



República de Cuba

Ministerio de la Educación Superior

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

“ Dr. Antonio Núñez Jiménez ”

TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

*Título: Propuesta de variadores de velocidad en el
primer impulso del combustible de la CTE de Felton.*

Autor: Yunier Cruz Blanco

Tutores: Ing. Omar Ochoa Mator

M.Sc. Reineris Montero Laurencia

MOA 2009

“Año del 50 aniversario del triunfo de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Yunier Cruz Blanco, autor del trabajo de diploma “Propuestas de variadores de velocidad en el primer impulso de combustible de la CTE de Felton” certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero- Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes, educativos e investigativos.

Firma del Autor

Los abajo firmantes, certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdos de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener una investigación de esta envergadura, referida a la temática señalada.

Firma del tutor

Jefe de Departamento

Jefe de Carrera

PENSAMIENTO

***“... el futuro de Cuba tiene que ser necesariamente,
un futuro de hombres de ciencia,
un futuro de hombres de pensamiento”.***

Fidel Castro Ruz.



DEDICATORIA

A mis madres Isel y Belquis
por la dedicación de toda
una vida.

*A mi familia y amigos,
que fueron incansables
en brindarme su ayuda.*

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y mi familia, por el amor y apoyo de siempre.

A Iliana, Poldo e Ibrahim, porque sin ellos nada de esto sería posible.

A mi novia, por la confianza, la espera y por su apoyo en todo momento.

Deseo hacer llegar mis más sinceros agradecimientos:

A mis tutores Osmar Ochoa y Reineris Montero por su ayuda desinteresada, por mostrarme tan magistralmente el camino a seguir durante todo el tiempo que duró la realización de este trabajo. Les agradezco además, todos los conocimientos que me legaron, Muchas Gracias.

A los Instructores del departamento de Capacitación de la Central Termoeléctrica de Felton por su cooperación.

A mis amigos Maikel Hernández y Yenia Batista por su ayuda incondicional.

A todos los que de una forma u otra han formado parte de la realización de este trabajo y de mi vida profesional:

Muchas Gracias.

RESUMEN

Este trabajo se desarrolla en el contexto de la central termoeléctrica “ Lidio Ramón Pérez ” de Felton, municipio Mayarí de la provincia de Holguín. La investigación se realiza específicamente en el sistema de primer impulso del combustible, donde existe un consumo innecesario en los motores que accionan bombas de engranajes para el transporte de combustible hacia las calderas de los generadores eléctricos, es decir; no todo el fluido que se bombea es utilizado en la producción de energía eléctrica.

Para obtener resultados, se evaluó e interpretó la información obtenida mediante mediciones eléctricas directas a los motores y otras extraídas de la SCADA supervisor de procesos de la empresa, estableciéndose relaciones existentes entre las variables inherentes al bombeo de combustible y teniendo en cuenta otras características del proceso de producción de electricidad. Se demostró dada las circunstancias, la posibilidad de instalar variadores de velocidad por frecuencia que evitan la recirculación del petróleo con el consecuente ahorro de energía y sustentado por un soporte económico rentable, con motivo de lograr una mayor eficiencia en los accionamientos de motores de inducción jaula de ardilla con bombas de engranajes.

Summary

This work is developed in the context of the thermoelectric power station “Lidio Ramón Pérez” of Felton, municipality of Mayarí in the province of Holguín. The investigation is realized specifically in the first impulse section of the fuel system, where there is an unnecessary consumption in the motors that drive gear pumps for the transportation of fuel toward the boilers of electric generators, that is; not all the fluid that is pumped is used in the production of electric power.

In order to obtain results the information obtained through direct electrical measurements from the motors and those extracted from the SCADA process supervisor in the company were evaluated and interpreted, establishing existing relations between the inherent variables of the pumping of fuel and taking into account other characteristics of the process of production of electricity. It is demonstrated given the circumstances, the possibility of installing adjustable speed frequency drives that prevents the re-circulation of the petroleum with consequent energy saving and based on a rentable economic support, with the motive of getting a higher efficiency in the squirrel cage induction motor drives with gear pumps.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.1. Estudios Precedentes.....	5
1.2. Descripción del flujo tecnológico de la instalación.....	9
1.3. Nociones del funcionamiento de las Máquinas de Inducción.....	12
1.3.1 Principio de funcionamiento del motor.....	12
1.3.2 Diagrama energético del motor eléctrico.....	16
1.3.3 Relación entre Eficiencia (η) y deslizamiento (s) en motores.....	17
1.4. Bombas de engranajes.....	18
1.4.1 Principio de funcionamiento de las bombas de engranajes.....	19
1.4.2 Caudal de las bombas de engranajes.....	20
1.4.3 Rendimiento y Potencia de la bomba de engranajes.....	21
1.4.4 Características y regulación del caudal de las bombas de engranajes.....	23
1.5. Especificidades de los variadores de velocidad.....	25
1.5.1 Variadores de velocidad por frecuencia en el conjunto motor-bomba.....	26
1.6 Conclusiones parciales.....	28
CAPÍTULO II: ESTUDIO DEL CONJUNTO MOTOR- BOMBA.....	29
2.1. Generalidades del accionamiento del conjunto motor – bomba en el sistema de bombeo de primer impulso de la CTE de Felton.....	29
2.2. Análisis del conjunto de motores de inducción.....	31
2.2.1. Comportamiento de la tensión y la corriente.....	32
2.2.2. Análisis y cálculo de la potencia de entrada (P_1).....	36
2.2.3. Cálculo de la potencia de salida (P_2).....	37
2.2.4. Determinación de la Eficiencia (η).....	39
2.2.5. Comportamiento de la potencia reactiva y la aparente en los motores de inducción.....	40
2.2.6. Velocidad en el eje y Deslizamiento (s).....	41
2.2.7. Resultados generales del análisis del motor.....	42
2.3. Análisis de la Bomba.....	43

2.4.	<i>Correlaciones de las variables del accionamiento y las variables del proceso</i>	46
2.4.1.	<i>Dependencia del flujo en la caldera y la carga del generador</i>	47
2.4.2.	<i>Correlación entre la velocidad (n_2) y el flujo de petróleo (Q_B)</i>	48
2.4.3.	<i>Procedimiento matemático para el análisis del comportamiento de las variables presentes en el accionamiento al cambiar la frecuencia de red</i>	49
2.5.	<i>Conclusiones Parciales</i>	53
<i>CAPÍTULO III: PROPUESTA DE MODULADORES COMO MODO DE SOLUCIÓN PARA MEJORAR EFICIENCIA Y CONSUMO EN LOS MOTORES DE INDUCCIÓN</i>		55
3.1.	<i>Factores a tener en cuenta a la hora de diseñar un sistema de regulación de velocidad</i>	55
3.2.	<i>Instalación y descripción del accionamiento del variador de velocidad en el en el sistema de bombeo de combustible de primer impulso.</i>	58
3.3.	<i>Selección del variador de velocidad</i>	60
3.3.1.	<i>Funciones que permite el variador</i>	61
3.3.2.	<i>Tipos de control del motor que permite el VDF seleccionado</i>	64
3.3.3.	<i>Características del variador seleccionado</i>	67
3.4.	<i>Ahorro de energía y valoración económica.</i>	69
3.5.	<i>Impacto Ambiental</i>	75
3.6.	<i>Valoración social</i>	77
3.7.	<i>Conclusiones parciales</i>	78
<i>CONCLUSIONES GENERALES</i>		79
<i>RECOMENDACIONES</i>		80
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>		81
<i>ANEXOS</i>		



INTRODUCCIÓN

El actual escenario energético mundial pasa por una crisis, en la cual, todas las alternativas que tributen al uso más racional de los portadores energéticos, atañan un gran significado. Es indiscutible que el actual modelo energético, basado fundamentalmente en la producción de energía a partir de combustibles fósiles, es insostenible e injusto debido a la desigualdad en el consumo y en el acceso a la energía comercial. Hoy en día un 15 % de la población mundial, los 1000 millones de habitantes de los países desarrollados, consume más del 50 % de los recursos energéticos del planeta, mientras que 2000 millones de personas no tienen acceso a la energía comercial y otros 3000 millones tienen un suministro insuficiente, imposibilitando su desarrollo y condenándolas a la pobreza.

La eficiencia energética no consiste en racionar o reducir el consumo de energía, sino en utilizarla mejor. Los aumentos de productividad y la reducción de los consumos energéticos por unidad de producto constituyen, en realidad, fases de un mismo proceso con aportes significativos al crecimiento, la protección del medio ambiente y la equidad social.

La base fundamental de la producción de energía eléctrica en Cuba se basa en la utilización de los combustibles fósiles en alrededor de un 72.0 %. Las centrales termoeléctricas consumen un por ciento de la energía eléctrica que generan, para alimentar a los propios equipos de la instalación, a la cual se le denomina insumo eléctrico. A este importante indicador se le mantiene una constante vigilancia tecnológica y es una orientación del MINBAS mantener o disminuir este por ciento por debajo de los valores de diseño.

Es conocido que en las empresas industriales alrededor de un 60 % del consumo de electricidad se debe al trabajo de los motores y aproximadamente el 50 % de esa energía eléctrica es consumida por los motores de inducción trifásicos, se puede afirmar que el motor eléctrico más usado es el asincrónico de jaula de ardilla.



Lógicamente estos dispositivos están acoplados a diferentes accionamientos que permiten mantener diferentes variables industriales dentro de los parámetros requeridos para los procesos.

Dentro de estos accionamientos juega un papel fundamental las bombas que trasiegan disímiles fluidos que en el caso de las centrales termoeléctricas están presentes en lo fundamental en el transporte de combustible, agua, aceite, ácido, sosa, residuales. Como la producción de energía eléctrica es un proceso de producción continuo durante todo el año, el ahorro de 1 kWh en el eje de un motor significa una cantidad considerable de electricidad que se deja de consumir y puede ser entregada a la red para la distribución y por consiguiente un ahorro de combustible que a su vez repercute en una menor contaminación del medio ambiente, al emitir menor cantidad de gases a la atmósfera.

Gracias a la dinámica de la variación de los fluidos, se logran aplicar soluciones tecnológicas que permitan adaptar el consumo de energía a la demanda real de los sistemas. En estos casos juega un papel fundamental la implementación de los variadores de velocidad y principalmente en los motores de baja potencia (menores de 90 kW) debido a su baja tasa de amortización de las inversiones.

El sistema de bombeo de combustible tecnológico de primer impulso de la CTE cuenta con tres bombas que operan en paralelo, dos en servicio y una en reserva, las cuales impulsan un flujo constante independientemente del consumo de combustible de las calderas. El combustible que no es consumido en la caldera es recirculado por medio de una válvula reguladora a los tanques de almacenamiento o a la propia succión de las bombas. Es decir no todo el combustible que se bombea es utilizado en la combustión, esto indica las posibilidades de adaptar el caudal a las demandas reales de la instalación.

Lo expresado anteriormente señala que las bombas siempre consumen la misma potencia sin tener en cuenta la demanda real de combustible en cada momento. Esta



característica de operación actual corresponde al trabajo de los bloques a una potencia máxima de 250 MW. El transporte irracional del combustible debido a la

recirculación trae como consecuencias pérdidas de energía eléctrica que debido a la operación continua del sistema se convierte en factor incidente en los costos de producción. Dada la situación existente, la dirección de la empresa se ha trazado metas de ahorro en los principales accionamientos eléctricos, el presente trabajo centra su atención en el primer impulso del combustible a partir de las siguientes bases:

Problema: Uso irracional de la electricidad en el transporte de combustible tecnológico en primer impulso de la CTE “Lidio Ramón Pérez”.

Objeto de estudio: Sistemas de bombeo de petróleo de la CTE “Lidio Ramón Pérez”.

Campo de acción: Eficiencia Energética en accionamiento eléctrico de bombas.

Objetivo general: Proponer una variante de transporte a caudal variable del combustible tecnológico en primer impulso para disminuir el consumo de energía eléctrica.

Objetivos específicos.

1. Diagnosticar el sistema de bombeo de combustible tecnológico de primer impulso de la CTE de Felton.
2. Identificar el sistema de bombeo de combustible tecnológico de primer impulso de la CTE de Felton que permita verificar la dinámica de las variables y la interrelación que existen entre las mismas.
3. Elaborar la propuesta de solución para el trabajo a caudal variable del sistema en base a los resultados experimentales con una caracterización energética - económica futura de la instalación.



Hipótesis

Con la implementación de variadores de velocidad en el sistema de bombeo de combustible tecnológico en primer impulso se logra ajustar el caudal a la demanda

real del proceso manteniendo los parámetros establecidos con el consecuente ahorro de energía eléctrica.

Tareas.

1. Realizar búsquedas bibliográficas.
2. Caracterizar el conjunto motor-bomba.
3. Recopilación de mediciones de las variables que intervienen en el proceso.
4. Identificación del Sistema.
5. Elaborar la propuesta.
6. Realizar la valoración técnico-económica.



CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.

El marco teórico del objeto de estudio permite detectar de forma preliminar las diferentes características e interacciones que existen entre los múltiples elementos que están presentes en la investigación.

El objetivo del presente capítulo es establecer el Marco Teórico-Metodológico de la investigación, a partir del estado del arte del tema basado en el análisis de los trabajos precedentes, la metodología seguida para su ejecución así como la base teórica que sustenta la investigación.

1.1. Estudios Precedentes.

Una investigación científica de acuerdo a lo planteado por Aróstegui, J. M. y otros en 1975 [2], en cualquier área del conocimiento debe siempre estar sustentada por una investigación empírica y por una investigación teórica, de ahí que sea necesario utilizar los métodos que caracterizan a cada una de ellas para desarrollar científicamente las mismas a partir de una clara caracterización del objeto, del planteamiento del problema, los objetivos, la hipótesis y las tareas.

Para desarrollar la investigación fueron consultados diferentes trabajos y estudios, orientando la revisión bibliográfica en dos líneas fundamentales; por una parte, la información relacionada con el enfoque teórico y metodológico del estudio a realizar y por otra, los trabajos sobre el tema de la variación de velocidad, eficiencia en motores de inducción, accionamientos de bombas así como todo lo relacionado con métodos de lograr mejoras en el ahorro de electricidad en el conjunto motor-bomba a través de variadores de velocidad por frecuencia (VDF).

Muchas de las aplicaciones de los motores de inducción corresponden a bombas, ventiladores y compresores; y en la mayoría de las cuales, los motores operan significativamente por debajo de sus valores nominales de carga; la tensión aplicada

al estator, crea un campo magnético rotatorio que induce corrientes en el rotor, generándose par en el eje; si no se requiere el par nominal, el máximo campo magnético tampoco se requerirá; la corriente que produce el campo magnético adicional aumenta las pérdidas del acero, disminuyendo la eficiencia del motor. La mayor parte de los trabajos en busca del mejoramiento de la eficiencia del motor de inducción basan sus razonamientos sobre el estudio de sus principales pérdidas, ejemplos de algunos de los estudios son:

La identificación difusa de un accionamiento eléctrico de una instalación de hidrotransporte de pulpa laterítica, con el objetivo de encontrar las zonas de mejores rendimientos del sistema, por medio del estudio de los subsistemas eléctrico y mecánico a partir de la incidencia de las variables que más participan en la transferencia de energía, demostrándose que estas son: la potencia de entrada del accionamiento (P_e), la velocidad específica de la bomba centrífuga (n_s) y la densidad de la pulpa transportada (ρ) (Rojas y otros, 2004) [29].

Exponen resultados que se tienen en el mejoramiento de la eficiencia de los accionamientos de motores de inducción están relacionados con trabajos en el diseño y mejoras en la calidad de los aceros, y el establecimiento de algoritmos de control de variables de la máquina de inducción, sin tener en cuenta otros factores operacionales que aparecen debido al comportamiento específico del proceso de transferencia de energía desde la máquina hacia el mecanismo o proceso (Rojas, 2005). [30]

Como se conoce, los motores de inducción tienen una elevada eficiencia cuando operan con sus cargas y torques nominales [Bodson, 1996]. [8] Así mismo operando con cargas ligeras, las pérdidas del hierro se incrementan dramáticamente, reduciendo considerablemente la eficiencia [Kusko y Galler, 1983]. [17]

Para minimizar las pérdidas en el motor es necesario adecuar su velocidad con los requerimientos que exigen las cargas mecánicas. Lo más avanzado, y perfeccionado que se tiene hasta ahora son los Accionamientos de Velocidad Ajustable (AVA), comercialmente llamados variadores de velocidad, que constituyen en sí

convertidores de frecuencia o Inversores Sinusoidales de Voltajes con modulación por ancho de pulsos (VSI to PWM, sus siglas en inglés), aunque también pueden ser modulados por la amplitud de sus pulsos (VSI to PAM); también están los Inversores Sinusoidales de Corrientes (CSI, en inglés).

Esencialmente los AVA operan bajo el principio de rectificar el voltaje alterno de entrada desde la línea de la red, filtrar la señal, y entonces conmutan la potencia de corriente directa mediante válvulas (que hacen de interruptor abierto-cerrado) hacia una sección inversora que devuelve en la entrada de los terminales del motor un voltaje alterno con la misma frecuencia con que se conmutan las válvulas. Un bloque a microprocesador modifica las características de conmutación del inversor de tal forma que satisface los requerimientos exigidos por el proceso. El voltaje o corriente rectificadas es directamente controlado con respecto a la frecuencia.

