planta. Finalmente la altitud sobre le nivel del mar donde se instalará el drive.

En los sistema MV Drives hay muchos factores que uno debe tomar en cuenta para realizar la ingeniería básica y el dimensionamiento del MV Drive, como el tipo de aplicación, los valores de potencia, niveles de tensión, la altitud de la instalación, si el motor es nuevo o existente, tipo de motor, la potencia de cortocircuito de la red. El objetivo es buscar la mejor solución tanto técnica como económica. A continuación detallamos cada uno de los principales datos requeridos que uno debe tener en cuenta para un buen dimensionamiento del sistema MV drive:

4.1.1. Factores para corrección por altitud sobre el nivel el mar donde se instalará el variador

Por arriba de 2000 msnm (metros sobre el nivel del mar), debe tenerse en cuenta la reducción de la potencia de salida en 1% por cada 100m adicionales.

Los principales clientes mineros, donde se aplicarán MV Drives, están ubicados a una altitud geográfica superior a 2000 msnm, por lo tanto se aplicarán factor de corrección por altitud geográfica correspondiente.

A nivel del mar se tiene un nivel de aislamiento del aire del medio ambiente por la densidad del aire. Las condiciones ambientales a mayor altitud son diferentes, es decir, la densidad del aire a mayor altura es menor por lo tanto el medio ambiente presenta menor aislamiento, entonces la distancia entre fases debe ser mayor.

Según la exposición a la intemperie o la protección contra ella del trayecto de aislamiento contemplado en un aparato eléctrico, se habla de aislamiento exterior o interior. La resistencia eléctrica de la envoltura exterior depende de las características del aire libre que rodea a esta envoltura (densidad del aire, humedad, etc.).

A mayor altura sobre el nivel del mar disminuye la densidad del aire y con ello su resistencia eléctrica, debiéndose considerar esto al dimensionar el aislamiento de equipos de emplazamiento superior a los 1000m sobre el nivel del mar. La corrección mediante un factor de altitud se refiere bien a la tensión nominal o bien al poder de aislamiento del aparato en cuestión.

Procedimiento de corrección:

Método 1: Conociendo la altitud del emplazamiento se obtiene, de la Figura 4.2, el factor correspondiente de altitud k . Luego se dividen por el factor k los valores de las tensiones de ensayo alternas y de choque, que correspondan a la tensión nominal del aparato. Las nuevas tensiones de ensayo valen para los

ensayos en laboratorios de alta tensión situados a más de 1000 m sobre el nivel del mar, y determinan el dimensionado del aislamiento.

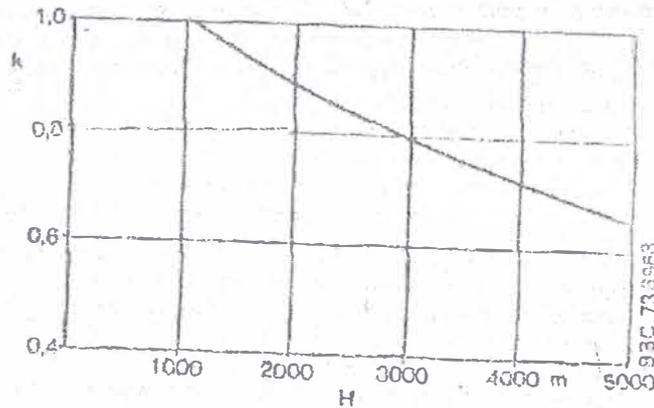


Figura 4.2: Curva para determinar el factor de altitud k, partiendo de la altitud H (según IEC 71 A)

Método 2: Obtenido el factor de altitud k correspondiente, se divide la tensión nominal de la red respectiva por este factor, resultando la nueva tensión nominal que determina el aparato que debe elegirse.

Para el presente análisis, altitud de emplazamiento 2700 m: factor de corrección obtenido $k = 0,8$; tensión nominal de la red 4.16 kV.

La tensión del equipo:

Obtenido el factor de altitud $k = 0,8$, se divide la tensión nominal de la red respectiva (4.16kV) por este factor, resultando la nueva tensión nominal, correspondiente para la elección del aparato:

$$U_H = \frac{4.16kV}{0.8} = 5.2kV$$

Los Drives para emplazamiento a 2700 m de altitud deben ser dimensionados para $U_m = 5.2 \text{ kV}$.

Dependiendo mucho del fabricante y la tecnología hay distintos factores de derating. Para el caso del MV Drive ABB modelo ACS1000, tenemos las siguientes recomendaciones indicadas por fábrica:

Tensión del motor 4.0 kV: hasta 3000 m

Tensión del motor 3.3 kV: hasta 4000 m

Tensión del motor 2.3 kV: hasta 5000 m

En ubicaciones por encima de 2000 m sobre el nivel del mar, debe tenerse en cuenta la reducción de la potencia de salida de régimen del convertidor en 1% por cada 100 m adicionales. Es muy probable que tenga que seleccionar un convertidor con una potencia de salida superior.

4.1.2. Derating por Temperatura

Si la temperatura en el interior de la sala eléctrica, donde se instalará el drive, se encuentra por encima de 40°C, la potencia de salida se reduce en un 1.5% por cada 1°C adicional hasta la temperatura máxima permitida de +50°C.

Es muy importante conocer los niveles de temperatura y la calidad del aire (para drives enfriados por aire) de la sala eléctrica donde estará instalado MV Drive para fijar el grado de protección del drive, el drive puede estar en interior mina, en una sala eléctrica, o en una planta de cemento donde hay presencia de polvo, estas condiciones me puede limitar en cuanto al grado de protección del drive.

Para todo los MV Drives ABB, según las recomendaciones de fabrica, el drive esta diseñado para trabajar en un ambiente donde la temperatura se encuentre entre 0...+40 ° C.

Por encima de +40 °C, la potencia de salida nominal se reduce en un 1.5% por cada 1 °C adicional hasta la temperatura máxima permitida de +50 °C.

Si la temperatura ambiente es de 50 °C, el derrateo se calcula como $100\% - 1,5\%/^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 85\%$. Por lo tanto, la potencia de salida máxima es el 85% del valor nominal.

4.1.3. Potencia de corto circuito en el sistema eléctrico

Cuando se piensa instalar un MV Drive dentro de una planta siempre se piensa en los armónicos, el drive genera un nivel de armónicos dependiendo de la tecnología, y a la calidad del suministro eléctrico. La potencia de cortocircuito de la red es un dato importante para determinar la tecnología que requiere el

drive para la aplicación con la finalidad de minimizar los armónicos y cumplir con los estándares IEEE 519.

El nivel de cortocircuito en cada barra del sistema eléctrico de potencia, será determinado a partir del valor informado por la Empresa Eléctrica Provedora de energía, en el punto de conexión. Este último valor podrá ser incrementado en un 50 % para cubrir expansiones del sistema primario de dicha empresa. A partir de este dato y de los resultados obtenidos en los estudios eléctricos, se determinará el valor de corriente de cortocircuito en cada una de las barras del sistema eléctrico proyectado. Estos valores serán usados para la especificación técnica de los equipos eléctricos.

La potencia de corto circuito disponible en la alimentación de un sistema está definida por la corriente trifásica de corto circuito y por el voltaje nominal.

I_{sc} [A rms] flujo de corriente en cada fase durante un corto circuito trifásico en régimen estacionario.