Se evidencia, en resultados, la aplicación de un variador de velocidad por frecuencia en el motor de inducción de la bomba de extracción de condensado de la unidad 1 de la Central Termoeléctrica de Salamanca, donde se muestra la conveniencia de instalar este sistema de control de flujo de agua en todas las centrales termoeléctricas debido a que los ahorros de energía por esta medida serían significativos en la eficiencia de la producción de energía eléctrica. Además, los resultados indican las ventajas de utilizar este dispositivo de control en motores que no necesitan operar a velocidad nominal en sus aplicaciones durante periodos de tiempo largos (Gómez, Medina). [14]

En tesis de grado se realizan estudios para la propuesta de un nuevo nivel de utilización de la información obtenida a partir de los datos de proceso según los datos obtenidos vía sistema SCADA CITECT en el proceso industrial de la empresa Moa Níquel S.A "Pedro Soto Alba" para el accionamiento automatizado con variador donde se analizan tanto las características eléctricas como mecánicas y de la red para el trasiego de licor producto para bombas centrífugas (Richard, 2006) [28]; (Leyva, 2006). [18].



En el trabajo “Mejora de los accionamientos eléctricos principales en la CTE Lidio Ramón Pérez” se estudia la factibilidad y propuesta para el uso de controladores de flujo con variadores de frecuencia en los accionamientos de los sistemas de bombeo de combustible y bombeo de condensado, en el mismo se realiza un análisis teórico de las partes eléctrica y mecánica de las bombas centrífugas, no así para bombas de engranajes y combustible como fluido a transportar, además no se analiza un sistema particular, sino general. (Almira, 2008). [1]

Por otro lado se realiza un estudio de la mejora de la eficiencia eléctrica del accionamiento en el bombeo de petróleo en la estación de segundo impulso de la CTE donde se selecciona un variador de velocidad y se simula el funcionamiento de este, el trabajo se aplica al combustible como sustancia a trasegar y en bombas de tornillo, para el estudio del sistema de bombeo se utilizaron mediciones de la SCADA instalada y no las mediciones de campo (Rómulo 2008). [32]

Se desarrolla un estudio técnico-económico de los ahorros de energía que pueden alcanzarse en el sistema de bombeo de guarapo de una fábrica de azúcar mediante la utilización de un accionamiento de alta eficiencia. Este trabajo expone una metodología que permite evaluar las ventajas de la utilización de variadores de velocidad por control de frecuencia en las bombas de alimentación de guarapo. Para el cálculo del ahorro energético que significa la utilización de este regulador es necesario hallar las ecuaciones características de la bomba y del sistema de tuberías, para conocer la potencia mecánica real que demanda el sistema en las condiciones actuales y en las condiciones de velocidad variable. La aplicación del mismo permite calcular con gran precisión los ahorros de energía que se logran a partir de la sustitución de sistemas de control de flujo por estrangulamiento por sistemas de variación de velocidad, lográndose evaluar el flujo óptimo para cada estado de carga del sistema (De León, Viego, 2000). [35]



1.2. Descripción del flujo tecnológico de la instalación.

El combustible llega a la Central Eléctrica desde la base de almacenamiento de combustibles de CUPET, desde la cual con sus equipos de bombeo lo trasladan hasta los tanques de recepción y almacenamiento del mismo en la CTE.

Existen dos tanques para la recepción, almacenaje y preparación del combustible que se utiliza en la CTE, estos tienen capacidad de 15000 m³ cada uno, además tienen dispositivos interiores (serpentín) y exteriores (calentador) para el calentamiento del combustible entre 60 – 65 °C, con el fin de facilitar su bombeo.

Desde los tanques se succiona el combustible por dos bombas de engranes para cada unidad, situadas en la Casa de Bombas de Primer Impulso, las cuales transportan el mismo con una temperatura de 60 – 65 °C hasta la Casa de Bombas de Segundo Impulso, manteniendo la presión constante de 0.45 MPa en la succión de las bombas del Segundo Impulso.

En la Casa de Bombas de Segundo Impulso el combustible es bombeado por dos bombas de alta presión, las cuales elevan la presión hasta 3.2 MPa, además existen dos calentadores de superficie que trabajan con vapor, los cuales elevan la temperatura del combustible hasta aproximadamente 145 °C. Con estas condiciones se facilita la pulverización del combustible en los quemadores de las calderas.

La estación de válvulas de regulación de la potencia de la Caldera es la que controla el suministro del combustible hacia los quemadores en dependencia de la producción de vapor que tengan las mismas.

Cada caldera consta de doce quemadores tangenciales, ubicados en tres niveles, en las esquinas del horno, cada uno puede suministrar hasta 5,7 t/h de combustible, para la pulverización son auxiliados con vapor de agua a una presión de 1 MPa y 250 °C.

Además del petróleo, para el proceso de oxidación del mismo con el consiguiente desprendimiento de gran cantidad del calor, al horno de la caldera se suministra la cantidad de aire necesaria para lograr la combustión completa, este aire es



succionado de la atmósfera por dos ventiladores de tiro forzado (VTF), se precalienta en los precalentadores de aire a vapor hasta 75 °C y finalmente se eleva su temperatura hasta 315 °C en los calentadores de aire regenerativos (CAR).

Por otra parte a la caldera se le suministra agua de alimentación, la cual llega al domo para ser distribuida por los tubos alimentadores a las paredes de agua donde al absorber el calor desprendido por la combustión se transforma en una mezcla agua – vapor que retorna nuevamente al domo, en el mismo es separado en vapor del agua, el vapor saturado sale del domo y pasa por las superficies de sobrecalentamiento donde aprovechando el calor de los gases de escape se convierte en vapor sobrecalentado que sale de la caldera con 13.7 MPa y 525 °C.

El vapor producido en la caldera llega a la turbina a través de las tuberías de alta presión con 13.24 MPa y 520 °C, este vapor entra al cuerpo de alta presión de la misma a través de 4 válvulas de regulación que controlan la cantidad de vapor en dependencia de la potencia mecánica demandada por el generador eléctrico. En la turbina de vapor se transforma la energía térmica del vapor en energía cinética en los alabes fijos de la misma y la energía cinética en energía mecánica del rotor a través de los alabes móviles.

El vapor, luego haber realizado trabajo en el cilindro de alta presión, sale hacia la caldera nuevamente con 3,4 MPa y 340 °C para volver a elevar su temperatura en los recalentadores, retornando al cilindro de media presión con 520 °C y 3.2 MPa, desde el cilindro de media presión pasa al cilindro de baja presión desde donde va hacia el condensador con 0,005 MPa, aquí se condensa al ceder su calor latente al agua de mar que circula como medio de enfriamiento del condensador.

El condensado que se produce es almacenado en el pozo caliente del condensador con una temperatura de 50 °C, desde aquí es succionado por las bombas de Condensado de Primera Etapa de ejecución vertical que tienen la finalidad de elevar la presión del condensado para garantizar 0,65 MPa en la succión de las Bombas de Condensado de Segunda Etapa para incrementar la presión hasta 4 MPa y hacerlo circular por el Condensador de Vapor de los Sellos, los Eyectores Principales y los



Calentadores de Baja Presión, superficies de intercambio estas que aprovechan el calor del vapor proveniente de las extracciones de turbina para ir incrementando paulatinamente la temperatura del condensado al pasar por cada intercambiador, y de aquí al deareador del tanque de alimentar para facilitar su preparación como agua de alimentación de la caldera. Al condensador llega también el agua desmineralizada procedente de la planta de Tratamiento Químico del Agua, que es utilizada para reponer las pérdidas de masa que se producen en el ciclo térmico.

El condensado llega al deareador con una temperatura de 110 °C donde por medio del calentamiento con vapor, de la extracción IV de turbina, se le elimina el oxígeno libre y los gases incondensables que son emitidos a la atmósfera, pasando el condensado al tanque de alimentación de la caldera, donde se calienta hasta 150 °C y es succionado por las Bombas de Alimentar de la Caldera.

Las Bombas de Alimentar elevan la presión del agua de alimentar hasta 15.7 MPa para incorporarla a la Caldera, pasándola antes a través de dos Calentadores de Alta Presión donde se lleva la temperatura del agua hasta 235 °C, la cantidad de agua que se suministra a la Caldera es controlada por una estación de válvulas reguladoras que garantizan que se mantenga el balance de masa entre la cantidad de vapor que sale de la misma y la cantidad de agua que se suministra con el fin de asegurar el funcionamiento correcto de la Caldera.

Hasta aquí hemos visto el Ciclo Térmico de la Central Termoeléctrica, ahora veamos que sucede después de convertir la energía térmica del vapor en energía mecánica en el eje de la turbina.

El rotor del Generador Eléctrico está directamente acoplado al eje de la turbina por lo que gira a la misma velocidad que esta (3600 rpm), es un generador trifásico con una potencia activa nominal de 250 MW y máxima de 275 MW, la potencia aparente de 294.12 MVA, el factor de potencia de 0.85, voltaje nominal 15,7 kV; es enfriado con hidrógeno por la parte exterior de las bobinas y además de esto posee un sistema de enfriamiento con agua desmineralizada por el interior de varios conductores del estator.

Los conductores de salida del Generador Eléctrico están conectados a un Transformador de Voltaje trifásico con una potencia aparente de 325 MVA, la tensión de entrada al mismo es de 15,7 kV, la tensión en la parte secundaria es de 242 kV, este transformador es el encargado de elevar el nivel de voltaje para la transmisión de la electricidad a largas distancias con el mínimo de pérdidas, la salida del mismo está conectada a través de interruptores al Sistema Electroenergético Nacional de Cuba. [\[Ver anexo 1\]](#),

1.3. Nociones del funcionamiento de las Máquinas de Inducción

Los motores asíncronos (MA) son máquinas eléctricas, las cuales han tenido mayor aplicación en la industria y artefactos electrodomésticos. Estas máquinas son los principales convertidores de energía eléctrica en mecánica (actualmente los MA consumen casi la mitad de la energía eléctrica generada). Su uso es, principalmente, en calidad de mando eléctrico en la mayoría de los mecanismos, ello se justifica por la sencillez de su fabricación, su alta confiabilidad y un alto valor de eficiencia.

El rotor puede ser de dos tipos: Rotor Bobinado o De Anillos y Rotor Jaula De Ardilla o En Cortocircuito

1.3.1 Principio de funcionamiento del motor

El rotor bobinado tiene un devanado trifásico del mismo número de polos y fases que el del estator y cuyos terminales se conectan a tres anillos deslizantes sobre los cuales descansan tres escobillas a través de las cuales pueden introducirse resistencias externas (tal como se muestra en la figura 1.1 b)) o conectarse a otro circuito exterior. Por otra parte, el rotor de jaula consta de un número determinado de barras, de cobre o aluminio, cortocircuitadas a través de anillos situados en los extremos del rotor. Este último tiene la gran ventaja de ser más pequeño y barato y necesitar menos mantenimiento siendo, por esta razón, el más utilizado en la

industria. Aunque el rotor sea de jaula, para su estudio puede suponerse un rotor bobinado equivalente, con sus terminales cortocircuitados, tal como se muestra en la figura 1.1c).

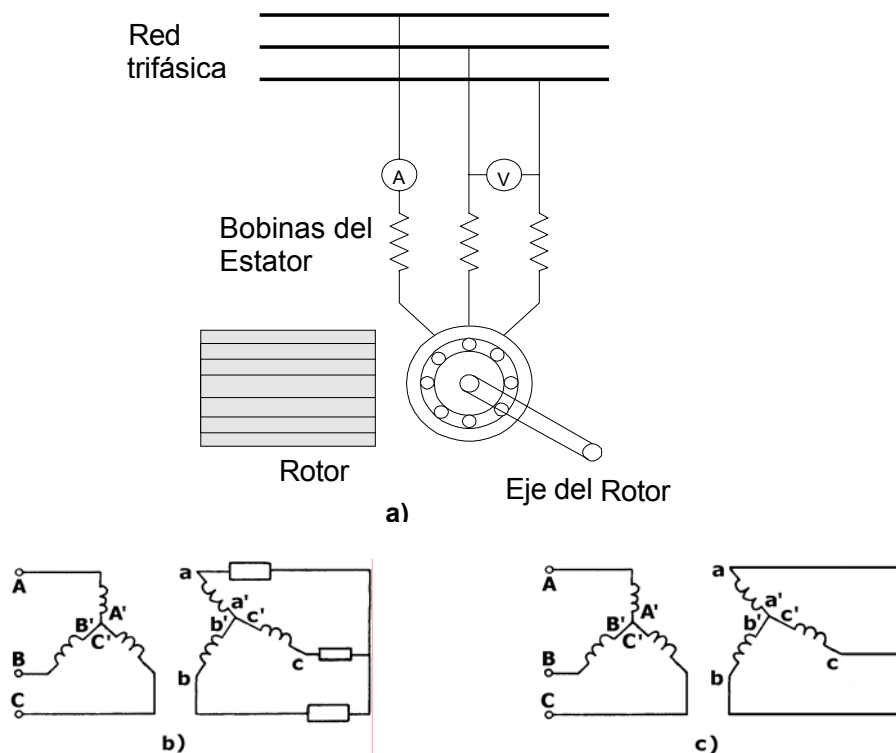


Figura 1.1: a) Esquema de instalación de un motor de inducción.

b) Esquema circuital del motor con resistencias externas.

c) Esquema circuital del motor sin resistencias externas.

Para analizar el principio de operación de esta máquina se supondrá primero que el circuito del rotor está abierto y que, por tanto, sólo circula corriente por el devanado del estator. Esta corriente sirve para producir el campo magnético de acoplamiento (despreciando las pérdidas de núcleo) y es denominada Corriente Magnetizante, o sea, para cada fase se cumple que:

$$i_s = i_M \quad (1.1)$$

donde i_M es el valor instantáneo de la corriente magnetizante.

Esta corriente provoca una fuerza magnetomotriz giratoria \vec{F}_m y un flujo ϕ_m que induce una fuerza electromotriz en el estator igual a:

$$E_S = 4,44 \cdot f_1 \cdot W_S \cdot K_{devS} \cdot \phi_m \quad (1.2)$$

donde W_S es el número de espiras por fase del devanado del estator y K_{devS} el factor de devanado del estator. También, en cada fase del rotor se induce una fem E_R dada por:

$$E_R = 4,44 \cdot f_1 \cdot W_R \cdot K_{devR} \cdot \phi_m \quad (1.3)$$

En este caso el rotor no gira debido a que no está circulando corriente por él.

Si ahora se cierra el circuito del rotor comienza a circular corriente por él. Esta corriente reacciona con el flujo giratorio del entrehierro (ϕ_m) y crea un momento (torque o par) que hace girar al motor, acelerándolo. Esta rotación se produce en el mismo sentido que la del flujo giratorio, trayendo como consecuencia que la velocidad relativa de los conductores del rotor, con respecto al flujo del estator, disminuya, disminuyendo, por tanto, la fem inducida en el rotor y la corriente. Este proceso de disminución de corriente y aumento de la velocidad continúa hasta que el valor de corriente es tal, que el momento o par que ella produce equilibra el momento externo de la carga mecánica del motor. Entonces, la velocidad y el valor efectivo de la corriente se hacen constantes y se alcanza el estado estacionario.

Esta velocidad estable n_2 tiene que ser menor que la velocidad sincrónica n_1 a la cual se mueve el flujo giratorio para que exista movimiento relativo entre el flujo y los conductores del rotor. A mayor carga mecánica externa mayor velocidad relativa, mayor fem inducida y mayor corriente, implicando esto menor velocidad del rotor. El valor de la velocidad relativa en por unidad se denomina Deslizamiento y está dado por:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (1.4)$$

En el motor trifásico, las bobinas se colocan en las ranuras interiores del estator. Las fases del devanado del estator se conectan en tipo estrella (Y) o triángulo (Δ), cuyos bornes son conectados a la red.

El devanado del rotor también es trifásico (o polifásico) y se coloca en la superficie del cilindro. En el caso simple se une en corto circuito.

Cuando el devanado del estator es alimentado por una corriente trifásica, se induce un campo magnético giratorio, cuya velocidad (sincrona) es:

$$n_1 = \frac{60f_1}{P}, \text{ siendo } f_1 \text{ la frecuencia de la red y } P, \text{ pares de polos.} \quad (1.5)$$

Sobre los conductores con corriente, empleados en el campo magnético, actúan fuerzas electromagnéticas; estas fuerzas crean un *Melmagn* que arrastra al rotor tras el campo magnético. Si este *Melmagn* es lo suficientemente grande entonces el rotor va a girar a velocidad n_2 .

$$M_{elmag1} = M_{freno2}$$

Este es el funcionamiento de la máquina en régimen de motor y es evidente en este caso.

$$0 \leq n_2 < n_1$$

De donde se deduce que en el régimen de motor: $0 < s \leq 1$

En generador: $s > 0$

En frenado electromagnético: $s > 1$

La principal característica de los MA es la presencia del deslizamiento s , es decir la desigualdad de velocidades entre el campo del estator y la velocidad del rotor

$$n_2 \neq n_1$$

1.3.2 Diagrama energético del motor eléctrico

Cuando la maquina esta conectada al transformador de alimentación, representa una potencia aparente que se determina por:

$$S = \sqrt{3} * U_1 * I_1 \quad (1.6)$$

S ► Potencia aparente

No toda la energía que obtenemos de la red eléctrica la podemos transformar en energía mecánica y esto se debe a que hay ciertos componentes en las máquinas eléctricas (bobinados, etc.) que necesitan para su funcionamiento interno cierta parte de esa energía y es al lo que denominamos Potencia Reactiva

$$Q = \sqrt{3} * U_1 * I_1 * \text{sen} \theta \quad (1.7)$$

Q ► Potencia reactiva

θ ► Ángulo entre la corriente (I_1) y la tensión (U_1)

Cuando el motor está en funcionamiento, el estator se alimenta de la red y absorbe una potencia:

$$P_1 = m_1 * U_1 * I_1 * \cos \theta \quad (1.8)$$

P_1 ► Potencia de entrada

m_1 ► número de fases

Parte de la P_1 se consume (disipa) en la resistencia R del devanado del estator, ocasionando una pérdida eléctrica Δp_{el1} , así como una pérdida magnética en el campo del estator Δp_{mag} , deduciendo dichas componentes, al rotor se le aplica una potencia electromagnética, que se expresa mediante la siguiente ecuación de balance energético:

$$P_{el\text{mag}} = P_1 - \Delta p_{el1} - \Delta p_{mag} \quad (1.9)$$

Parte de esta potencia se disipa en cubrir las pérdidas eléctricas del rotor Δp_{el2} en

su devanado, la potencia resultante es aquella que va a ser convertida en potencia mecánica, expresado por:

$$P_{mec} = P_{elmag} - \Delta p_{el2} \quad (1.10)$$

En las máquinas de anillos rozantes, además se tienen pérdidas en las escobillas de contacto, las cuales se añades a la pérdida Δp_{el2} .