V_{nom} [V rms] voltaje nominal de línea a línea del sistema de alimentación.

S_{sc} [VA] Potencia de corto circuito, también llamada capacidad de corto circuito.

$$S_{SC} = V_{nom} * I_{SC} * \sqrt{3}$$

(VA)

Usualmente, Ssc se expresa en MVA.

$$P_{cc} [VA] = \sqrt{3} * U_{nom} [kV] * I_{cc} [kA] \quad (VA)$$

Para diseñar un sistema MV Drive es importante conocer el máximo y el mínima potencia de corto circuito a que el drive y su Transformador se verán expuestos cuando estén operando. El Ssc afecta al sistema del MV Drive de varias formas:

- resistencia mecánica requerida del transformador del drive
- funcionalidad conceptualmente apropiada de las protecciones
- caída de voltaje debida a conmutaciones en los rectificadores
- estabilidad total del sistema / proceso y capacidades dinámicas
- armónicos de voltaje y corriente en la alimentación, distorsión armónica total

4.1.4. Tipo de carga del motor

Es esencial conocer el perfil de carga (rango de velocidad, par y potencia) para seleccionar un motor y un variador de velocidad adecuados para la aplicación. Hay aplicaciones de torque variable como los ventiladores, bombas. También hay otras aplicaciones de torque constante como las fajas transportadoras, elevadores.

Según el tipo de carga del motor uno puede dimensionar el drive especialmente para los niveles de sobrecarga que requiere la aplicación y según la experiencia adquirida en campo.

Un tipo de carga de par constante es típico cuando se están manejando volúmenes fijos. Compresores de tornillo, alimentadores y cintas transportadoras son aplicaciones típicas a par constante. El par es constante y la potencia es linealmente proporcional a la velocidad como se muestra en la Figura 4.3.

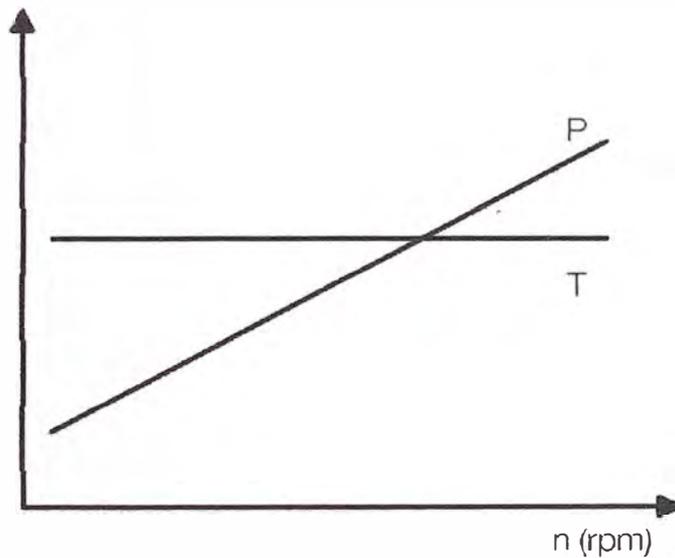


Figura 4.3: Curvas de par y potencia típicas
en una aplicación a par constante

El par cuadrático es el tipo de carga más común. Las aplicaciones típicas son bombas y ventiladores centrífugos. El par es cuadráticamente proporcional a la velocidad, y la potencia lo es cúbicamente como muestra la Figura 4.4.

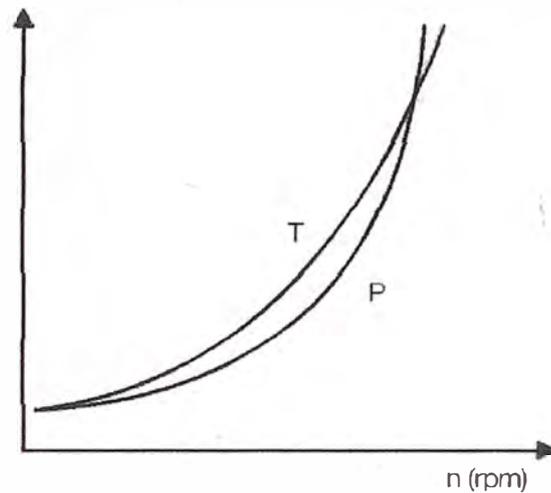


Figura 4.3: Curvas de par y potencia típicas en una aplicación a par cuadrático

4.1.5. Datos del motor

Un motor eléctrico debe considerarse como una fuente de par. El motor deberá admitir sobrecargas del proceso y ser capaz de producir una cantidad de par concreta. No deberá superarse la capacidad de sobrecarga térmica del motor. Asimismo, en el momento de considerar el par máximo disponible en la fase de dimensionado, es necesario dejar un margen de alrededor del 30% para el par máximo del motor.

Entonces se debe elegir un motor en función de la capacidad de carga térmica, rango de velocidad y al par máximo necesario.

Es necesario saber el tipo de motor que ha sido seleccionado previamente según a la aplicación (motor de inducción jaula de ardilla o de rotor bobinado, motor sincrónico y motor de imán permanente) y además es importante conocer si el motor es existente o nuevo. Cuando se dimensiona un variador de velocidad en media tensión ABB modelo ACS1000 no es necesario saber que el motor sea nuevo o existente, ya que todo MV Drive ABB puede trabajar con motor y cable estándar, y además el motor tiene que ser estándar y el cable también tiene que ser estándar.

También se requiere conocer más datos al detalle del motor como potencia, eficiencia, voltaje nominal, frecuencia nominal, número de polos y velocidad nominal. Por otro lado, si el motor es sincrónico es necesario conocer los siguientes datos adicionales como la excitación DC.

4.2. DIMENSIONADO DEL VARIADOR DE VELOCIDAD DE VELOCIDAD

El convertidor de frecuencia se dimensiona según a las condiciones iniciales y al motor elegido. Será necesario comprobar la capacidad del convertidor de frecuencia de producir la intensidad y potencia requerida. Debería sacarse el máximo partido de la capacidad de sobrecarga potencial del convertidor de frecuencia en caso que carga sea cíclica de corta duración.

Dimensionar el drive significa elegir la tecnología, tipo del drive y marca para la aplicación solicitada, además se debe dimensionar el drive según a los niveles de

sobrecarga y a la altitud de trabajo. Por otro lado también se debe definir el tipo de enfriamiento que requiere el drive ya sea por aire o agua según al nivel de potencia.

Defiendo el hecho de que hay que sobredimensionar los variadores en un 50%, para garantizar la solución y tener el par requerido.

Si tenemos un motor de 1,1kw que hasta ahora funcionaba conectado directo a la red. Ahora solicitan que le instale un variador de frecuencia. El variador para este motor (1,1kw), al instalarlo compruebo como el motor no es capaz de arrancar, vamos que le falta par, he tocado lo parámetros referentes al par y nada el motor sigue igual, ahora lo vuelves a conectar directamente a la línea y funciona bien. Se que lo variadores reducen el par del motor, entonces cual puede ser la solución, sobredimensionar el variador, o mejor cambiar el motor por uno de mayor potencia.

Algunos te dirán que pongas tal o cual marca, o tal o cual modelo que si se pueden configurar para entregar más par. La experiencia nos ha enseñado que hay que sobredimensiones el variador. Sobredimensionar el variador para mi es lo mas adecuado.

Los fabricantes de variadores te dan unas curvas de par para sus variadores, verifica las curvas del variador que tengas. No todos los variadores son iguales, existen muchos algoritmos de control, posiblemente el variador que utilices siga un algoritmo tensión frecuencia (V/f) también los llaman 'variadores escalares'. Mira el manual del variador, tal vez encuentres algún parámetro para variar el algoritmo a

'Vectorial', un vectorial sí que te dará un buen par (depende de las curvas que te da el fabricante claro).

Si decides arrancar un motor con un variador debes primero sobredimensionar el valor de la potencia admitida por este al menos en un 30%, pues a sí tendrás la seguridad de que no sufrirás por fallas como sobre corrientes o sobre tensiones, porque un variador sobre dimensionado te permite arrancar el motor sin sufrir esas fallas.

Tabla 4.1: Datos del motor y la aplicación para el dimensionado del drive

CONDICIONES DEL LUGAR	
Instalación	Interior de la sala eléctrica, libre de gases corrosivos e inflamables, neblina de aceite, polvo y suciedad.
Altitud	2700 metros sobre el nivel del mar
Temperatura máxima del ambiente	+40 °C
Temperatura mínima del ambiente	+1 °C
DATOS DE LA RED DE ALIMENTACIÓN	
Potencia de cortocircuito simétrico máximo en 4160V	500 MVA
Potencia de cortocircuito simétrico mínimo en 4160V	360 MVA
Tensión de alimentación	4160 V AC
Tolerancia en la tensión de alimentación	± 10%. El drive estará diseñado de tal manera que dentro de la tolerancia dada, esta caída de voltaje puede ser compensada mediante un incremento en la

	corriente del motor a fin de mantener la potencia nominal.
Frecuencia de alimentación	60 Hz
Tolerancia en frecuencia de alimentación	$\pm 2\%$
Tipo	Trifásico, 3 hilos
Voltaje de alimentación auxiliar trifásico	480 V AC
Variación en la tensión de alimentación auxiliar	$\pm 10\%$
DATOS DEL MOTOR	
Potencia en el eje del motor	449 kW
Eficiencia del motor	96.6 %
Factor de potencia del motor	0.884
Tipo	Motor de inducción jaula de ardilla.
Voltaje nominal del motor	4000 V
Frecuencia nominal del motor	60 Hz
Número de polos del motor	4
Breakdown torque	2.2
Torque de arranque	1
Sobrecarga	1.1
CARACTERÍSTICA DE LA CARGA	
Aplicación	Faja transportadora, torque constante

Ingresando los datos de la Tabla 4.1 al configurador ABB DriveSmart, se muestra la pantalla principal del DriveSmart en la Figura 4.4. Se puede acceder a la herramienta desde Internet mediante la siguiente dirección <https://drivesmart.ch.abb.com>.

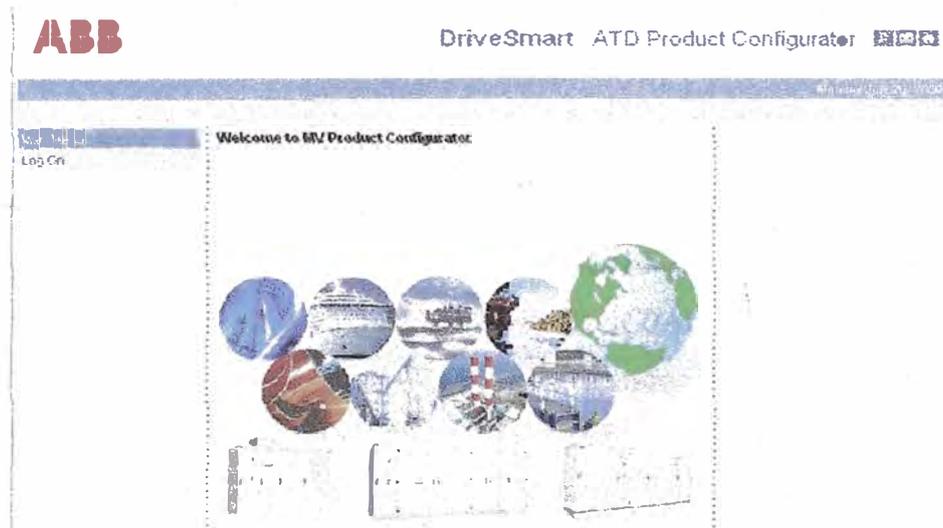


Figura 4.4: Configurador SmartDrive

Luego de ingresar los datos al configurador DriveSmart, el MV Drive seleccionado para la presente aplicación será un variador de velocidad en media tensión para motor de inducción jaula de ardilla de 449 kW, 4.0 kV, 60 Hz. Modelo: ACS1014-A1-D0-00-SJ01-B0NH-0C10-040B-0C0A0-ES. Marca ABB (Derrateado para trabajar hasta 2700 m sobre el nivel del mar)

El sistema MV Drive incluye: un rectificador por diodos de 12 pulsos, un inversor en fuente de voltaje VSI de tres niveles autoconmutado con semiconductores de potencia IGCT sin dispositivos conectados en serie o en paralelo sin fusibles, un filtro sinusoidal de salida integrado y un sistema de enfriamiento por aire.

Tabla 4.2: Especificación técnica del MV Drive

Especificación Técnica del MV Drive ABB	
Modelo	ACS 1000
Fabricante	ABB
País	Suiza
MV DRIVE SECTION	
General	
Modelo	ACS1014-A1-D0-00-SJ01-B0NH-0C10-040B-0C0A0-ES
Tipo del convertidor	Rectificador de diodos de pulsos, bajo en armónicos. VSI-NPC Inversor Fuente de Voltaje con Punto Neutro Enclavado
Número de pulsos	12
Factor de potencia total de entrada	> 0.96 (constante a lo largo de todo el rango de velocidad desde 20 . . . 100 % de la carga)
Voltaje nominal de salida	4000 VAC
Máxima corriente de salida continua	75.9 A
Sobre carga momentánea	110 % (1 min cada 10 min)
Distancia del cable entre el drive y el motor	≤ 5000 m
Tipo de operación	Continuo
Modo de control	DTC
Switching technology	IGCT
Eficiencia total del variador a plena carga	97.8 % (incluyendo auxiliares y filtro de salida)
Tipo de enfriamiento	Enfriamiento por aire con ventilador interno y supervisión de ΔP

Encerramiento	
Gabinete	Metálico autosoportado
Grado de protección	IP 21 (enfriado por aire)
Color del gabinete	RAL 7035 gris claro como estándar
Lado de la Alimentación	
Tensión de alimentación	4160 VAC
Variación en la tensión de alimentación	$\pm 10\%$
Frecuencia de alimentación	60 Hz
Variación en la frecuencia de alimentación	$\pm 5\%$
Tipo de alimentación	Trifásico
Fuente de Alimentación Auxiliar	
Tensión de alimentación auxiliar trifásico	480 VAC
Variación en la tensión de alimentación auxiliar	$\pm 10\%$
Frecuencia de alimentación auxiliar	60 Hz
Lado del Motor	
Voltaje de salida	Sinusoidal, 0 - 4.0 kV
Frecuencia de salida	0 hasta ± 66 Hz
Tipo de salida	Trifásico
Opciones Adicionales	
Interfase de comunicación	DeviceNet
Frenado	Chopper de frenado para desaceleraciones cortas en el motor
Funciones de Protección	Sobre corriente, corto circuito, falla a tierra, perdida fase entrada y salida, sobre voltaje, bajo voltaje, sobre temperatura,

	sobre carga motor, baja carga motor, protección “stall” motor, y muchas otras
Ventajas y características especiales	<ul style="list-style-type: none"> * Salida sinusoidal * Factor de potencia constante en todo rango de velocidad * Control Directo de Torque (DTC) * Diseño sin fusibles * Sección de Entrada: Alimentación por Diodos: rectificador 12 pulsos * Sección de Salida: IGCTs: VSI de 3 niveles, salida sinusoidal

El tipo del transformador del convertidor puede ser en aceite o seco, el transformador puede estar ubicado dentro o fuera de la sala eléctrica.