La potencia mecánica obtenida en el árbol del eje del rotor, se obtiene luego de vencer su inercia y otras pérdidas adicionales, obteniéndose una potencia P_2 :

$$P_2 = P_{mec} - \Delta p_{fric} - \Delta p_{adic} \quad (1.11)$$

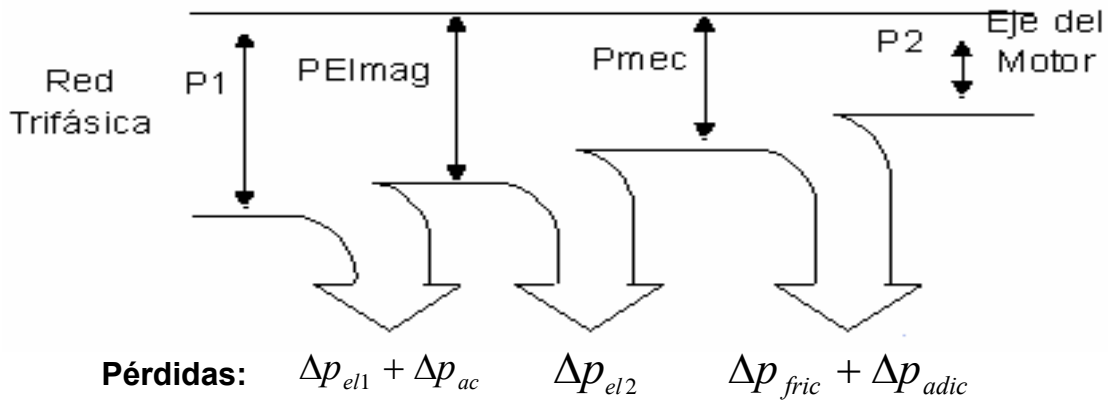


Figura. 1.2: Diagrama energético del motor.

1.3.3 Relación entre Eficiencia (η) y deslizamiento (s) en motores

Para definir la relación entre la eficiencia η y el deslizamiento s en los motores, se analiza la eficiencia mediante la relación:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{P_{elmag}}{P_1} \right) * \left(\frac{P}{P_{elmag}} \right) = \eta_1 * \eta_2 \quad (1.12)$$

La eficiencia también está determinada en porcentaje:

$$\eta_{(\%)} = \frac{P_2}{P_1} * 100\% = \left(\frac{P_{elmag}}{P_1} \right) * \left(\frac{P}{P_{elmag}} \right) * 100\% = \eta_1 * \eta_2 * 100\% \quad (1.13)$$

donde η_1 y η_2 ► eficiencias del estator y del rotor

Teniendo en cuenta:

$$\eta_2 = \frac{P}{P_{el\text{mag}}} = \frac{P_{el\text{mag}} - \Delta p_{el2} - \Delta p_{fric} - \Delta p_{adic}}{P_{el\text{mag}}} \quad (1.14)$$

Entonces es válida la siguiente relación:

$$\eta_2 < \frac{P_{el\text{mag}} - \Delta p_{el2}}{P_{el\text{mag}}} < \frac{1 - \Delta p_{el2}}{P_{el\text{mag}}} < (1 - s) \quad (1.15)$$

Por lo tanto:

$$\eta < \eta_2 < (1 - s) \quad (1.16)$$

Del análisis realizado se puede concluir con lo siguiente:

Para que un motor funcione en su régimen nominal con una alta eficiencia, es necesario que en este régimen se tenga un deslizamiento s de pequeña magnitud. Por lo general $s_{nom} = 0.01 - 0.06$, para ello el devanado del rotor lo diseñan de tal forma que tenga una resistencia óhmica pequeña.

1.4. Bombas de engranajes.

Una bomba es una máquina destinada a desplazar el líquido y aumentar su energía transformando la energía recibida del motor en energía potencial, cinética y, en un grado insignificante, calorífica del flujo de líquido.

Las bombas se clasifican en dos grandes grupos principales: dinámicas y volumétricas. En el caso de las dinámicas la transmisión de la energía al flujo tiene

lugar bajo la influencia de las fuerzas que actúan sobre el líquido en las cavidades de trabajo, que se encuentran constantemente comunicadas con la entrada y la salida de la bomba. Mientras que en las bombas volumétricas la energía se transmite al medio líquido en las cámaras de trabajo, que cambian periódicamente el volumen y que se comunican alternativamente con la entrada y salida de la bomba.

El funcionamiento de las máquinas volumétricas se realiza mediante la aspiración y expulsión de los medios líquidos o gaseosos con ayuda de cuerpos sólidos: émbolos, placas o dientes que se mueven en las cavidades de trabajo, o sea, cilindros y cuerpos de formas especiales.

Las **bombas de engranajes** se usan para bombear aceite de lubricación, y casi siempre tienen un componente de vibración fuerte en la frecuencia del engranaje, que es el número de dientes en el engranaje por las RPM. Este componente dependerá fuertemente de la presión de salida de la bomba. Si la frecuencia del engranaje se cambia de manera significativa, y hay una aparición de armónicos o de bandas laterales, en el espectro de vibración, este podría ser una indicación de un diente cuarteado ó dañado de otra manera. Estas son bombas robustas de caudal fijo, con presiones de operación hasta 250 bar (3600psi) y velocidades de hasta 6000 rpm. Con caudales de hasta 250 cc/rev combinan una alta confiabilidad y tecnología de sellado especial con una alta eficacia.

1.4.1 Principio de funcionamiento de las bombas de engranajes.

Este tipo de bomba (**figura 1.3**) produce caudal al transportar el fluido entre los dientes de dos engranajes acoplados. Uno de ellos es accionado por el eje de la bomba (motriz), y este hace girar al otro (libre). La bomba de engranajes funciona por el principio de desplazamiento; el piñón es impulsado según se indica en la figura; se hace girar al piñón B en sentido contrario. En la bomba, la cámara S (de admisión), por la separación de los dientes, en la relación se liberan los huecos de dientes. Esta depresión provoca la aspiración del líquido desde el depósito.

Los dientes llenados transportan el líquido a lo largo de la pared de la carcasa hacia la cámara P (de impulsión). En la cámara P los piñones que engranan transportan el líquido fuera de los dientes e impiden el retorno del líquido de la cámara P hacia la cámara S. Por lo tanto el líquido de la cámara P tiene que salir hacia el receptor, el volumen del líquido suministrado por revolución se designa como volumen suministrado (cm^3/rev).

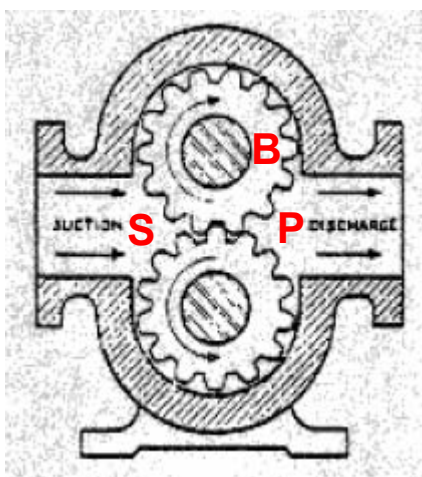


Figura 1.3: Bomba de engranajes externos.

1.4.2 Caudal de las bombas de engranajes.

El caudal de una bomba de engranajes que consta de dos ruedas dentadas de iguales dimensiones se determina por las dimensiones geométricas de la bomba y la frecuencia de rotación de su árbol como se muestra a continuación.

$$Q_B = 2flzn\eta_0 \quad (1.17)$$

Donde:

f ► Área de la sección transversal, m^2

l ► Longitud del diente de la rueda, m

z ► Cantidad de dientes.

n ► Frecuencias de rotación, r.p.m



η_0 ► Rendimiento volumétrico

1.4.3 Rendimiento y Potencia de la bomba de engranajes

En las bombas rotativas el significado principal lo tienen las pérdidas volumétricas y las pérdidas condicionadas por el rozamiento mecánico. Las pérdidas de energía, condicionadas por el rozamiento del líquido, aquí son insignificantes y prácticamente

$$\eta_h = 1$$

La operación y eficiencia de la bomba de engranes, en su función básica de obtener una presión determinada, a un número también determinado de revoluciones por minuto se define mediante tres rendimientos a saber:

Rendimiento volumétrico de la bomba de engranajes

El rendimiento volumétrico de la bomba (η_0) es el cociente que se obtiene al dividir el caudal de líquido que comprime la bomba y el que teóricamente debería comprimir. Las pérdidas volumétricas se determinan por el tipo de bomba, la anchura de las holguras, la viscosidad del líquido y la presión que crea la bomba.

La anchura de las holguras ejerce una influencia considerable en el volumen de líquido que circula dentro de la bomba; el desgaste de los elementos de la bomba, relacionado con el aumento de la holgura, disminuye el rendimiento volumétrico y empeora la eficiencia energética de la bomba. La viscosidad del líquido influye directamente en la resistencia hidráulica de los flujos en las holguras. Cuanto mayor es la viscosidad, tanto menores son las fugas a través de las holguras y mayor es el rendimiento η_0 . De aquí se aclara la influencia de la temperatura del líquido en el rendimiento volumétrico de la bomba rotativa; η_0 disminuye al aumentar la temperatura del líquido. Para este tipo de bombas $\eta_0 = 0,7 \dots 0,9$

Rendimiento mecánico de la bomba de engranaje

El rendimiento mecánico (η_{mec}) mide las pérdidas de energía mecánica que se producen en la bomba, causadas por el rozamiento y la fricción de los mecanismos internos en movimiento. El factor principal que influye en este rendimiento es la presión creada por la bomba. Si la presión aumenta, pero no sobrepasa cierto límite, entonces el η_{mec} aumenta. Al elevar la presión por encima de un valor límite determinado la presión comienza a disminuir a causa de la extrusión del líquido de las superficies rozantes.

En el η_{mec} tiene influencia la viscosidad y, por consiguiente, la temperatura del líquido. Cuanto mayor es la viscosidad, tanto más intenso es el rozamiento en la fina capa de líquido que separa las superficies en movimiento, y menor es el η_{mec} . En términos generales se puede afirmar que una bomba de bajo rendimiento mecánico es una bomba de desgaste acelerado. En estas bombas $\eta_{mec} = 0,85 \dots 0,98$.

Rendimiento total o global de la bomba de engranajes

El rendimiento total o global (η) es el producto de los rendimientos energético, volumétrico y mecánico. Se llama total porque mide la eficiencia general de la bomba en su función de bombear líquido a presión, con el aporte mínimo de energía al eje de la bomba.

Así pues el rendimiento total se expresa como el consumo de energía necesario para producir la presión hidráulica nominal del sistema.

$$\eta = \eta_h * \eta_0 * \eta_{mec} \quad (1.18)$$

- **Potencia de las bombas de engranajes.**

En dependencias del caudal y la presión, creadas por la bomba rotativa, su potencia se determina por la fórmula:

$$N = \frac{Q_B * p}{1000 * \eta} \quad (1.19)$$

1.4.4 Características y regulación del caudal de las bombas de engranajes.

Estas Bombas presentan características particulares en cuanto a sus parámetros y la forma de variar el flujo, debido a su caudal fijo en cualquiera de las condiciones de trabajo, a continuación se relacionan algunas de los parámetros principales con la regulación del caudal y la presión.

La presión en función del caudal, $p = f(Q_B)$.

Este tipo de características son del mismo tipo para todas las bombas volumétricas y se emplean para investigar el funcionamiento conjunto de la bomba y la tubería. El procedimiento principal de regulación del caudal de una bomba de engranes con accionamiento eléctrico es variando la frecuencia de rotación del motor de accionamiento. La característica principal de las bombas de engranes es la dependencia entre su caudal y la altura de presión (presión). Esto significa que con la frecuencia de rotación dada el caudal es constante e igual para todas las alturas de presión. Por esta razón en el sistema de coordenadas $Q - H$ la característica $H = f(Q_B)$ se representará (siendo $n = n_1$) con una línea recta como se muestra en la figura 1.4

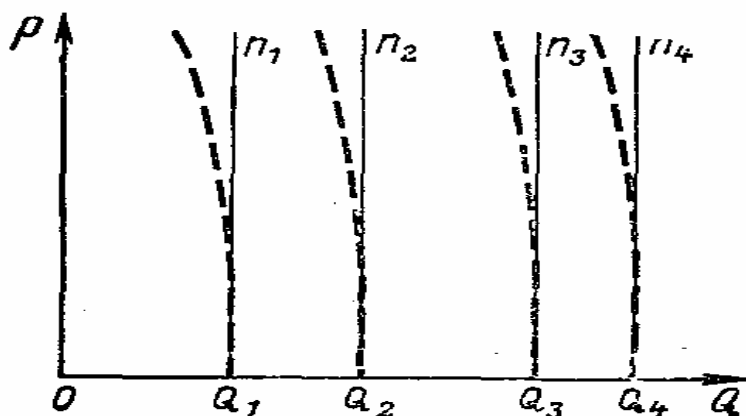


Figura 1.4: Características teóricas y reales de la altura de presión siendo $n = \text{var}$.

Fuente: Cherkasski, 1986.

Si la bomba recibe una nueva frecuencia de rotación $n_2 > n_1$, entonces su caudal aumentará proporcionalmente a la frecuencia de rotación y la característica ocupará una nueva posición, correspondiente a n_2 . Análogamente se obtienen las características para las frecuencias de rotación $n_3 > n_2, n_4 > n_3, \dots$. Se puede apreciar que las características teóricas, siendo constante la frecuencia de rotación, representan una familia de líneas rectas, paralelas al eje de ordenadas. Mientras que las características reales se desvían de la teórica.

Dado que la presión se determina por las condiciones del funcionamiento conjunto de la bomba y la red de tuberías, la cuestión sobre la potencia en el árbol de las bombas de engrane se puede examinar solamente con arreglo a las condiciones de la red dada. El problema acerca de la determinación de la altura de presión (presión), creada por la bomba de engrane, y la potencia útil de la misma se resuelve gráficamente trazando conjuntamente las características de la bomba y la tubería como se muestra en la **figura 1.5**

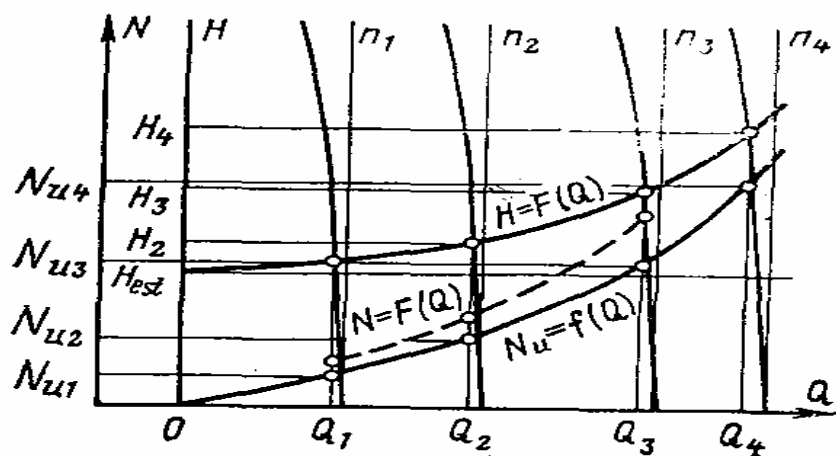


Figura 1.5: Diagrama del funcionamiento conjunto de una bomba de engranes y la tubería.

Fuente: Cherkasski, 1986.

El caudal, la potencia y la eficiencia en función de la presión.

En este caso se toma como argumento la presión creada por la bomba; la viscosidad del líquido se considera constante. En la **figura 1.6** la función $Q_B = f(p)$ se representa con una línea recta que se desvía de la horizontal por la disminución del rendimiento volumétrico al aumentar la presión. En la misma se encuentra marcado el punto P_{lim} que establece el límite de capacidad de trabajo de la bomba. Tras este límite se observa una rápida reducción del rendimiento y el crecimiento de la potencia de la bomba, dado a que la misma funciona con rápido desgaste.