Topología del Inversor por fuente de voltaje (VSI) Auto-conmutado de 3-niveles y punto de neutro fijo NPC (Neutral Point Clamped) con semiconductores de rápida conmutación IGCT, sin dispositivos conectados en serie o en paralelo.

El control del Inversor switchea los IGCTs de tal forma que la frecuencia crítica del circuito resonante (formado por la inductividad del motor y el filtro senoidal de salida) está amortiguada. Sin embargo, como la frecuencia de switcheo es limitada, la frecuencia de resonancia tiene que estar en rango a fin de ser amortiguada por el control.

Por lo tanto, el filtro senoidal se diseña específicamente para cada motor. El filtro LC de “pasa bajos” son activamente controlado, el filtro de senos de salida se muestra en la Figura 4.5.

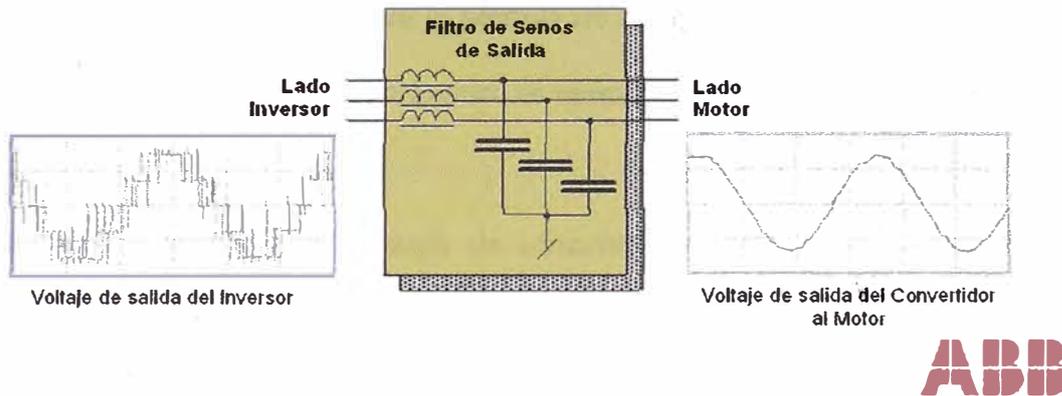


Figura 4.5: Filtro de senos de salida

Ondas sinusoidales de salida a través de todo el rango de operación. THD de corriente y voltaje típicamente por debajo de 2%, es decir, mucho mejor que lo requerido por los estándares más exigentes para armónicos de red.

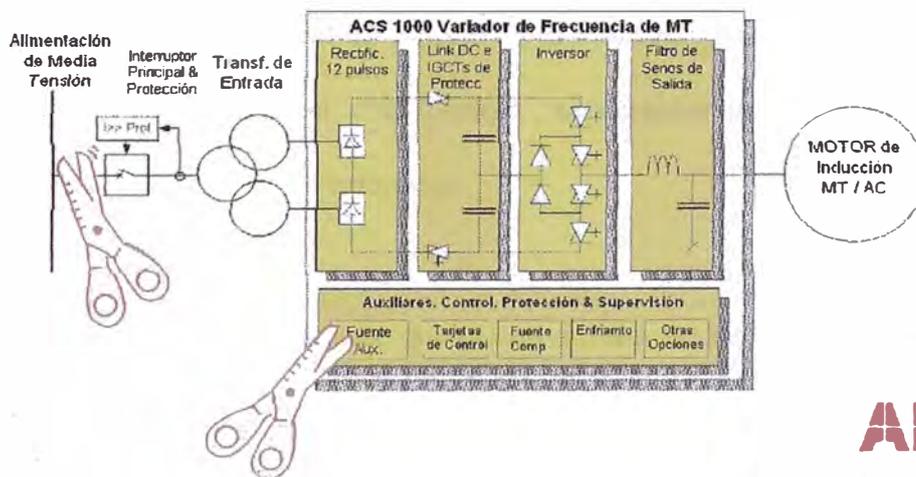


Figura 4.6: Capacidad ride through

Una característica principal del ACS 1000 es la capacidad de pasar (ride through) las caídas de tensión. El ACS 1000 cuenta con la capacidad ride through para la pérdida de tensión principal y la capacidad ride through para la pérdida de tensión auxiliar, como muestra la Figura 4.6. Brindando respuesta rápida a interrupciones de la red y operación controlada durante la pérdida de tensión para una pérdida de tensión de 5 segundos por defecto y el parámetro es ajustable, depende de la inercia de la carga.

La funcionalidad ride through de alimentación principal es si el voltaje de la alimentación principal cae por debajo del valor de referencia para el 'ride through', se activará la función de 'ride through', siempre y cuando esta esté habilitada en los seteos de los parámetros respectivos. Durante el 'ride through, la masa rotante de la carga tiene que alimentar el Link-DC a fin de mantener el voltaje en un cierto nivel. En caso de caídas de voltaje por debajo del límite para (trip) por bajo voltaje (porque el motor se paró por completo) o se ha agotado el tiempo para un re-arranque automático, el Variador se disparará (Trip). El tiempo para re-arranque automático está limitado a un max. de 600sec (30sec default). Si la función de re-arranque automático está habilitada o si el Voltaje de la línea se restablece a su valor normal dentro del lapso de tiempo del 'ride through', el Variador acelerará automáticamente hasta alcanzar la velocidad de referencia.

Conexiones a tierra. Es importante que el convertidor esté conectado adecuadamente a tierra por razones de seguridad y para garantizar el correcto funcionamiento del equipo. Por esta razón, el cable de conexión a tierra del convertidor debe estar

conectado de forma segura al sistema de conexión a tierra del lugar de instalación (conexión a tierra del sistema).

El cable de conexión a tierra está conectado a una barra de distribución de conexión a tierra situada en la sección de terminales de alimentación. La conexión debe cumplir la normativa local. El cable de conexión a tierra se introduce a través de un manguito EMC dispuesto en la placa de entrada. Si no hay ningún orificio de entrada vacío disponible, el cable de conexión a tierra se introduce junto con un conductor de fase.

4.3. CHOPPERS DE FRENADO

Los variadores de frecuencia ACS1000 llevan incorporado una chopper de frenado como equipamiento de serie para gestionar la energía que genera un motor en desaceleración. Cuando la chopper de frenado está activada y se conecta una resistencia, la chopper comienza a conducir cuando la tensión de enlace CC del variador alcanza los 5800V. La potencia máxima de frenado se alcanza a los 7030V.