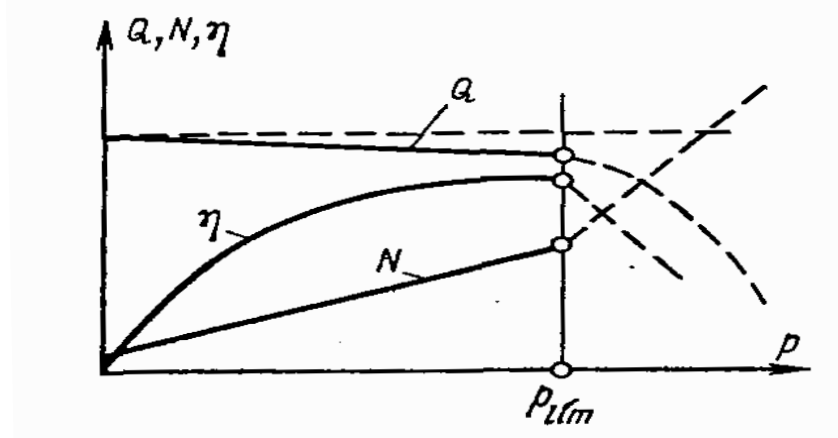


Figura 1.6: Característica de $Q_B = f(p)$ de una bomba de engranajes.

Fuente: Cherkasski, 1986.

1.5. Especificidades de los variadores de velocidad.

Los variadores son convertidores de energía encargados de modular la energía que recibe el motor. Otra definición sería, los variadores de velocidad son dispositivos que permiten variar la velocidad y la cupla de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables. Se utilizan estos equipos cuando las necesidades de la aplicación sean:

- Dominio de par y la velocidad
- Regulación sin golpes mecánicos
- Movimientos complejos



- Mecánica delicada

Los variadores de frecuencia están compuestos por:

- **Etapa Rectificadora.** Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc.
- **Etapa intermedia.** Filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos.
- **Inversor o "Inverter".** Convierte la tensión continua en otra de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean IGBT's (Isolated Gate Bipolar Transistors) para generar los pulsos controlados de tensión. Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con todas las protecciones por sobrecorriente, sobretensión, baja tensión, cortocircuitos, puesta a masa del motor, sobretensiones, etc.
- **Etapa de control.** Esta etapa controla los IGBT para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia. Y además controla los parámetros externos en general, etc. Los variadores mas utilizados utilizan modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y usan en la etapa rectificadora puente de diodos rectificadores. En la etapa intermedia se usan condensadores y bobinas para disminuir las armónicas y mejorar el factor de potencia

1.5.1 Variadores de velocidad por frecuencia en el conjunto motor-bomba.

La evolución de los accionamientos de motores de inducción con velocidad variable ha seguido el deseo de emular con las cualidades de los accionamientos con motores de corriente directa, en virtud de la rápida respuesta del torque y exactitud en el control de su velocidad.

Los variadores de velocidad empleados en el sistema de bombeo basan su principio general de funcionamiento en la velocidad de sincronismo (min^{-1}) de un motor asincrónico. Esta velocidad depende del número de polo (p) y de la frecuencia (f_1) de su alimentación. Dicha magnitud se relaciona por la expresión (1.5):

$$n_1 = \frac{60f_1}{P}$$

Cambiar la frecuencia (f_1) significa cambiar la velocidad (n_1) de sincronismo de un motor dado. Sin embargo, cambiar la frecuencia sin modificar la tensión de alimentación modifica la densidad del flujo magnético en el motor. Por eso los moduladores hacen variar simultáneamente tensión y frecuencia de salida, lo cual permite optimizar la curva de par del motor y evitar su calentamiento.

Se denominan así a los variadores de velocidad que rectifican la tensión alterna de red (monofásica o trifásica), y por medio de seis transistores trabajando en modulación de ancho de pulso (PWM) generan una corriente trifásica de frecuencia y tensión variable. Un transistor más, llamado de frenado, permite direccionar la energía que devuelve el motor (durante el frenado regenerativo) hacia una resistencia exterior.

Los moduladores (Variadores de velocidad) alimentan el motor mediante una tensión generada a partir de una tensión interna continua y fija. Se produce la modulación por el principio de modulación de amplitud de impulsos (PWM). El modulador suministra al motor una corriente próxima a una senoide con pocos armónicos. Los circuitos magnéticos de los motores y sus bobinados soportan el uso de estos moduladores, por lo tanto el conjunto motor-variador asegura unas prestaciones de par garantizada en cualquier condición de funcionamiento.

La estrategia de disparo de los transistores del ondulator es realizada por un microprocesador que, para lograr el máximo desempeño del motor dentro de todo el rango de velocidad, utiliza un algoritmo de control vectorial de flujo. Este algoritmo por medio del conocimiento de los parámetros del motor y las variables de funcionamiento (tensión, corriente, frecuencia, etc.), realiza un control preciso del flujo magnético en el motor manteniéndolo constante independientemente de la frecuencia de trabajo. Al ser el flujo constante, el par provisto por el motor también lo será.

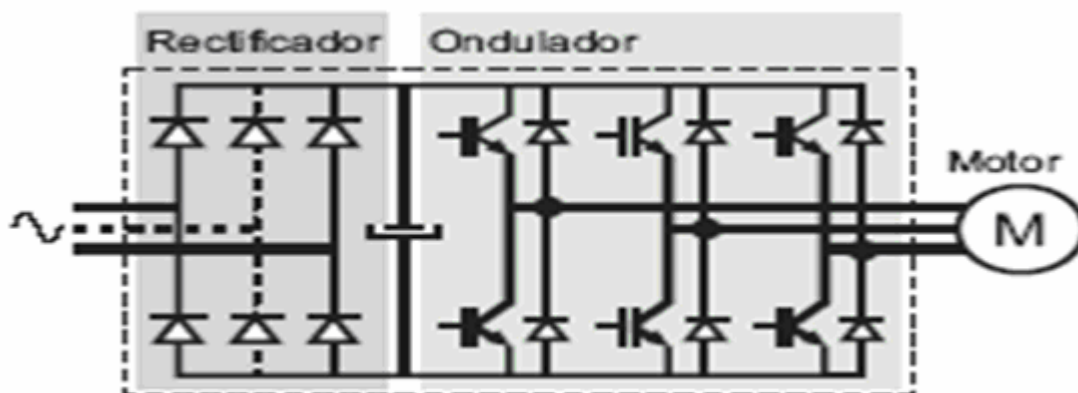


Figura 1.7.: Esquema de principio de un convertidor de frecuencia

Como resumen se puede decir que la regulación electrónica de velocidad, se presenta como la opción más atractiva, tanto desde la perspectiva del ahorro como de la fiabilidad, disponibilidad y mantenimiento.

1.6 Conclusiones parciales

Mediante el capítulo se obtuvo un gran conocimiento de los aparatos y medios que actúan en el proceso estudiado, de lo que se concluye que:

- Al observar y describir el flujo tecnológico donde se desarrolla el accionamiento eléctrico; se aprecia que las variables que inciden en la eficiencia del sistema de accionamiento de bomba de engranajes son: la potencia de las bombas y la presión en la descarga, la corriente de los motores que accionan las bombas, flujo de petróleo y la velocidad.
- La única manera de variar el caudal en las bombas de engranajes es cambiando la velocidad de rotación y esto se logra a través de un variador de velocidad en el motor acoplado.
- Los variadores de velocidad por frecuencia (VDF) tienen una gran importancia en el ahorro y mejoras de eficiencia de los accionamientos con bombas en los sistemas industriales.



CAPÍTULO II: ESTUDIO DEL CONJUNTO MOTOR- BOMBA .

Con motivo de conocer las características reales de las principales variables presentes en el accionamiento, se realiza el estudio del motor de inducción y de la bomba de engranajes, para ello se utilizan instrumentos de mediciones eléctricas de alta precisión. Se establece la correlación entre las variables del proceso (flujo, carga del generador) y una de las variables principales (velocidad en el rotor) del accionamiento, también en el capítulo se busca un procedimiento para el cálculo de las diferentes variables al cambiar la frecuencia de la red.

2.1. Generalidades del accionamiento del conjunto motor – bomba en el sistema de bombeo de primer impulso de la CTE de Felton.

La Central Termoeléctrica como ya se había mencionado en el capítulo anterior, consta de dos unidades de generación de 250 MW cada una, cada bloque o unidad es un sistema independiente que necesita de vapor para accionar la turbina de cada generador, esto se logra a través de la combustión del petróleo crudo mejorado CM-650 en la caldera. Para lograr el transporte desde los tanques de almacenamiento hasta la combustión, existen dos sistemas de bombeo denominados primer y segundo impulso. (Fig.2.1).

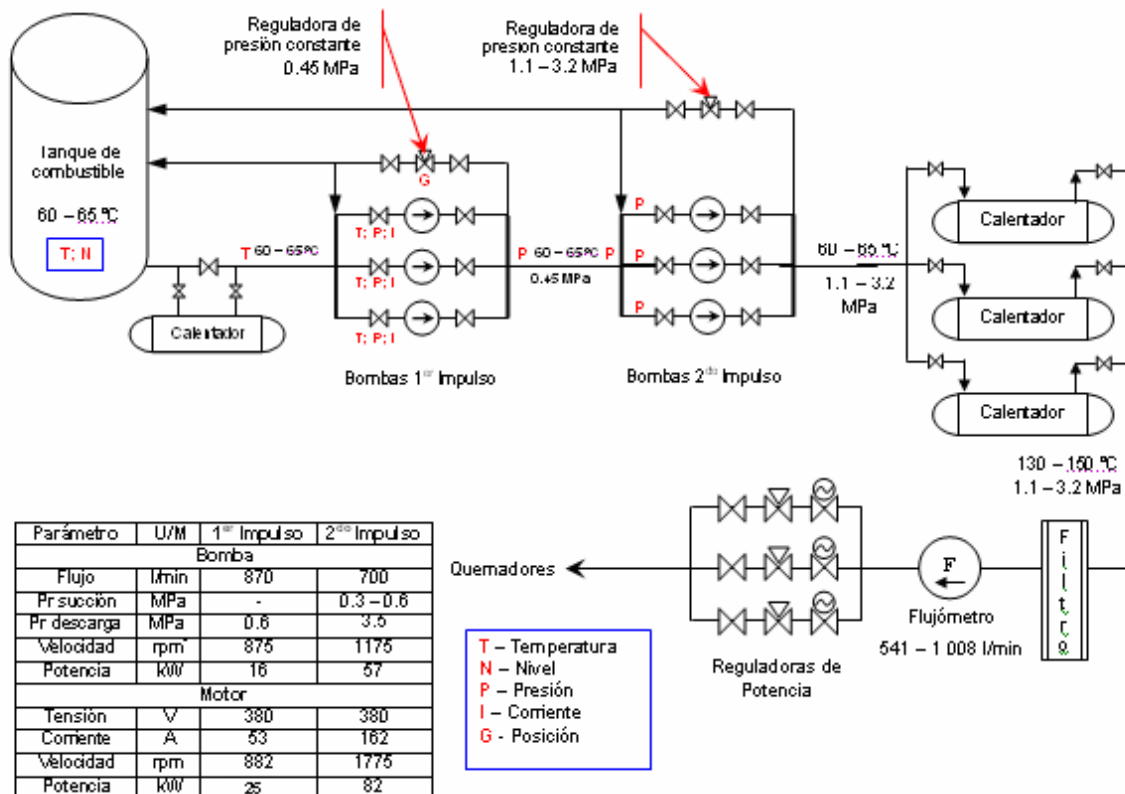


Figura 2.1: Esquema de transporte del combustible en la CTE para un Bloque de Generación.

Cada sistema cuenta con seis bombas e igual cantidad de motores asíncronos que tienen el objetivo común de impulsar el crudo pero difieren en características específicas. Este trabajo está basado en el sistema de bombeo de primer impulso, en el cual el complejo de máquinas está dividido en dos subgrupos de tres conjuntos cada uno donde trabajan dos motores y uno permanece de reserva, los mismos, son análogos, al igual que las bombas que son accionadas por ellos, conectadas a un nodo común, es decir; una conexión en paralelo para lograr el flujo en conjunto. Antes de la succión, un calentador, a la salida del tanque, eleva la temperatura del combustible a $60^{\circ}\text{C} - 65^{\circ}\text{C}$, que se mantiene hasta la descarga de las bombas. La regulación del flujo se realiza a través de una válvula reguladora de presión a 0.45 MPa en la salida del nodo común del caudal, el combustible que no continúa en el proceso es recirculado al tanque de almacenamiento o a la succión de las bombas.

2.2. Análisis del conjunto de motores de inducción.

Para realizar un estudio de las principales variables del motor que actúan en el accionamiento, fue preciso realizar mediciones reales en todos los motores correspondientes a cada bomba de ambos bloques de generación, estas fueron realizadas durante tres días cada una hora, utilizando como instrumento de medición eléctrico, un amperímetro de gancho METRIX de fabricación MX-1140 [\[ver anexo 2\]](#), con el cual se obtuvieron valores de corriente y tensión en cada línea, además, se utilizó un tacómetro óptico CHauvin Arnoux modelo CA 25 [\[ver anexo 3\]](#), para visualizar los valores de velocidad en el rotor en rev/min, otra ayuda significativa se obtuvo gracias al software Active Factory Trend [\[ver anexo 4\]](#), instalado en la empresa y que registra los datos de los procesos y accionamientos que ocurren en la misma, de aquí solo se tomaron para el análisis los datos de la noche en los días que se produjeron las mediciones. Para la muestra de los resultados se evaluaron las variables principales en dos horarios, un diurno tomadas de las mediciones de campo y uno nocturno de los datos de la SCADA supervisor de procesos, debido a que durante la noche la generación de electricidad es menor y se puede llegar a conclusiones más acertadas del comportamiento de las variables para diferentes valores de potencia generada en los Bloques.

Las máquinas analizadas fueron las que estaban en operación durante los días que se registraron las mediciones:

1PD32 Y 1PD33 ► Motores del Bloque 1

1PD31 ► Reserva

2PD32 Y 2PD33 ► Motores del Bloque 2

2PD31 ► Reserva

Tabla 2.1: Datos Técnicos Generales de los Motores

$P(KW)$	$I(A)$	$U(V)$	$COS\theta$	$f_1(Hz)$	$\eta(\%)$	$n_2(rpm)$
25	53	380	0.8	60	93	882

2.2.1. Comportamiento de la tensión y la corriente.

- Tensión

Para analizar detalladamente este aspecto, es necesario conocer que el software consultado donde se registran los datos de los procesos que ocurren en la Central Termoeléctrica, toma la tensión como un valor constante en la red de 380 V y así está reflejado en los datos obtenidos, las mediciones de campo [\[ver anexo 5, 6, 7 y 8\]](#) demuestran lo contrario, existen variaciones en la tensión, no siempre es 380 V, como se exige, la variación porcentual de la tensión (Fig.2.2 a)) se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Variación de tensión (\%)} = \left[\frac{\text{Tensión Promedio Medida}}{\text{Tensión Nominal}} - 1 \right] \times 100 (\%) \quad (2.1)$$

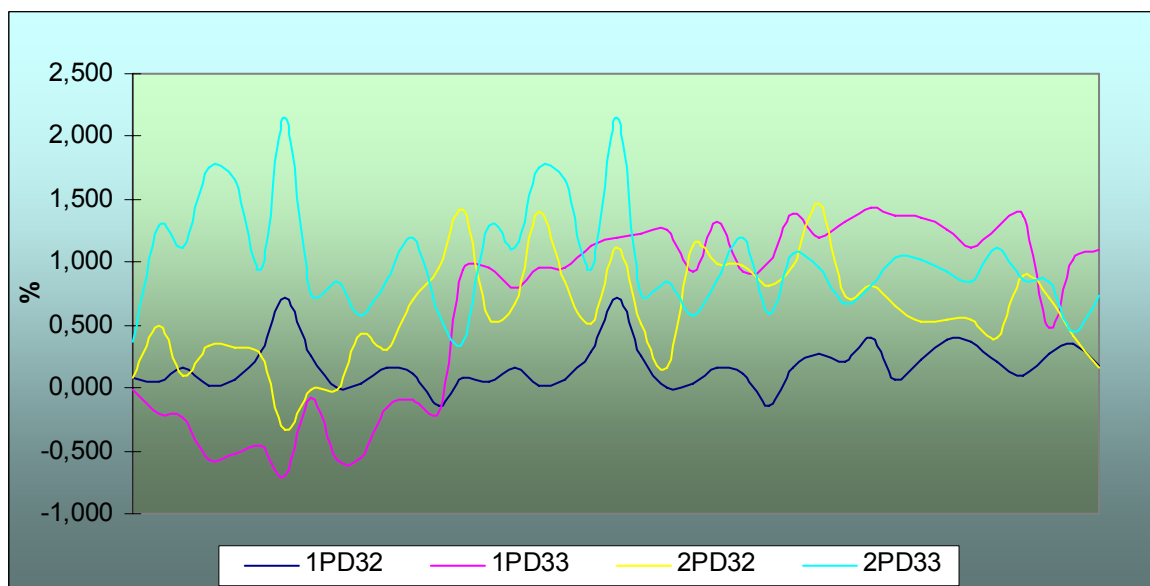


Figura 2.2 a): Variación porcentual de la tensión en los motores de cada unidad.

Independientemente de la afectación sobre la eficiencia y otros parámetros de operación, las normas establecen los límites de variación de tensión permisible para la operación de los motores. Así, la NEMA fija un $\pm 10 \%$ y la IEC un $\pm 5 \%$ para operación continua (y hasta un $\pm 10 \%$ en períodos limitados de tiempo), en condiciones de frecuencia nominal. En las máquinas estudiadas estos cambios no exceden el 2.5% .

El desbalance de tensión por su parte, es muy importante; porque es la condición anormal más generalizada que sufren las máquinas asincrónicas en los sistemas eléctricos industriales. Sin embargo, no siempre se presta la atención debida a este problema, incurriéndose en pérdidas y gastos más allá de lo necesario, y en otros problemas relacionados con la demanda, el calentamiento, las protecciones, etc.

Las normas internacionales han establecido límites en la explotación de las máquinas y procedimientos para determinar el grado de desbalance de un sistema.

La norma ANSI C50.41.4.2 establece que un desbalance superior a un 1% es una condición inadecuada que debe eliminarse. La norma IEC 34.1.12.2.1 plantea que los motores deben ser capaces de operar por un largo período de tiempo con un desbalance de un 1% o por un corto período de tiempo que no exceda varios minutos con un desbalance de 1.5% . La norma NEMA MG1 14.35 establece un ajuste de la capacidad de los motores en función del desbalance y define el $\%$ de desbalance como:

$$\%Desb_{LÍNEA} = \frac{Max[|V_{AB} - V_{PROM}|; |V_{BC} - V_{PROM}|; |V_{CA} - V_{PROM}|]}{V_{PROM}} \quad (2.2)$$

Durante el análisis de los motores y reflejado en la Fig. 2.2 b), se demuestra que el desbalance de tensión se mantiene por debajo de lo establecido por norma.

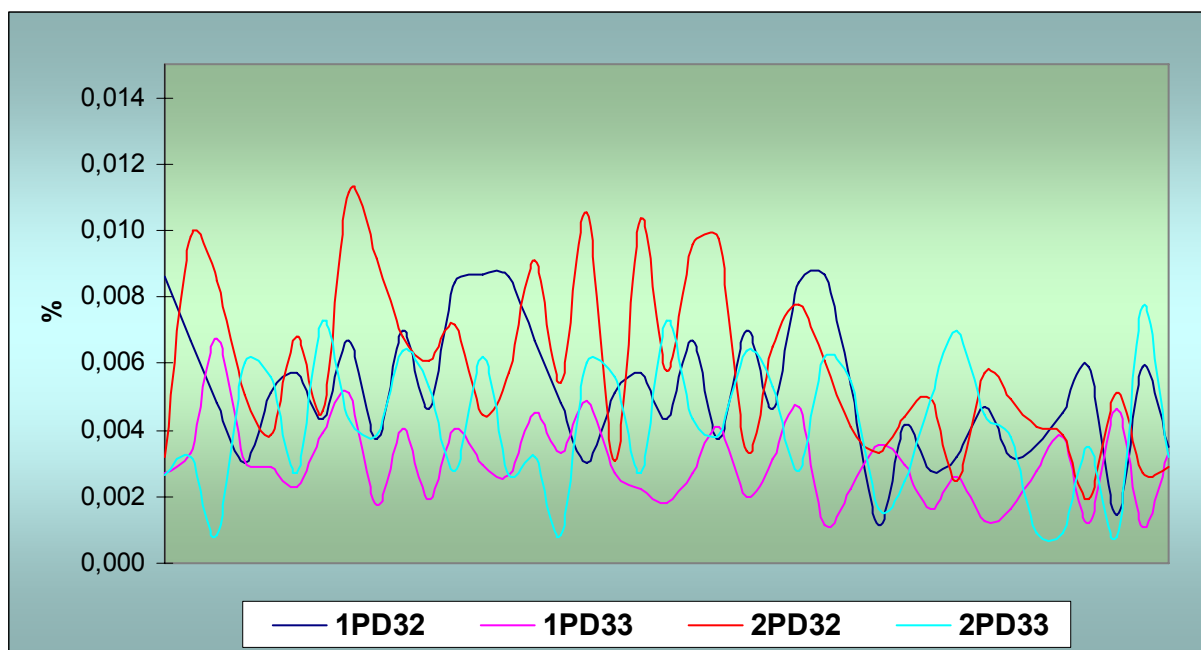


Figura 2.2 b): Desbalance de tensión para los dos Bloques de Generación.

Después de haber estudiado detalladamente este aspecto se destaca, que en cuanto a la tensión en sentido general, los motores están trabajando en óptimas condiciones evitando así, el calentamiento, deterioro en los devanados y la afectación directa de la eficiencia.

- **Corriente**

Para un estudio de este importante parámetro se midió el valor por fase y la registrada por la computadora en ese horario y se obtuvo un promedio que es el comportamiento que se muestra en la Figura 2.3

La intensidad de la corriente varía en correspondencia a lo establecido, nunca sobrepasando la nominal y muy estable en cada subconjunto, lo que nos indica la constancia de la potencia demandada de la red debido a su dependencia directa. Los resultados de las mediciones en cada caso [\[ver anexo 9, 10, 11 y 12\]](#) señalan que los motores no están trabajando a plena carga sino por debajo de esta,

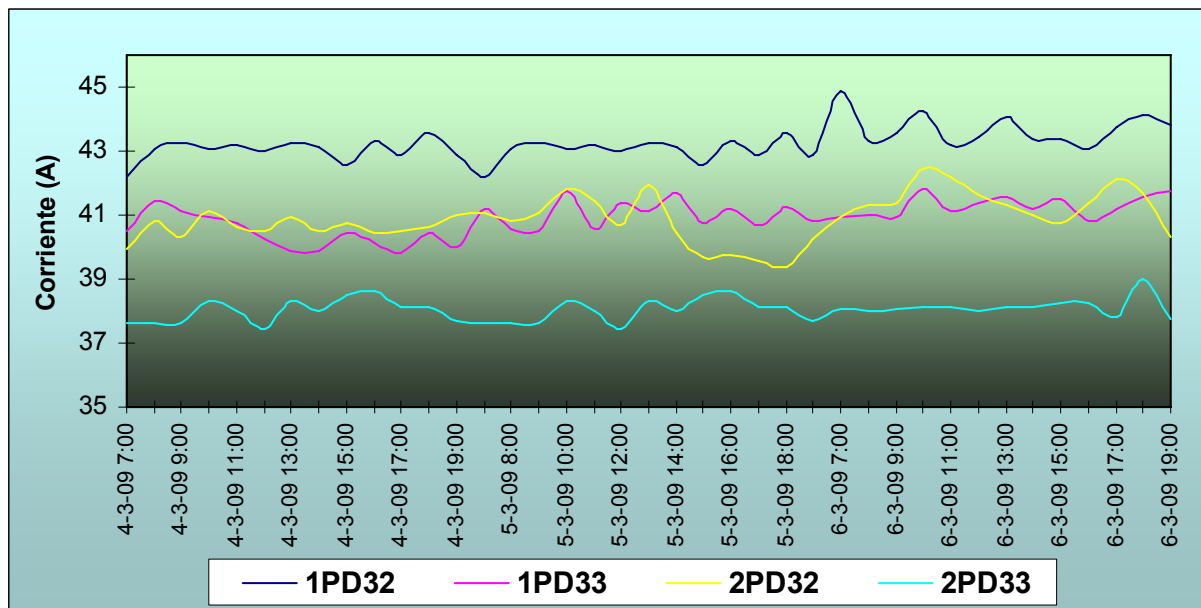


Figura 2.3 a): Comportamiento de la corriente en los motores durante el día.

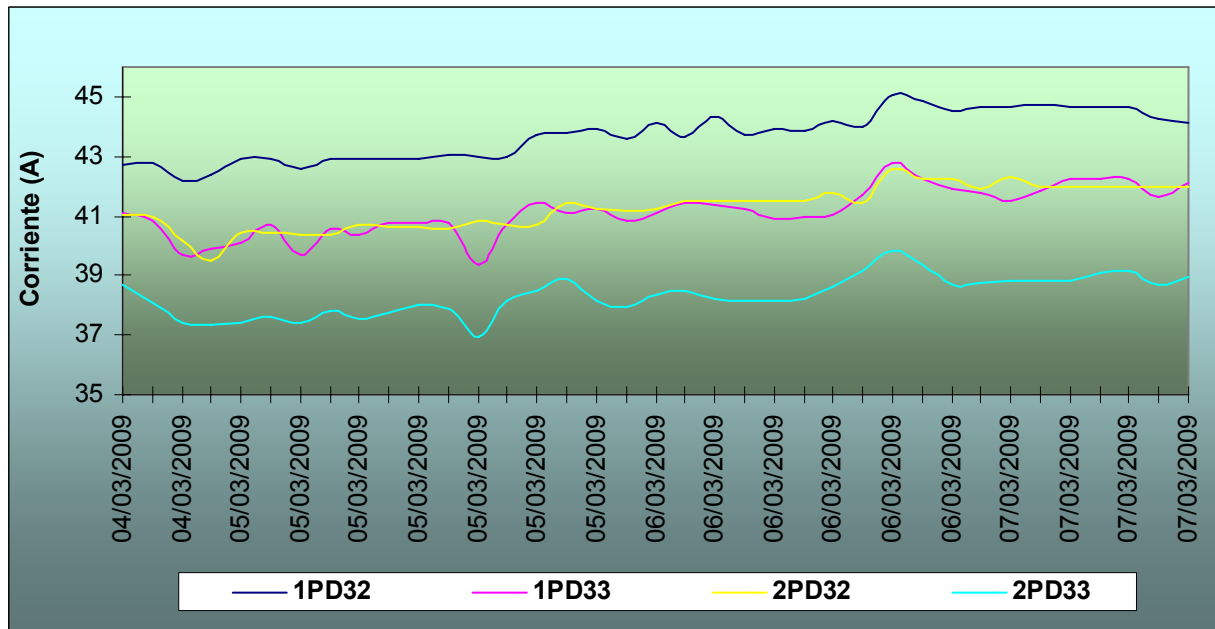


Figura 2.3 b): Comportamiento de la corriente en los motores durante la noche, tomadas de los registros del Active Factory Trend.

En general, aunque existen diferencias respectivas a cada máquina en el consumo, los valores se mantienen muy estables, entre los 37 A y 43 A , es por ello la necesidad de buscar variantes que logren el ahorro energético y perfeccionen el sistema de bombeo inicial en la CTE.

2.2.2. Análisis y cálculo de la potencia de entrada (P_i)

Independientemente de que se utilizaron dos métodos distintos para las mediciones, se muestra una gran coincidencia y aproximación en las mismas, esta similitud en variables como la corriente y la tensión, hacen que el comportamiento de la potencia en la entrada de cada motor sea muy similar a los resultados anteriores, debido a la dependencia lineal que existe entre ellas.

Para el cálculo de la potencia de entrada o demandada de la red [\[ver anexo 14, 15, 16 y 17\]](#) se tomaron los valores de tensión y corriente expuestos en las mediciones diurnas y nocturnas. A modo de comparación para horarios distintos y teniendo presente que la tensión y la corriente son de líneas, se utilizó la ecuación (1.8) para analizar los resultados:

Para horario diurno

Se calcula la suma de las potencias por fase para obtener la potencia trifásica

$$P_{id} = (0.5773 * U_{a-b} * I_a * \cos\theta) + (0.5773 * U_{b-c} * I_b * \cos\theta) + (0.5773 * U_{a-c} * I_c * \cos\theta) \quad (2.3)$$

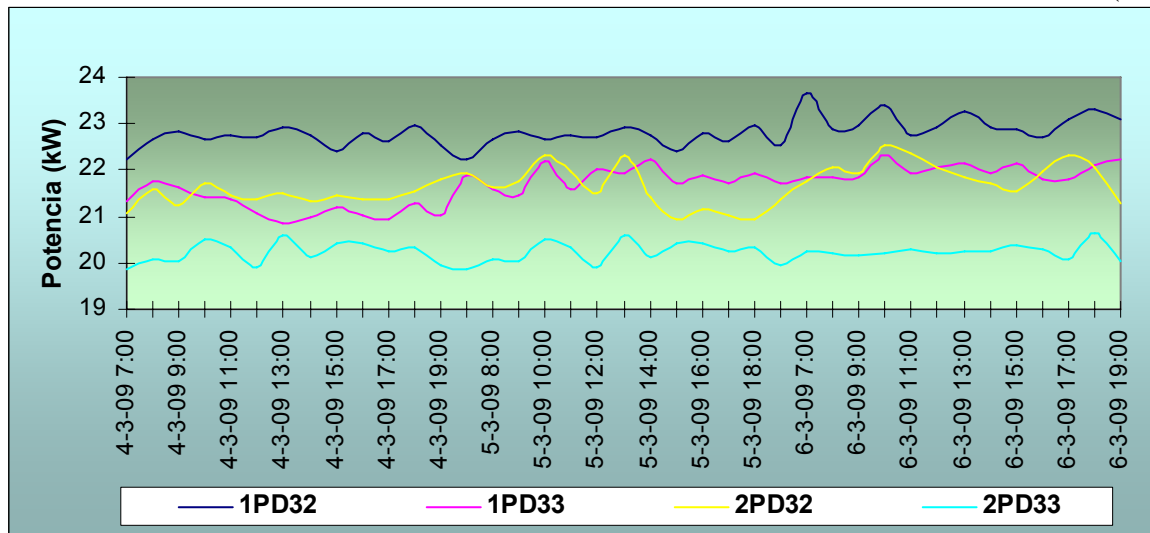


Figura 2.4 a): Comportamiento de la potencia en horario diurno.

Para horario nocturno:

Como el software consultado toma la tensión, como un valor constante e igual a 380V:

$$P_{in} = \sqrt{3} * U_{nom} * I_{MOTOR} * \cos \theta \quad (2.4)$$

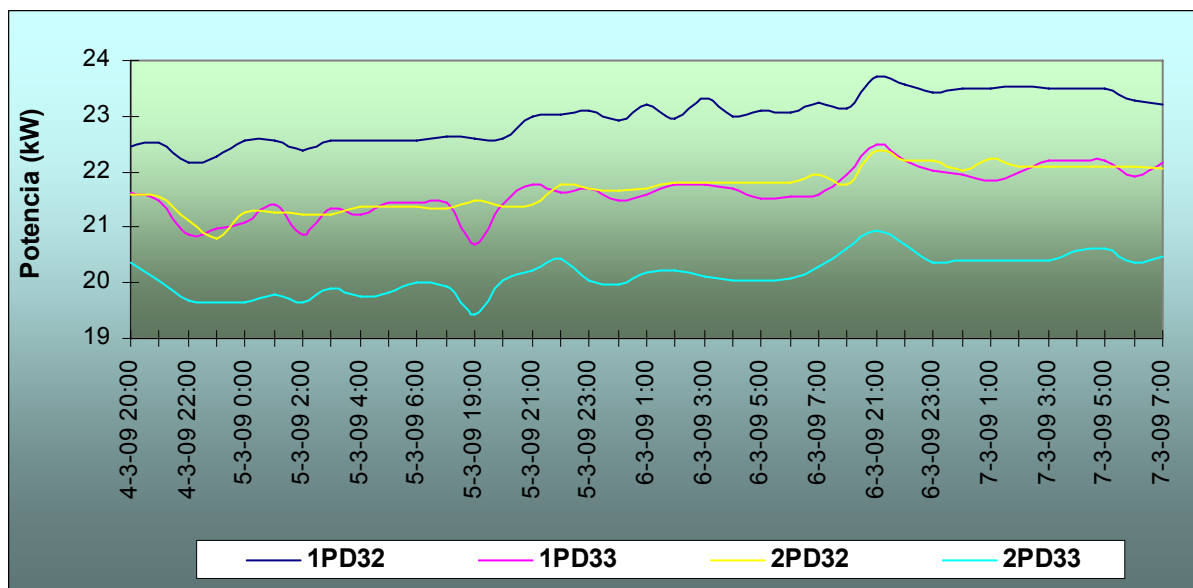


Figura 2.4 b): Comportamiento de la potencia en horario nocturno.

Analizando la Fig.2.4 a) y b), se concluye que la potencia de entrada cuando todas las máquinas están en función, es muy estable, con variaciones máximamente de 4 kW. No importa el horario en que se encuentre trabajando ni la carga generada por la unidad de generación correspondiente, estas máquinas siempre consumen una potencia poco variable en el tiempo lo que implica un alto consumo energético y el poco aprovechamiento del mismo.

2.2.3. Cálculo de la potencia de salida (P_2)

La potencia de salida [ver anexo 14, 15, 16 y 17] no es mas que la potencia que entrega el motor para lograr el accionamiento de la bomba. Desde la potencia de entrada hasta la salida de la misma existen perdidas que determinan la diferencia de estas potencias, el cálculo de estas ultimas se dificulta ya que es necesario tener las

resistencias en el devanado del estator y el rotor, esto implica que se utilicen métodos aproximados que determinen su resultado, en el caso analizado se utilizó el método de las corrientes, este método propone; que el estado de carga es proporcional a la relación de la corriente medida y la corriente nominal:

$$P_{SALIDA} = \frac{I_{MEDIDA}}{I_{NOMINAL}} \times P_{NOMINAL} \quad (2.5)$$

Cuando hay variación en la magnitud de la tensión aplicada en las condiciones de trabajo, se realiza la modificación siguiente:

$$P_{SALIDA} = \frac{I_{MEDIDA}}{I_{NOMINAL}} \times \frac{V_{MEDIDO}}{V_{NOMINAL}} \times P_{NOMINAL} \quad (2.6)$$

Esta ecuación es útil para determinar estados de carga entre el 50 % y plena carga.