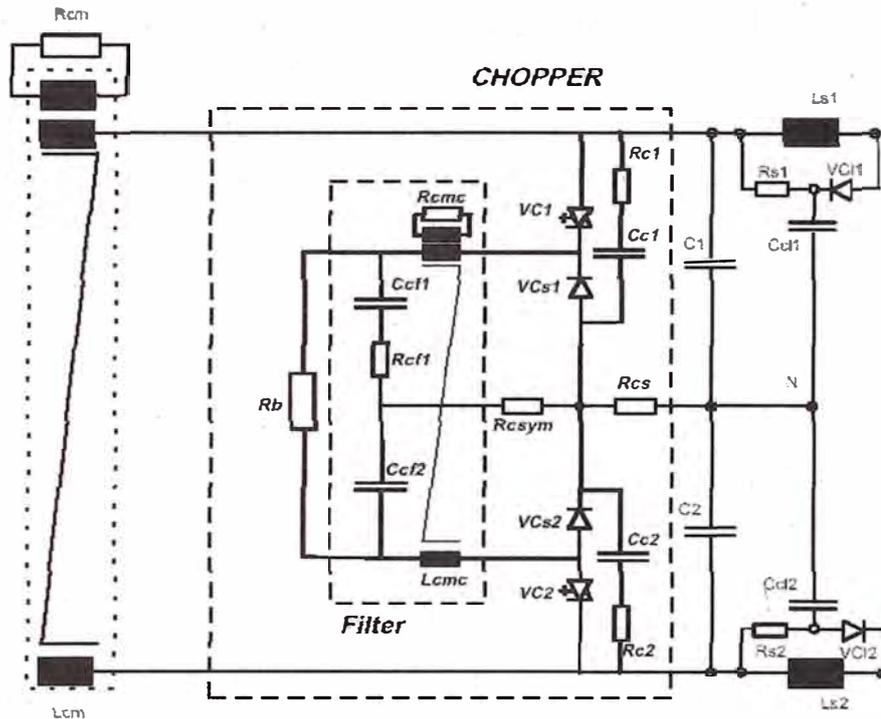


Figura 4.7: Diagrama eléctrico

Un chopper es una resistencia en el circuito de corriente continua con alta capacidad energética que disipa el exceso de energía durante los fallos de la red cuando no es posible transportar energía como se muestra en la figura 4.7.

Para uso con un resistor externo de frenado (longitud máxima de cable entre el chopper y el resistor: 50 m).

La resistencia siempre es enfriada por aire, usualmente montado en exteriores, utilizando convección natural.

Potencia máxima de frenado es 2.5 MW o 60% de la potencia del variador, el que sea mas limitante. Energía máxima de frenado es 75 MWs por hora.

Información relevante para dimensionamiento básico (y precio):

Potencia máxima de frenado

Energía máxima de frenado por intervalo de tiempo

Voltaje máximo

Para especificación del valor de la resistencia favor ponerse en contacto con la Unidad Responsable del Producto (PRU) en la fábrica ABB en Turgi.

4.4. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE FRENADO

Cuando un motor es conducido por su carga mecánica, como en el caso de una rueda volante decelerante, el motor actúa como generador y la energía cinética se transforma en energía eléctrica. A menudo este exceso de energía eléctrica, si no puede ser regenerado, no es deseado y puede ser perjudicial para el sistema de transmisión del motor eléctrico. Cuando esto sucede, el exceso de energía puede ser absorbido introduciendo una carga resistiva en el circuito del motor que la convierte en calor y al mismo tiempo se crea un efecto de frenado, que normalmente es deseado por razones de seguridad y protección del sistema de transmisión eléctrico.

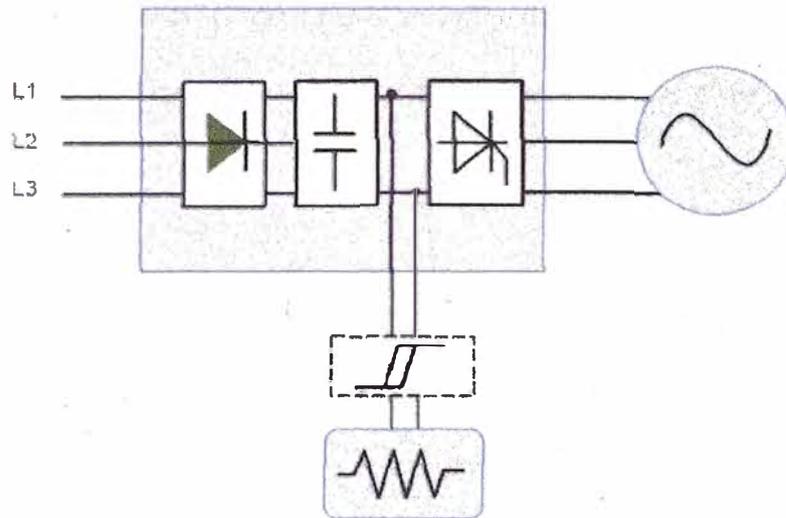


Figura 4.8: Diagrama de conexión de resistencia de frenado

Los fabricantes de convertidores de frecuencia reconocen que se necesita una resistencia de frenado para algunas aplicaciones y proporcionan conexiones en la unión de CC para poder conectar la resistencia, como se muestra en la Figura 4.8. El monitor electrónico controla el nivel de voltaje en la unión de CC y cuando supera el límite, la resistencia de frenado se conecta al circuito mediante un FET o un IGBT también conocido como “chopper”. Cuando el voltaje de CC disminuye a un nivel seguro la carga resistiva se desconecta del circuito.

Normalmente, el propio fabricante te indica el modelo de resistencia adecuado para el drive. De todos modos, dependerá de la frenada que se quiere hacer, y como no, de la inercia de la carga. Hay que tener en cuenta que si se quiere hacer una frenada muy rápida, y la masa a parar es muy grande, se puede tener problemas de alarma en el variador por sobre tensión interna.

Si es así, puede ser conveniente usar un variador de más potencia, para realizar esa frenada, si es el caso. Hay variadores donde se puede ajustar el tanto por ciento de voltaje de la resistencia de frenado.

Uno tiene que haber hecho los cálculos antes de comprar el variador. Si el frenado ha de ser rápido, el variador ha de tener la potencia suficiente.

Dependiendo de las características de la carga y según al tipo del ACS 1000, los parámetros relevantes de frenado debe ser determinado:

Se requiere conocer el tipo del ACS 1000 además es necesario saber si el chopper de frenado se implementará sobre un drive existente.

La máxima potencia de frenado requerido (en MW) no debe exceder el 60% de la máxima potencia del drive ACS 1000 y no debe ser mayor a 2.5 MW como muestra la Tabla 4.3. Este límite también debe ser considerado si un ACS 1000 existente necesita ser implementado con chopper de frenado.