Para horario diurno

Aunque existen pocas variaciones en la tensión, se tomaron en cuenta en vista de lograr un mejor resultado.

$$P_{2d} = \frac{I_{prom1}}{I_{NOMINAL}} \times \frac{V_{prom1}}{V_{NOMINAL}} \times P_{NOMINAL} \quad (2.7)$$

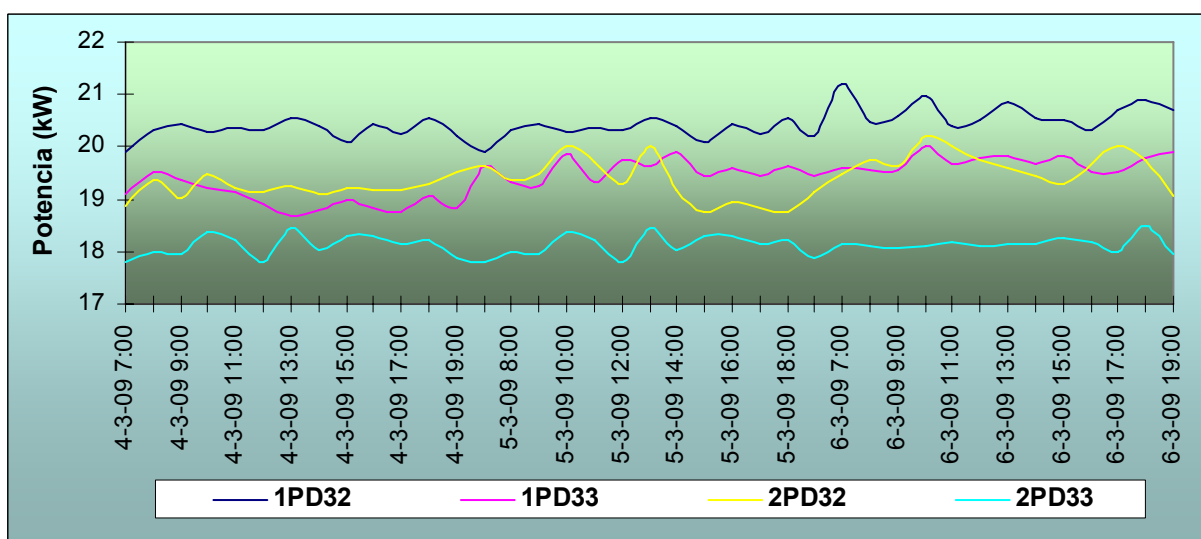


Figura 2.5 a): Comportamiento de la potencia de salida en horario diurno.

Para horario nocturno

En este caso se toma la tensión como un valor constante de 380 V

$$P_{2n} = \frac{I_{prom2}}{I_{NOMINAL}} \times P_{NOMINAL} \quad (2.8)$$

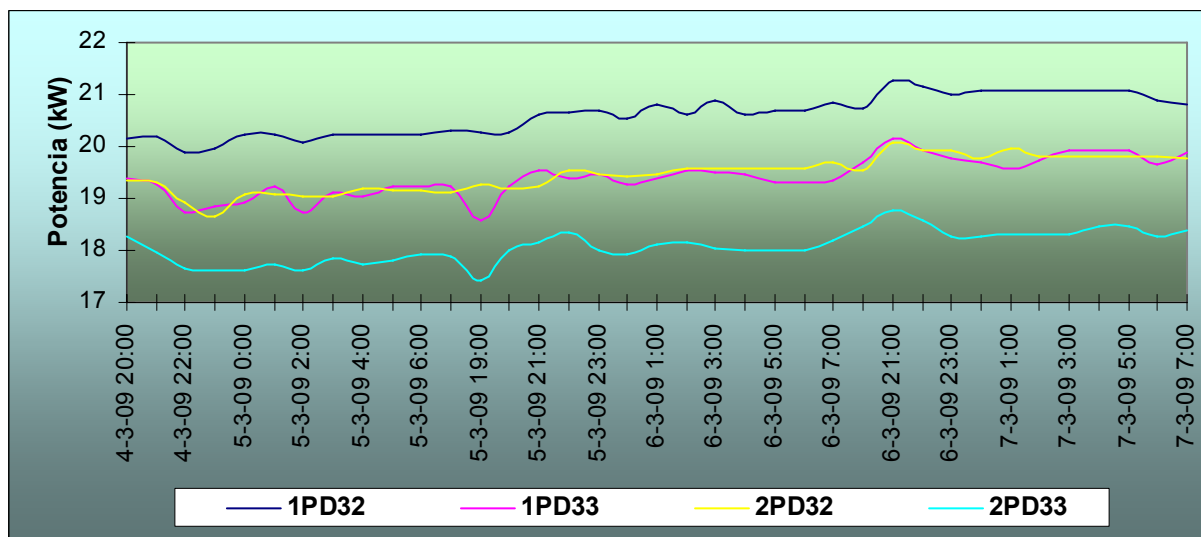


Figura 2.5 b): Comportamiento de la potencia de salida en horario nocturno.

De la presentación de las gráficas anteriores se determina con facilidad la similitud de los resultados obtenidos en ambos horarios, la estabilidad existente en esta variable implica que el consumo se mantenga de modo invariable (17-22 kW) aún cuando se necesite de menos potencia para accionar la bomba que trasiega el combustible.

2.2.4. Determinación de la Eficiencia (η).

La eficiencia de una máquina asincrónica está determinada por la relación entre las potencias de salida y de entrada, el cálculo de este importante aspecto de los motores en cuestión, nos da mayor seguridad de su funcionamiento. Utilizando la ecuación 1.13 se obtiene un rendimiento del 89.6 % aproximadamente, lo que resume que en relación con la eficiencia nominal esta disminuyó en un 3.5 %. Es importante destacar que en estos motores existen mayores pérdidas debido a que no están trabajando a su potencia nominal y esto trae consigo que se utilicen las

mismas corrientes de magnetización, aumentando las pérdidas en el acero y disminuyendo el rendimiento en los motores.

2.2.5. Comportamiento de la potencia reactiva y la aparente en los motores de inducción.

El resultado de la potencia aparente y reactiva [ver anexo 14, 15, 16 y 17] se determinan a través de las expresiones 1.6 y 1.7 respectivamente, La Figura 2.6 a) y b) muestra el comportamiento de este parámetro durante la operación de los motores.

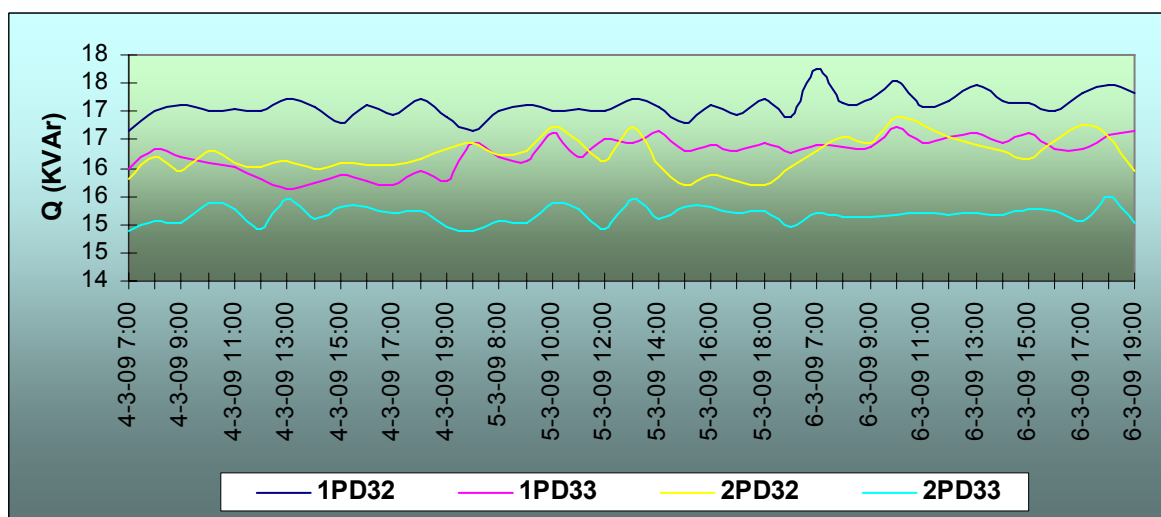


Figura 2.6 a): Comportamiento de la potencia reactiva en el horario diurno.

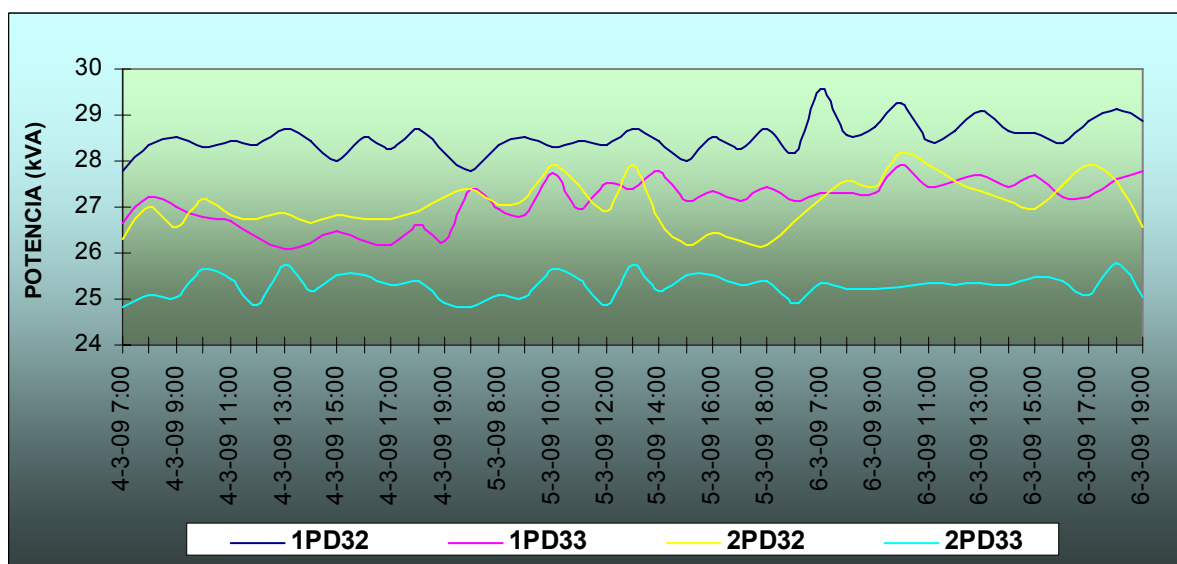


Figura 2.6 b): Comportamiento de la potencia aparente en el horario diurno.

Al concluir la representación, se puede decir que estas potencias (reactiva y aparente) tienen un buen comportamiento, que en el caso de la potencia reactiva; un comportamiento adecuado evita la inducción de armónicos que perjudican los devanados de las máquinas provocándoles numerosas pérdidas

2.2.6. Velocidad en el eje y Deslizamiento (s).

El tacómetro CHauvin Arnoux registró las velocidades alcanzadas por estas máquinas en operación, en el [anexo 13](#) se muestran los resultados a través de los cuales podemos inferir que los motores están trabajando por encima de lo establecido nominalmente (882 rpm) y con variaciones de 5 rpm por cada motor en diferentes circunstancias. (Figura 2.7)

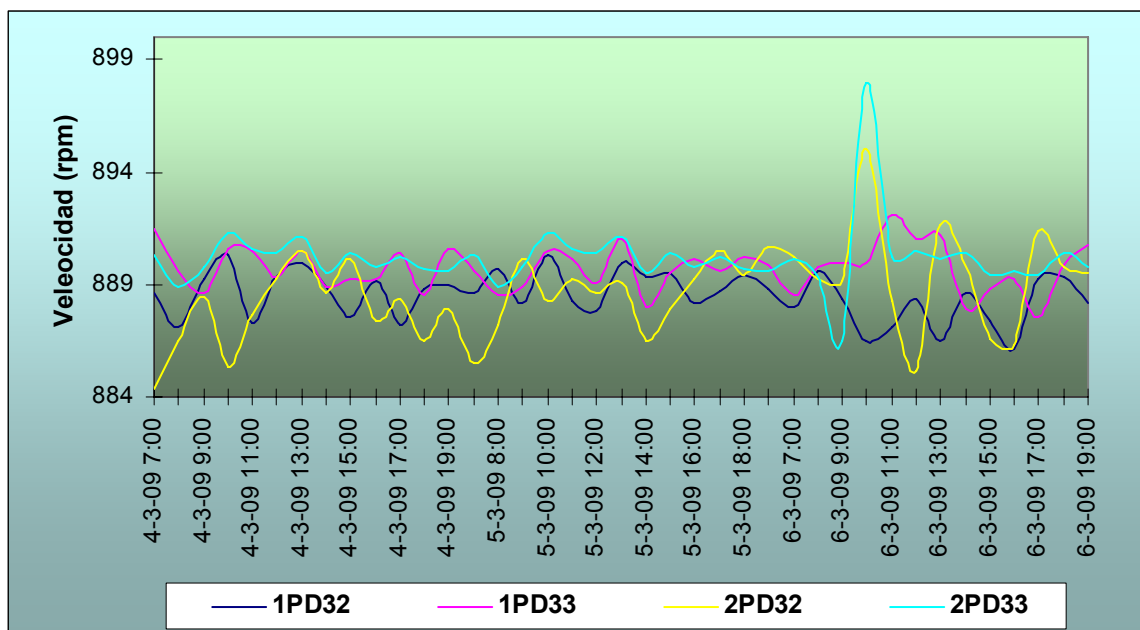


Figura.2.7: Comportamiento de la velocidad del rotor en los motores.

La rapidez en el rotor significa que la carga es menor que lo que requiere por chapa, esto se evidencia en los resultados de corriente y por consiguiente de potencia de entrada, es posible gracias a esto, cambiar la frecuencia de red para disminuir así el alto calentamiento que conllevan estas altas velocidades que afectan directamente

en los devanados del motor y contribuir así a un aprovechamiento mas racional y lógico.

Deslizamiento

En el análisis se determinó el deslizamiento [\[ver anexo 18\]](#) para todos los motores a partir de los datos de la velocidad del rotor y la sincrónica a través de la ecuación (1.4), de la cual se obtuvo un deslizamiento muy pequeño (0.01-0.015), esto esta dado por las altas velocidades en el eje de los motores.

2.2.7. Resultados generales del análisis del motor.

De forma general el estudio de los motores mostró una continuidad y estabilidad en las principales variables analizadas lo que permite variantes de ahorro que permitan el consumo necesario para el proceso. En la tabla 2.1 se resume el comportamiento general de las máquinas en cuestión para 24 horas de explotación.

Tabla 2.2: Resultados generales

TABLA PROMEDIO DURANTE 24 HORAS					
Parámetros	BLOQUE 1		BLOQUE 2		PROMEDIO GENERAL
	1PD32	1PD33	2PD32	2PD33	
RPM	888.526923	889.728205	889.1	889.689038	889.2610417
I (A)	40.951786	41.019615	40.617948	38.780306	40.3424136
U (V)	380.3309	381.21342	380.94308	381.56849	381.013972
Q (kVAR)	17.1386432	16.2405606	16.0698418	17.9581941	16.8518099
S (kVA)	28.5644054	27.067601	26.1152194	20.3917217	25.5347369
P1 (kW)	22.8515243	21.6540808	21.4264558	23.0778158	22.2524692
P2 (kW)	20.4843313	19.4108968	19.206803	18.3636372	19.3664171

Eff (%)	89.6900885	89.6900885	89.6900885	89.6900885	89.6900885
s (u)	0.01275171	0.011401	0.01211111	0.01146165	0.01193137

2.3. Análisis de la Bomba.

La bomba representa la carga del motor en cada sistema, realizar un estudio de la carga es fundamental en el análisis del bombeo de combustible. De la curva característica de este tipo de bomba (engranajes) obtenida del fabricante ([anexo 21](#)), se aproximaron los datos de la bomba tipo 125-ZOT-1000-6-10-00-FE de Zigma Lutin (Tabla 2.4).

Tabla 2.3: Datos nominales de la Bomba.

$P(KW)$	$Q(L/s)$	$p(MPa)$	$\eta(\%)$	$n_1(rpm)$
17.5	14.5	0.6	57	875

Tabla 2.4: Datos obtenidos de la curva característica de la bomba.

Pd (MPa)	η (%)	P (kW)	Q (l/s)
0,1	14,5	8,0	14,6
0,2	31,3	9,5	14,58
0,3	40,5	11,5	14,56
0,4	48	13,0	14,54
0,45	50,25	14,0	14,53

0,5	52,5	15,0	14,52
0,6	57	17,5	14,5

Mediante la tabla anterior se graficó las características fundamentales de este tipo de bomba que a continuación se representa:

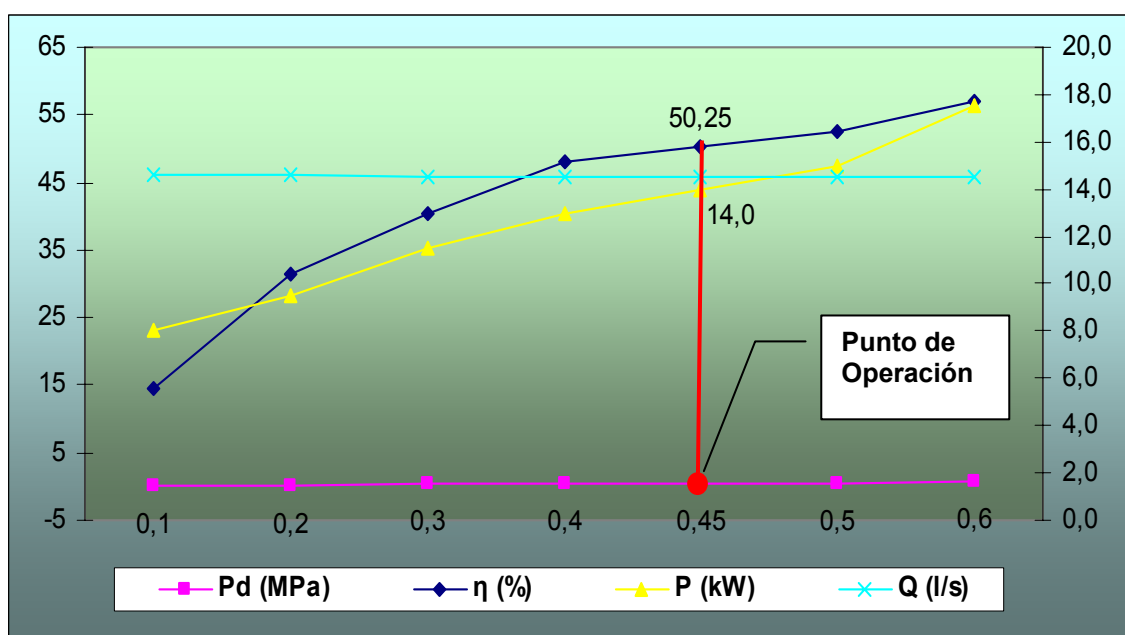


Figura 2.7: Parámetros fundamentales de la bomba de engranajes 125-ZOT-1000-6-10-00-FE.