Tabla 4.3: ACS 1000 y valores de chopper de frenado

<i>ACS 1000 Type</i>	<i>ACS 1000 Max. DC-Link Voltage (V)</i>	<i>ACS 1000 Max. Braking Power (MW)</i>	<i>Chopper Max. Braking Power (MW)</i>	<i>Chopper Max. Braking Energy (MWs)</i>
ACS1012-A1 ACS 1013-A1 ACS 1014-A1	4200 6000 7270	0.426 0.426 0.426	2.500	75
ACS1012-A2 ACS 1013-A2 ACS 1014-A2	4200 6000 7270	0.672 0.672 0.840		
ACS1012-A3 ACS 1013-A3 ACS 1014-A3	4200 6000 7270	0.980 1.080 0.980		
ACS1012-W1 ACS 1013-W1 ACS 1014-W1	4200 6000 7270	1.350 1.500 1.350		
ACS1012-W2 ACS 1013-W2 ACS 1014-W2	4200 6000 7270	1.680 2.130 2.130		
ACS 1013-W3 ACS 1014-W3	6000 7270	2.500 2.500		

La relación entre la máxima energía de frenado ($E_{brake\ max}$) y la máxima potencia de chopper de frenado ($P_{chopper\ max}$) es como sigue:

$$E_{brake\ max} (MWs) = P_{(chopper)\ max} (MW) \times 30\ sec$$

Después de un periodo de 30 segundos de frenado con máxima potencia de frenado (2.5 MW), se requiere un periodo de una hora de enfriamiento. Cuando es necesario un frenado por 30 segundos dos veces por hora, la máxima potencia de frenado tiene que ser reducido a 50% de la posible máxima potencia de frenado.

La potencia de frenado y energía de frenado máximo permitido son fijados por el tipo dado de ACS 1000. El valor exacto de potencia máximo de frenado debe ser

considerado cuando el tipo de ACS 1000 es especificado. Esto también debe ser tomado en cuenta cuando se implementa chopper de frenado a un ACS 1000 existente.

Paso 1: Determinar el valor mínimo de la resistencia permisible ($R_{\min \text{ chop}}$) según a la Tabla 4.4 la resistencia representa el valor mínimo permitido para un tipo dado de chopper con la finalidad de limitar la corriente a magnitudes seguras. Por lo tanto, la resistencia depende de voltaje nominal del enlace de continua del ACS 1000.

Según a la Tabla 4.4 determinaremos el $R_{\min \text{ chop}}$ y por lo tanto la resistencia mínima es 18 Ohms para el ACS 1014 con chopper tipo A3-4.

Tabla 4.4: Valor mínimo de la resistencia de frenado

como una función del chopper de frenado

<i>Chopper Type</i>	<i>A3-3</i>		<i>A3-4</i>
ACS ...	1012	1013	1014
Min. Braking Resistor Value (Ω)	7	12	18

Tabla 4.5: Valor mínimo de la resistencia de frenado
como una función del ACS 1000

<i>ACS 1000 Type</i>	<i>1012</i>	<i>1013</i>	<i>1014</i>
-A1	20 Ω	30 Ω	40 Ω
-A2	18 Ω	30 Ω	40 Ω
-A3	14 Ω	25 Ω	40 Ω
-W1	8 Ω	18 Ω	25 Ω
-W2	7 Ω	12 Ω	18 Ω
-W3	-	8 Ω	14 Ω

Paso 2: Determinar el valor mínimo de la resistencia permitido ($R_{min\ conv}$) en dependencia al tipo de ACS 1000 según a la Tabla 4.5.

El valor de la resistencia según a la Tabla 4.5 representa el valor mínimo permitido para un tipo dado de ACS 1000. Ello depende de la potencia máxima de frenado la cuál es el 60% de la potencia de salida del ACS 1000.

Para el MV Drive tipo ACS1014-A1-D0-00-SJ01 dimensionado anteriormente se ingresa a la Tabla 4.5 y el valor mínimo de la resistencia de frenado es 40 Ohms.

Paso 3: Tomar el mayor valor de las dos resistencias determinados anteriormente en el paso 1 y 2. Esta es la resistencia mínima R_{min} para ser seleccionado como la resistencia de frenado.

Cualquier resistencia seleccionado en función al ACS 1000 o el chopper de frenado puede por lo tanto limitar la potencia máxima de frenado. Como indicamos en la siguiente ecuación la potencia de frenado:

$$P_{\max} = \frac{(U_{dc})^2}{R_{brake}}$$

Determinaremos la resistencia R_{\min} , escogiendo el mayor valor de las dos resistencias determinados en los paso 1 y 2: $R_{\min} \text{ conv} = 40 \text{ Ohms}$.

Paso 4: Leer la máxima potencia de frenado permitido de la Tabla 4.3.

Paso 5: Si la actual potencia de frenado requerido es menor que el máximo valor, una resistencia mayor al determinado arriba puede ser tomado.

Si es necesario, calcular el valor de la resistencia mayor usando la siguiente ecuación:

$$R_{Chop} = 0.8 \frac{(U_{dcStop})^2}{P_{brake}} (\Omega) < R_{\max}$$

U_{dcstop} es el voltaje en el circuito intermedio de continua cuando se desconecta el chopper de frenado. Seleccionar U_{dcstop} según a la Tabla 4.6. P_{brake} es la potencia de frenado deseado. R_{\max} en la Tabla 4.6 es la resistencia máxima que es permitido. Si un valor mayor es usado, el drive no trabajará adecuadamente.

Tabla 4.6: U_{dcstop} y R_{max} en función del tipo de ACS1000

<i>ACS 1000 Type</i>	<i>1012</i>	<i>1013</i>	<i>1014</i>
U _{dcStop} (V)	4050	5800	7030
R _{max} (Ω)	25	40	50

Determinando la máxima resistencia

P max frenado = 60 % (652kW) = 391200 W

$$R_{Chop} = 0.8 \frac{(7030)^2}{391200} (\Omega) < R_{max}$$

$$R_{Chop} = 101.0\Omega$$

Por lo tanto la resistencia de frenado será 50 Ohms según a la Tabla 4.6.

4.5. DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO

%ED de frenado (Duty Cycle)

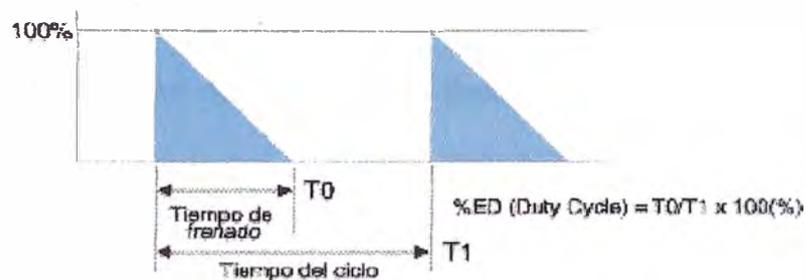


Figura 4.9: Ciclo de frenado

El uso de la unidad de frenado dinámica necesita considerar cuan a menudo será parado el motor durante la partida y parada normal del motor con el variador de frecuencia. El %ED de frenado (Duty cycle), como indica la Figura 4.9, es un porcentaje determinado mirando cuánto tiempo se usa el freno realmente durante la desaceleración en comparación a cuánto tiempo demora entre cada partida del motor. Este porcentaje de %ED se requiere para permitir que la unidad y la resistencia(s) de frenado disipen el calor creado durante el frenado dinámico. Si se excede el %ED, entonces la resistencia de frenado se calentará causando que la resistencia en ohms aumente al aumentar la temperatura y el esfuerzo de torsión de frenado eficaz disminuiría por consiguiente.