Analizando la Figura 2.7 se demuestra que estas bombas mantienen un caudal constante para diferentes valores de potencia, rendimiento etc. Además que para condiciones de trabajo de 0.45 MPa (presión actual del sistema de bombeo primer impulso de la CTE de Felton) solo necesitan 14 kW de potencia para lograr un flujo máximo, lo que deja un margen entre lo que entrega el motor actualmente (21.5 kW aproximadamente como promedio en 24 horas) que puede ser minimizado utilizando variadores de velocidad por frecuencia. Estas variables (presión y potencia) se

pueden relacionar debido a que poseen una alta correlación entre ellas, esto se puede afirmar mediante la siguiente figura:

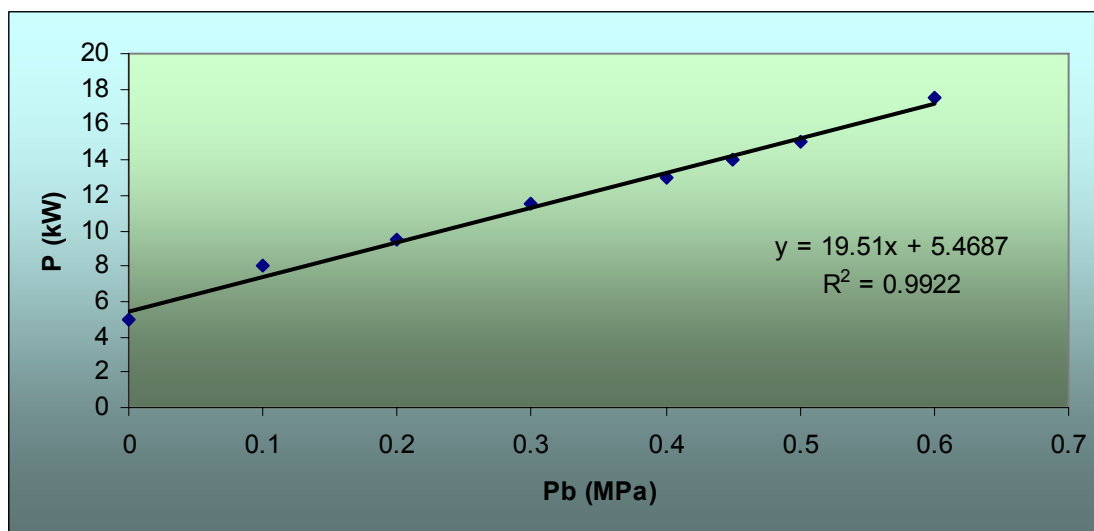


Figura 2.8: Relación entre la potencia de la bomba y la presión.

El gráfico de dispersión y correlación muestra la relación entre dos parámetros. Su objetivo es mostrar en un gráfico x, y si existe correlación entre dos elementos y en caso de que exista qué comportamiento tienen estos.

Se muestran las ecuaciones obtenidas y sus valores de correlación a través de el coeficiente de determinación R^2 donde se observan en ellos que los grados de correlación es excelentes pues tienen una R^2 muy cercanas a la unidad. Este tipo de gráfico muestra el valor de la energía no asociada a la producción entre las cuales podemos mencionar:

- Consumo durante el proceso de arranque de las unidades.

Esta ultima características de estos gráficos se muestra a continuación comparando el rendimiento como varía en dependencia de la presión que se este trabajando (Figura 2.9), en nuestro caso (0.45 MPa) el rendimiento de estas bombas es de un 50.25 %, y se encuentra una energía no asociada de 0.2643.

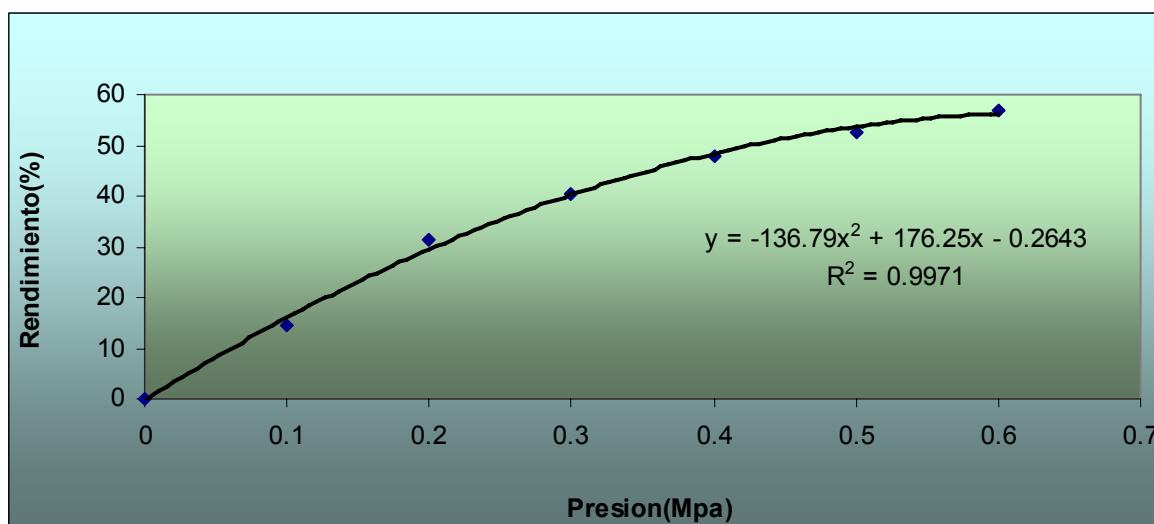


Figura 2.9: Relación entre el rendimiento y la presión.

A modo de resumen se puede inferir que estas bombas descargan constantemente el mismo caudal, el cual solo puede variarse, (según la ecuación (1.17)) mediante el cambio de velocidad. Aún cuando lo necesario nominalmente para mover un flujo máximo (14.5 L/s) de estas bombas es 875 rev/min, los motores están empleando una velocidad muy superior, a veces hasta 20 rpm más de lo necesario para impulsar un flujo máximo, es por ello la necesidad de disminuir velocidad consecuentemente en dependencia de lo requerido en el proceso.

2.4. Correlaciones de las variables del accionamiento y las variables del proceso.

Teniendo presente las variables anteriormente analizadas, es de suma importancia relacionar el consumo de energía en el accionamiento de las bombas con la necesidad de producción, aspectos tales como flujo en la caldera, carga del bloque, posición de la válvula reguladora en la salida del conjunto de bombeo ([anexo 19 y 20](#)), son esenciales a la hora de lograr un control para el proceso y el ahorro energético, en este epígrafe haremos una correlación sin variadores de velocidad y con una posible colocación del mismo para demostrar la posibilidad de ajustar las

características de velocidad al flujo necesario en la caldera correspondiente a la potencia generada por cada unidad.

2.4.1. Dependencia del flujo en la caldera y la carga del generador.

La posición de la válvula de regulación garantiza que el flujo que no se utiliza en la combustión se desvíe hacia el tanque o vuelva a recircular, el combustible que se se quema guarda relación directa con lo que es generado por la planta (Figura 2.10 a) y b)), es importante aclarar que las pérdidas de petróleo en tuberías influyen en las dispersión de estas relaciones,

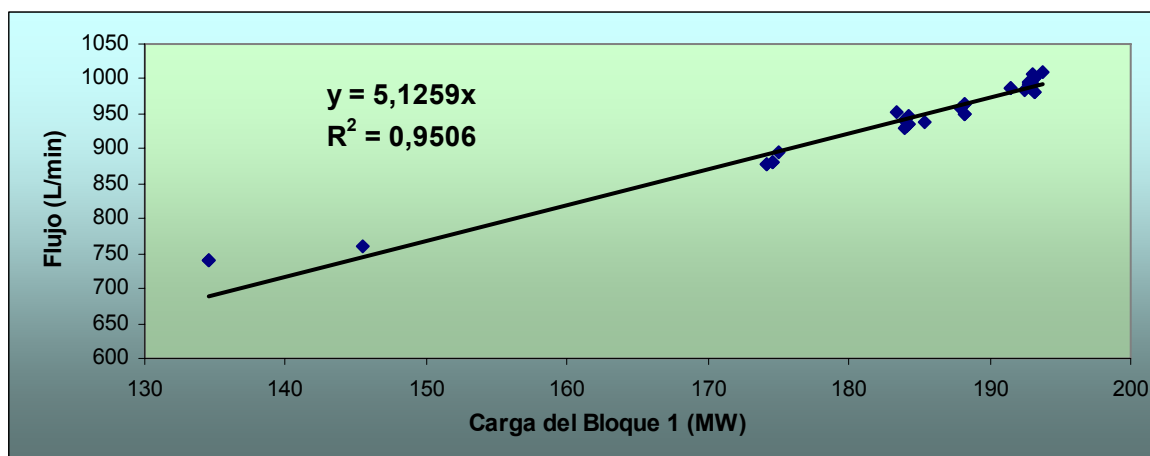


Figura 2.10 a): Relación entre flujo y carga en el Generador 1.

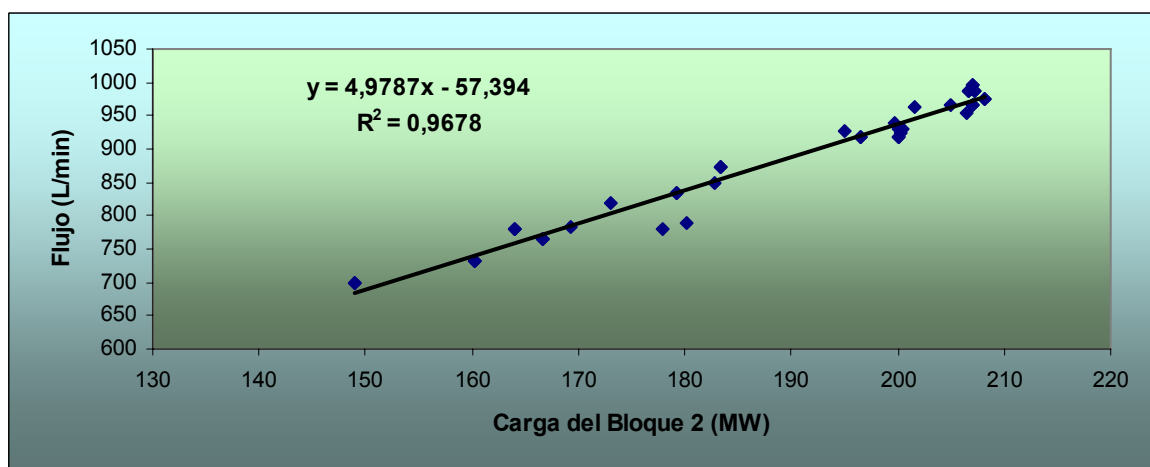


Figura 2.10 b): Relación entre flujo y carga en el Generador 2.

La gran correlación reflejada en las gráficas anteriores demuestra que el flujo es dependiente de la carga en el bloque, lo que significa, que si se logra ajustar el caudal a la velocidad, como es posible, entonces sería el necesario en la producción de energía eléctrica, es por eso la importancia de relacionar las variables inherentes al bombeo para comprobar la factibilidad de la variación del flujo.

2.4.2. Correlación entre la velocidad (n_2) y el flujo de petróleo (Q_B).

Es significativo ver la velocidad como el sujeto de análisis, debido a que su regulación; mediante variadores por modulación del ancho de pulso (PWM), es el método más eficaz para disminuir el consumo y las pérdidas hidráulicas en accionamientos de bombas con MA.

Del Active Factory Trend, se obtienen números exactos del combustible quemado en la caldera, de ahí que se pueda relacionar este último con la velocidad rotacional.

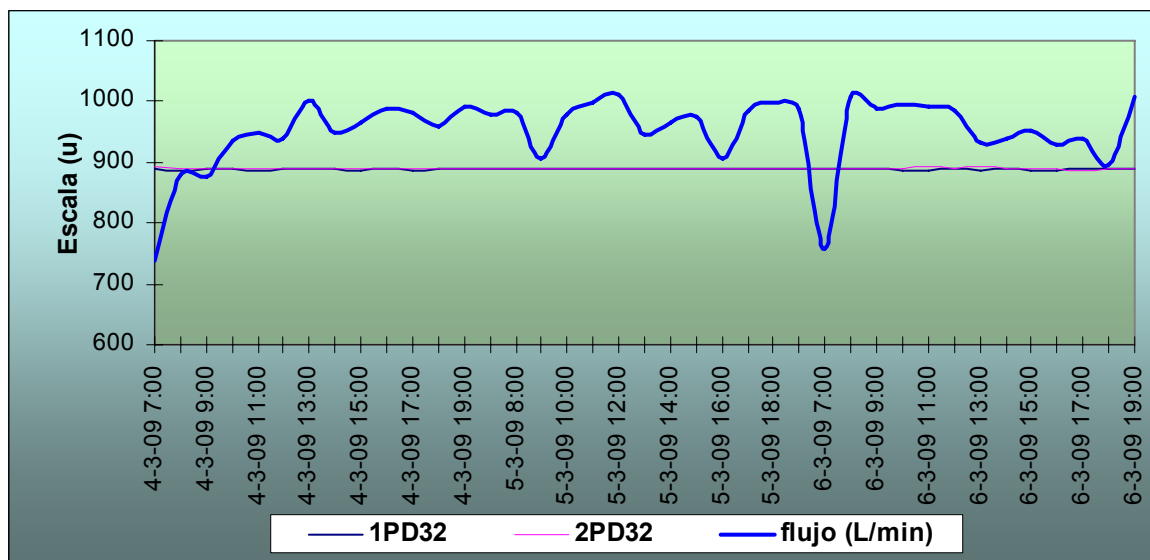


Figura 2.11 a): Relación de velocidad y flujo sin VDF en el Bloque 1.

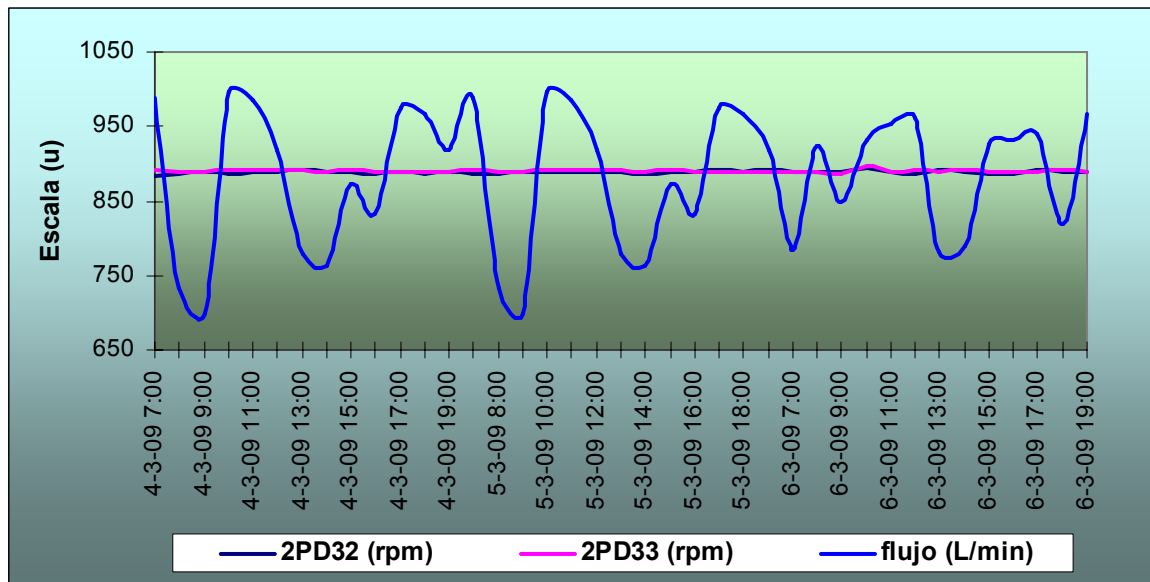


Figura 2.11 b): Relación de velocidad y flujo sin VDF en el Bloque 2.

Al analizar con detenimiento las graficas anteriores, es notorio observar como en magnitud, la velocidad; es invariable en el tiempo e independiente del flujo necesario en la producción de energía eléctrica, esto trae aparejado el innecesario consumo eléctrico que puede ser evitado haciendo uso de variadores de velocidad que justifiquen el desarrollo del proceso, sin perjudicar la impulsión de petróleo hacia la combustión.