Si en una aplicación se determina que tomará 30 segundos para que el motor desacelere hasta parar usando frenado dinámico, el motor puede completar un ciclo solamente en intervalos continuamente cada 5 minutos (300 segundos).

$$30 / 300 * 100 = 10\% \text{ ED (Duty Cycle)}$$

La fuente de alimentación de la unidad de frenado dinámico es el voltaje de CC proporcionado por los terminales + (P) y (N) de la barra de CC del variador. Es muy importante configurar el puente del voltaje de potencia en la unidad de frenado basada en el voltaje de entrada del motor del variador antes de funcionar. La selección es importante para la operación eficaz de la unidad de frenado dinámico. Seleccione el valor del voltaje que es el peor caso. Si el voltaje nominal es 4000 VCA, solamente el voltaje puede llegar hasta 5800 VCA.

Un freno regenerativo es un dispositivo que permite reducir la velocidad de un vehículo transformando parte de su energía cinética en energía eléctrica. Esta energía eléctrica es almacenada para un uso futuro.

El freno regenerativo es un tipo de freno dinámico. Otro tipo de freno dinámico es el freno reostático, mediante el cual la energía eléctrica generada en la frenada es disipada en forma de calor, exactamente de este tipo de frenado estamos tratando en el presente informe.

El frenado tradicional, basado en la fricción, sigue siendo usado junto con el regenerativo por las siguientes razones:

- El frenado regenerativo reduce de manera efectiva la velocidad a niveles bajos
- La cantidad de energía a disipar está limitada a la capacidad de absorción de ésta por parte del sistema de energía, o el estado de carga de las baterías o los condensadores. Un efecto no regenerativo puede ocurrir si otro vehículo conectado a la red suministradora de energía no la consume o si las baterías o condensadores están cargados completamente. Por esta razón es necesario contar con un freno reostático que absorba el exceso de energía.

Los frenos regenerativos se basan en el principio de que un motor eléctrico puede ser utilizado como generador. El motor eléctrico de tracción es reconectado como generador durante el frenado y las terminales de alimentación se convierten en

suministradoras de energía la cual se conduce hacia una carga eléctrica, es esta carga, la que provee el efecto de frenado.

CAPITULO V

PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN A LA REGENERACIÓN EN UNA FAJA TRANSPORTADORA CON UN SISTEMA MV DRIVE

5.1. ALCANCE DE LA IMPLEMENTACIÓN A NIVEL DE SUMINISTRO

Para dar solución al caso planteado en el presente informe se suministrará tres equipos principales un transformador de aislamiento para instalación a la intemperie sumergido en aceite, un MV drive tipo ACS 1000 con un gabinete adicional con chopper de frenado y finalmente una resistencia de frenado para instalación a la intemperie enfriado por aire.

5.2. ALCANCE DE LA IMPLEMENTACIÓN A NIVEL DE INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

Con la finalidad de respaldar nuestra solución planteada en este presente informe, adicionalmente al suministro de los equipos principales, como parte de la solución integral que ABB ofrece al cliente es la instalación y puesta en marcha del sistema MV Drive.

La instalación de los equipos se realizará de acuerdo a los estándares internacionales y a las recomendaciones del fabricante de los equipos de tecnología ABB.

El servicio de comisionamiento y puesta en marcha del sistema MV Drive estará a cargo de un ingeniero especialista certificado por la fábrica ABB Suiza.

5.3. PLAZO DE ENTREGA DE LA IMPLEMENTACIÓN

A continuación se muestra los plazos de los entregables de la ruta crítica del proyecto para implementar la solución a la regeneración con un sistema MV Drive en una faja transportadora.

Tabla 5.1: Entregables de la ruta crítica del proyecto

Item	Entregables de la ruta crítica	Plazo SEMANAS
01	Fabricación del MV Drive en ABB Suiza	18
02	Transporte marítimo del MV Drive al Perú	5
03	Transporte terrestre del MV Drive a Sociedad Minera Cerro Verde (Arequipa)	1
03	Instalación del sistema MV Drive (transformador, variador y resistencia de frenado)	2
04	Comisionamiento y puesta en marcha	1
PLAZO TOTAL (SEMANAS)		27

5.4. CUADRO DE COSTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

A continuación se muestra el cuadro con los precios de los entregables del proyecto:

Tabla 5.2: Entregables del proyecto y costo detallado

Item	Cant	Descripción del Entregable	Precio Unitario USD	Precio Sub Total USD
1	01	Transformador de aislamiento para MV Drive ACS 1000	42,320.00	42,320.00
2	01	Variador de velocidad en media tensión (MV Drive) para motor de inducción jaula de ardilla 449 kW, 4.0 kV, 60 Hz, trifásico. Modelo ACS1000 Incluye: Gabinete adicional de chopper de frenado	122,463.00	122,463.00
3	01	Resistencia de frenado de 20 Ohms y 200 kW de potencia enfriado por aire.	7,840.00	7,840.00
4	01	Servicio de instalación y conexión de los siguientes equipos: un transformador de aislamiento para drive, un MV Drive ACS1014-A1-D0-00-SJ01 con un gabinete de chopper y una resistencia de frenado.	12,220.00	12,220.00
5	01	Servicio de comisionamiento y puesta en marcha de la solución del control de la energía regenerativa con un sistema MV Drive ABB para el accionamiento de una faja transportadora.	6,420.00	6,420.00
PRECIO TOTAL (USD)				191,264.00

CONCLUSIONES

Entre los resultados y conclusiones obtenidos de los cálculos tenemos:

- La potencia de frenado depende del par y la velocidad al punto de funcionamiento concreto. Se ha dimensionado el chopper de frenado según el software configurador DriveSmart de ABB.
- Se planteó la solución con un MV Drive ABB al problema de regeneración en una faja transportadora, disipándose la energía de regeneración en una resistencia de frenado.
- Finalmente se ha detallado paso a paso el cálculo de resistencia de frenado, el cual ha sido posible luego de un profundo análisis y soportándose de la tecnología ABB suiza.

BIBLIOGRAFIA

Textos y manuales:

- G790e – MV Drives Fundamentals, e-learning ABB
- Guía técnica No. 7 – Dimensionado de un sistema de accionamiento - ABB Automation Group Ltda.
- Active front end technology as applied to a downhill belt conveyor – 3BHS 229 728 ZAB E01, ABB Switzerland Ltd
- Chapman, Steven J. Electric Machinery and Power Systems Fundamentals. New York: The McGraw-Hill Companies, 2002.
- ABB. "ACS 1000i Integrated Medium Voltage AC Drive Presentation." ABB MV Drives.
- ABB. "DriveIT ACS 1000" Information Brochure # 3BHT 490 700 R0001 Rev. B.

Artículos

- “Active front end technology as applied to a downhill belt conveyor”
Ing. R.A. Errath, ABB Schweiz AG, Baden-Dattwil, Switzerland

Páginas web:

- www.abb.com

ANEXO A

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MV DRIVE

SELECCIONADO



Medium Voltage Drives

Technical Part Variable Speed Drive System with ACS1000

Table of Contents

1	Technical Data for Positions.....	2
1.1	Block Diagram.....	2
1.2	Main Electrical Converter Data.....	3
1.3	Performance Data.....	3
1.4	Converter Cooling.....	4
1.5	Additional Data.....	4
1.6	Converter Enclosure, Dimensions and Weight.....	5
2	Standards and Certifications.....	6
3	Plant Design Data.....	7
3.1	Ambient Conditions.....	7
3.2	Supply Network.....	7
3.3	Auxiliary supply.....	7
3.4	Load Information for Positions.....	8
3.5	Motor Data for Positions.....	8

Offer no.:

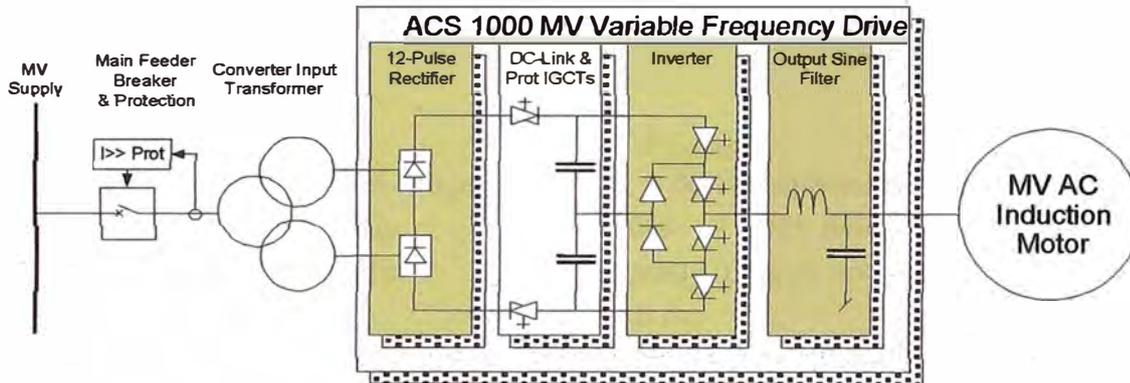
Date of issue: July 21, 2009

1 Technical Data for Positions

100 Variable speed drive system type **ACS1014-A1-D0-00-SJ01**, incl.:

- 12-pulse diode rectifier
- Self-commutated 3-level voltage source inverter with:
 - IGCT power semiconductors, without series or parallel connection of switching devices
 - Fuseless converter design
- Integrated output sine filter
- Air cooled

1.1 Block Diagram



Offer no.:

Date of issue: July 21, 2009

1.2 Main Electrical Converter Data

Nominal driven motor shaft power	449 kW
Maximum continuous output power	526 kVA
Maximum continuous output current	75.9 A
Nominal output voltage ($U_{nominal}$)	4000 V
Supply voltage	2 x 2305 V
Supply voltage tolerance	+ 10 / -10%
Nominal output power down to	90% supply voltage
Safe operation down to	75% supply voltage, with reduced power
Maximum supply phase unbalance	2%
Supply frequency	60 Hz
Supply frequency tolerance	± 2%
Total input power factor	> 0.95 (for 20 ... 100% load)

1.3 Performance Data

Output voltage range	0... $U_{nominal}$
Output frequency control range	0... ± 66 Hz (optionally up to 82.5 Hz)
Short term overloadability	110% (1 min. every 10 min.)
Accuracy of speed control	typically 0.1% of nominal speed
Torque rise time	< 10 ms
Minimum nominal base frequency	45 Hz (lower settings possible with power derating)
Maximum field weakening range	1 : 1.5
Total drive efficiency at nominal load	> 97.8% (including auxiliaries and output sine filter → no additional motor losses from harmonic heating to be expected)
Output harmonic distortion	typically < 2% for voltage and current (at nominal load conditions)
Torque ripple	typically < 2% of nominal torque (for all frequency components; no particular PWM carrier component existent due to DTC)

Design comments/warnings:

- 1) Based on IEC 60076-5 standard, the minimum short-circuit voltage of the transformer should be 4%

Offer no.:

Date of issue: July 21, 2009

1.4 Converter Cooling

Cooling method	Air cooling with internal fans and ΔP supervision
Nominal heat losses	10 kW
Maximum heat losses	11.3 kW
Cooling air flow	1.7 m ³ /s
Redundant cooling fans	no

1.5 Additional Data

Auxiliary supply voltage	480 VAC, 3-phase, 60 Hz
Auxiliary supply voltage tolerance	$\pm 10\%$
Auxiliary power consumption	approx. 5.3 kW (without optional heaters/coolers)
Control power supply voltage	Internally derived, backed-up by internal back-up batteries
Sound pressure level	< 75 dB (A) under nominal conditions

Offer no.:

Date of issue: July 21, 2009

1.6 Converter Enclosure, Dimensions and Weight

Type of enclosure	Corrosion protected, coated steel enclosure, unpainted, EMC conforming, 2mm (12 gauge) thick sheet steel
Painting of enclosure	Doors painted in RAL 7035 light grey (standard)
Door interlocking	Electromechanical door interlocking system for personnel safety
Degree of protection	IP 21
Cable entry	Top or bottom
Accessibility for maintenance	Only front access required
Dimensions (width * depth * height)	3000 * 900 * 2005 mm (incl. top mounted cooling fans) <u>Note:</u> consider minimum 500 mm clearance on top for sufficient cooling air circulation.



Weight

1600 kg (approx. value)

Offer no.:

Date of issue: July 21, 2009

2 Standards and Certifications

The ACS 1000 complies with following codes and standards:

Drive Standards	IEC 60146-1-1 IEC 61800-4 UL 347 UL 347
Impulse test voltage	30 kV, 1.2 / 50 μ s (on secondary side of input isolation transformer)
AC test voltage	9.6 kV, 1 min (on secondary side of input isolation transformer)
Network harmonics	Compliance with IEEE 519, IEC 61000-2-4 at both, supply side and motor side

Following certifications are available for ACS 1000:

Certifications	CE compliance cUL Listing (also covering CSA) Marine certifications on request
----------------	--

Offer no.:

Date of issue: July 21, 2009

3 Plant Design Data

3.1 Ambient Conditions

Altitude of installation	≤ 2700 m a.s.l.
Installation of drive	indoors
Ambient operating temp. range	1 ... 40 °C (non freezing)
Transportation and storage temp.	1 ... + 55 °C
Relative humidity	≤ 95 %, non condensing
Expected transformer cable length	≤ 20 m (between transformer and drive)
Expected motor cable length	≤ 5000 m
Area classification of motor	non hazardous

3.2 Supply Network

Voltage	4160 V
Supply voltage tolerance	+ 10 / -10%
Min. Supply Voltage, at which the drive has to deliver full power	90 %
Supply frequency	60 Hz
Supply frequency tolerance	± 3%
Maximum supply phase unbalance	2%
Short circuit power	min. 360 MVA max. 500 MVA

3.3 Auxiliary supply

Auxiliary supply voltage	480 VAC, 3-phase, 60 Hz
Auxiliary supply voltage tolerance	± 10%
Control power supply voltage	Internally derived from customer's 3-phase supply, backed-up by internal back-up batteries
Control supply voltage tolerance	± 10%

Offer no.:

Date of issue: July 21, 2009

3.4 Load Information for Positions**100 ACS1014-A1-D0-00-SJ01**

Application

Load characteristic	constant torque
Nominal speed	1800 rpm
Required power at nominal speed	449 kW
Starting torque	100 %
Required overload	110 %
	for 60 sec. / 10 min.
Maximum speed	1800 rpm
Max time of the operation < 5Hz	1 sec
Constant torque range	from 1500 to 1800 rpm
Overload range	from 1500 to 1800 rpm

3.5 Motor Data for Positions**100 ACS1014-A1-D0-00-SJ01**

Application

Motor voltage	4000 V
Motor nominal frequency	60 Hz
Motor pole number	4
Motor nominal shaft power	449 kW
Efficiency at nominal load	96.6 %
Power factor at nominal load	0.884 pu
Breakdown torque	2.2 pu