2.4.3. *Procedimiento matemático para el análisis del comportamiento de las variables presentes en el accionamiento al cambiar la frecuencia de red.*

La proposición irrevocable de utilizar caudal variable en el transporte de combustible en la Central Termoeléctrica, es una vía de ahorro y eficiencia en el accionamiento de bombas de engranajes con motores de inducción. Los parámetros de tensión y frecuencia, varían proporcionalmente, la velocidad del campo por su parte, depende de la señal de frecuencia que ofrece el dispositivo electrónico y se determina a partir de la expresión (1.5) , para cuatro pares de polos quedaría:

$$n'_1 = 15 * f'_1 \quad (2.9)$$

Donde:

n'_1 ► nueva velocidad para nueva frecuencia (f'_1)

aplicándose 1.4 se obtiene que:

$$n'_2 = (1 - s) * n'_1 \quad (2.10)$$

n'_2 ► velocidad de rotacion para n'_1

para **s = const = 0.01193** como promedio (Tabla 2.2)

$$n'_2 = 0.988 * n'_1 \quad (2.11)$$

La **tensión** es modulada de la manera siguiente:

$$\frac{U'_1}{U_1} = \frac{f'_1}{f_1} \quad \text{Momento} = \text{const} \quad (2.12)$$

$$U'_1 = \frac{U_1 * f'_1}{f_1} \quad (2.13)$$

U'_1 ► tensión modulada con la frecuencia f'_1

U_1 ► tensión nominal

f_1 ► frecuencia de la red

La potencia consumida por el motor (P'_1), se obtiene a partir de la ecuación (1.8) y para una corriente promedio de 40.3424 A (Tabla 2.2) por cada máquina.

$$P'_1 = 40.3424 * 1.73 * 0.8 * U'_1 \quad (2.14)$$

$$P'_1 = 55.8338 * U'_1 \quad (2.15)$$

La potencia en el eje (P'_2), por su parte, se obtiene por el mismo método obtenido sin el variador (expresión 2.5) :

$$P'_2 = \frac{40.3424}{53} * \frac{U'_1}{380} * 25 \quad (2.16)$$

$$P'_2 = 0.0507 * U'_1 \quad (2.17)$$

El Rendimiento

Se determina a través de la expresión (1.13) y sería:

$$\eta = \frac{P'_2}{P'_1} * 100 \%$$

Flujo de combustible

La ecuación que relaciona al **flujo** con la **velocidad** es la (1.17), donde f, l, z y η_0 permanecen constantes, la **velocidad** (n_2) varía directamente con el **flujo de la bomba**, es decir, que para datos nominales:

$$Q_B = 2 * K * n_2, \quad (2.18)$$

$$\text{donde } K = f * l * z * \eta_0 = \text{const.} \quad (2.19)$$

$$K = \frac{Q_B}{2 * n_2} = 0.4971 \quad (2.20)$$

Entonces para distintas velocidades implantadas por el variador por frecuencia tenemos que:

$$Q'_B = 2 * K * n'_2 \quad (2.21)$$

Q'_B ► nuevo flujo de la bomba a partir de la nueva velocidad n'_2 .

Para una mejor comprensión y a modo de comprobación, las ecuaciones antes planteadas demuestran su validez a través de los gráficos de correlación entre el flujo y la velocidad (Figura 2.7) obtenida para diferentes valores de frecuencia y en la relación de esta última con la tensión (Figura 2.7), en el [anexo 22](#) se muestra una tabla con cada resultado correspondiente.

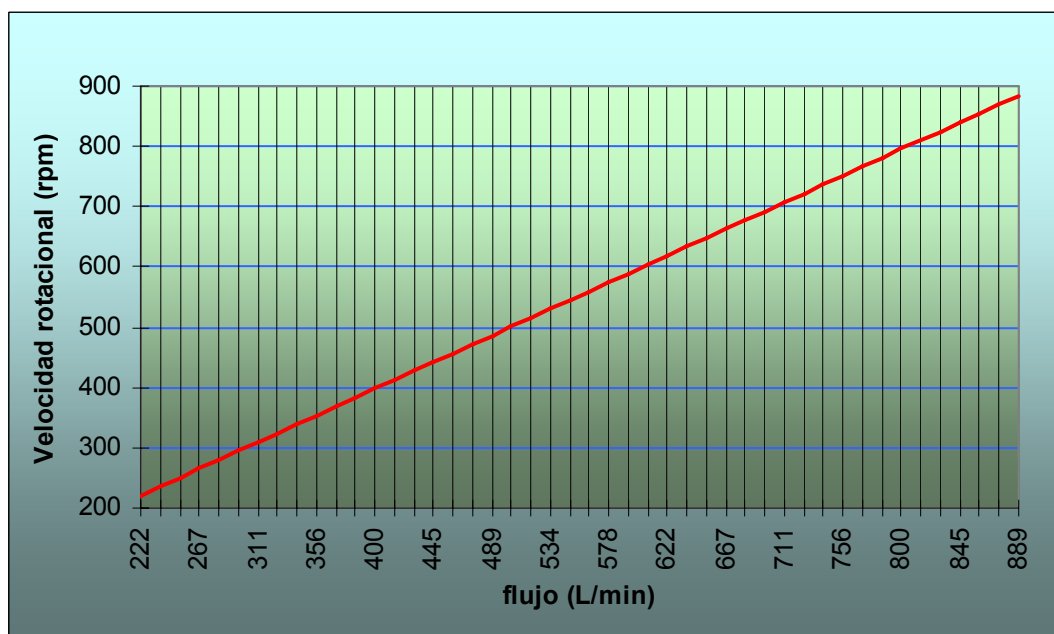


Figura 2.7: Correlación entre el flujo y la velocidad con variación en la frecuencia de entrada.

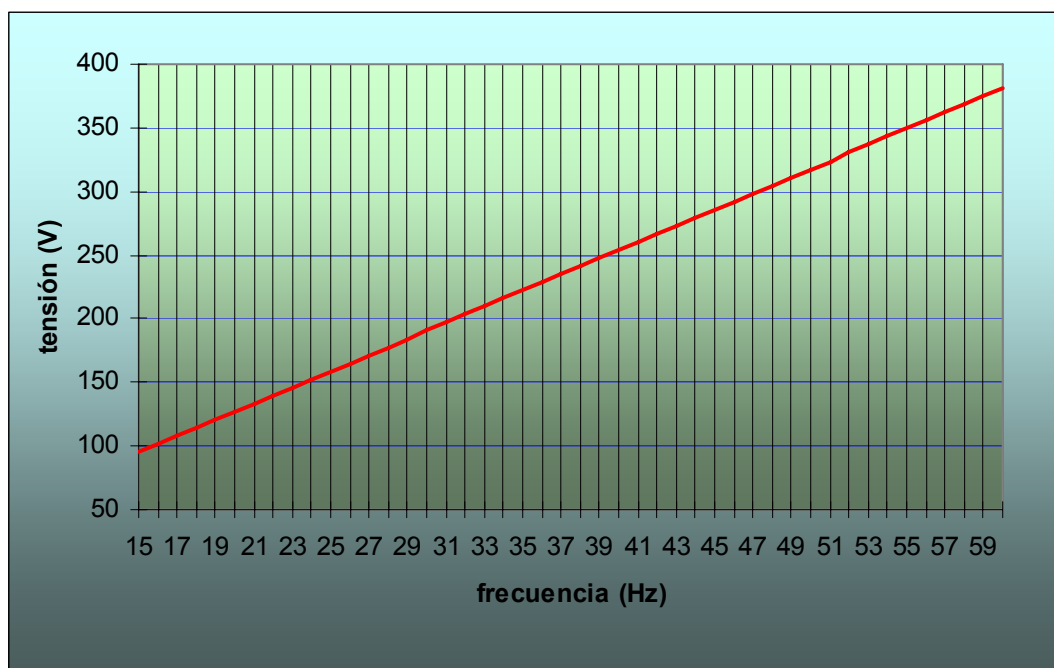


Figura 2.8: Correspondencia entre la frecuencia y la tensión al aplicarse un VDF.

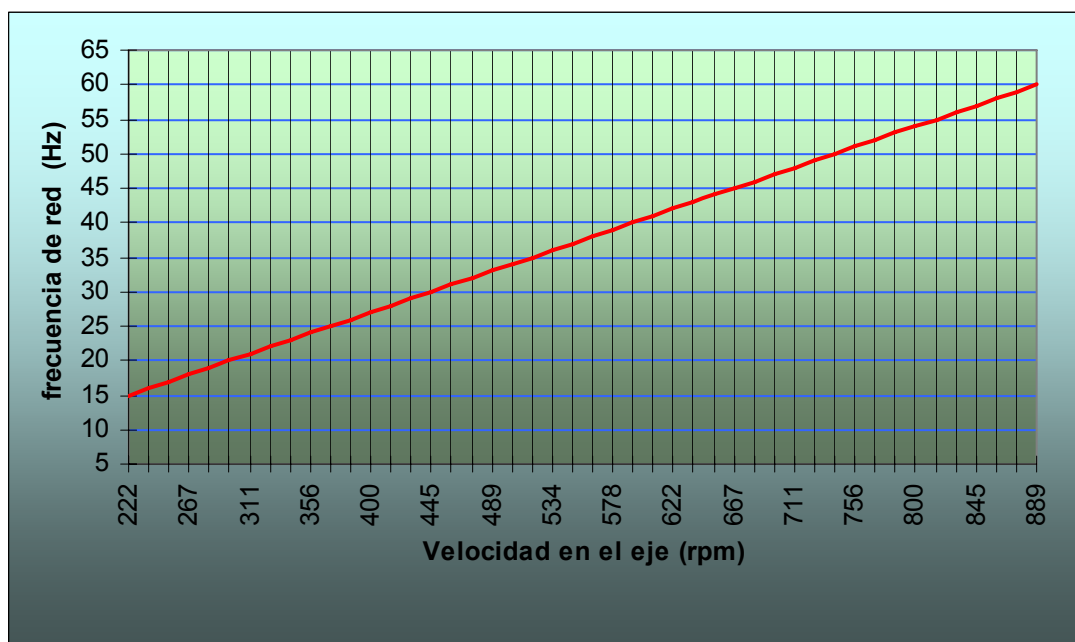


Figura 2.9: Correspondencia entre la velocidad y la frecuencia.

El resultado de este análisis indica que disminuyendo la frecuencia de la red, se logra variar la velocidad y el flujo en este tipo de bombas (engranajes) es decir, que se puede modificar el caudal en correspondencia con lo que se utilice en la la generación de electricidad. La modulación (frecuencia – tensión) se logra adecuadamente evitando el aumento del flujo (ϕ_m) en los motores.

2.5. Conclusiones Parciales.

Al realizarse el diagnostico funcional de las principales-variables que actúan en el accionamiento se detectó que:

- La tensión se analizó en cuanto a su variación y desbalance y en ambos casos cumplió con lo establecido por norma; ser menores de 5% en el caso de la variación y menores de 1 % en caso de desbalance lo que infiere un excelente resultado en cuanto a este aspecto.



- La corriente esta trabajando de manera invariable para diferentes valores de carga en el generador eléctrico, lo que determina el valor constante de las potencias (P,Q,S), además se supo con claridad que estas máquinas no trabajan a plena carga lo que hace que tenga mayores pérdidas y un nivel mas bajo del rendimiento.
- La velocidad de estos motores es mayor que la que indica la chapa, provocando un bajo deslizamiento de 0.01193 como promedio por máquina y una disminución de un 3.5 % de la eficiencia nominal de los motores.
- No existe interrelación entre la velocidad y el flujo necesario en la caldera por lo cual es necesario implementar un variador de velocidad que regule el flujo de estas bombas a la presión de 0.45 MPa y a una potencia del motor máxima de 14 kW que es lo que se requiere dada la curva característica de la bomba, es por eso que se buscó un procedimiento que vincula cada aspecto o variable presente en el accionamiento y se demostró la funcionalidad y veracidad de la instalación de velocidad variable.



CAPÍTULO III: PROPUESTA DE MODULADORES COMO MODO DE SOLUCIÓN PARA MEJORAR EFICIENCIA Y CONSUMO EN LOS MOTORES DE INDUCCIÓN.

A partir de los resultados del análisis del sistema de bombeo, relacionados en el capítulo anterior, se propone la instalación de un variador de velocidad en el esquema de impulsión del combustible de la CTE. Para lograr este objetivo se tuvo en cuenta las características del accionamiento bajo las condiciones de operación en paralelo de las bombas. Se explican los rasgos y funciones principales del dispositivo empleado (VDF). Finalmente se realiza una valoración económica correspondiente a la propuesta, tomando como referencia el ahorro que permite el flujo variable en el primer impulso del combustible.

3.1. Factores a tener en cuenta a la hora de diseñar un sistema de regulación de velocidad.

Para diseñar un sistema con regulación de la velocidad es necesario primero tener en cuenta una serie de requisitos, analizar e interpretar cada uno de ellos, relacionándolo con las características del accionamiento que se va a modificar, estos son:

- a) Límites o gama de regulación.
- b) Aumento o disminución con respecto a la velocidad nominal.
- c) Rentabilidad económica.
- d) Estabilidad de funcionamiento a una velocidad dada.
- e) Carga admisible a las diferentes velocidades.
- f) Tipo de carga (par constante, potencia constante, etcétera).
- g) Condiciones de flexibilidad de regulación.
- h) Condiciones ambientales (temperatura, humedad, etc.)

- i) Tipo de motor (potencia, corriente, voltaje, etc.).
- j) Rangos de funcionamiento (veloc. máx., mín)
- k) Aplicación momo o multimotor.
- l) Consideraciones de la red (microinterrupciones, fluctuaciones de tensión, armónicas, factor de potencia, corriente de línea disponible).

- **Carga a Momento constante.**

Se denomina funcionamiento a par constante cuando las características de la carga son tales, que, en régimen permanente, el par solicitado es sensiblemente constante sea cual sea la velocidad. Este modo de funcionamiento se utiliza en las cintas transportadoras y en las amasadoras. Para este tipo de aplicaciones, el variador debe tener la capacidad de proporcionar un par de arranque importante (1,5 veces o más el par nominal) para vencer los rozamientos estáticos y para acelerar la máquina (inercia).

Para $M = \text{const.}$, tenemos:
$$\frac{U_1'}{U_1} = \frac{f_1'}{f_1}, \quad (3.1)$$

es decir, la tensión aplicada al motor debe variar proporcionalmente a la frecuencia.

- **Carga a Momento variable.**

Se denomina funcionamiento a par variable cuando las características de la carga son tales que en régimen permanente, el par solicitado varía con la velocidad. Es en concreto el caso de las bombas volumétricas con tornillo de Arquímedes cuyo par crece linealmente con la velocidad o las máquinas centrífugas (bombas y ventiladores) cuyo par varía con el cuadrado de la velocidad.

Para un variador destinado a este tipo de aplicaciones, es suficiente un par de arranque mucho menor (en general 1,2 veces el par nominal del motor). Muy frecuentemente dispone de funciones complementarias como la posibilidad de omitir las frecuencias de resonancia correspondientes a las vibraciones indeseables de la

máquina. Es imposible funcionar más allá de la frecuencia nominal de la máquina porque sería una carga insoportable para el motor y el variador.

Si $M \sim f_1^2$, entonces

$$\frac{U'_1}{U_1} = \left(\frac{f'_1}{f_1} \right)^2, \quad (3.2)$$

es decir, la tensión aplicada al motor debe variar proporcionalmente al cuadrado de la frecuencia.

En la práctica hay que apartarse algo de estas deducciones. en primer lugar, porque el acero de la máquina siempre está en cierto grado saturado y en segundo lugar, porque las condiciones de refrigeración de la máquina varían con la variación de la velocidad.

- **Carga a Potencia constante.**

Es un caso particular del par variable. Se denomina funcionamiento a potencia constante cuando el motor proporciona un par inversamente proporcional a la velocidad angular. Es el caso, por ejemplo, de una enrolladora cuya velocidad angular debe disminuir poco a poco a medida que aumenta el diámetro de la bobina por acumulación de material. Es también el caso de los motores de huso de las máquinas herramienta.

El margen de funcionamiento a potencia constante es por definición limitado: a baja velocidad, por la corriente proporcionada por el variador, y a gran velocidad, por el par disponible del motor. En consecuencia, el par motor disponible con los motores asíncronos y la capacidad de conmutación de las máquinas de corriente continua deben ser comprobados. Cuando la potencia es constante, el momento del motor varía inversamente proporcional a la velocidad y, por lo tanto, también a la frecuencia, esto matemáticamente sería así,

$$\frac{M'}{M} = \frac{f_1}{f'_1}, \quad (3.3)$$

de donde
$$\frac{U'_1}{U_1} = \sqrt{\frac{f'_1}{f_1}} \quad (3.4)$$

3.2. Instalación y descripción del accionamiento del variador de velocidad en el sistema de bombeo de combustible de primer impulso.

Para la instalación del VDF en el sistema de bombeo de combustible primer impulso de la CTE se tuvo en cuenta las características de la conexión en paralelo de estas bombas, gracias a ello con un solo dispositivo electrónico se regula la velocidad en dos motores al mismo tiempo. En la Figura 3.1 se muestra la instalación para una sola unidad de generación, la otra unidad se conectaría el variador de velocidad de la misma forma y con iguales configuraciones. En este caso se elimina por completo la válvula reguladora de presión y con ella la tubería de recirculación presentada en la Figura 2.1.

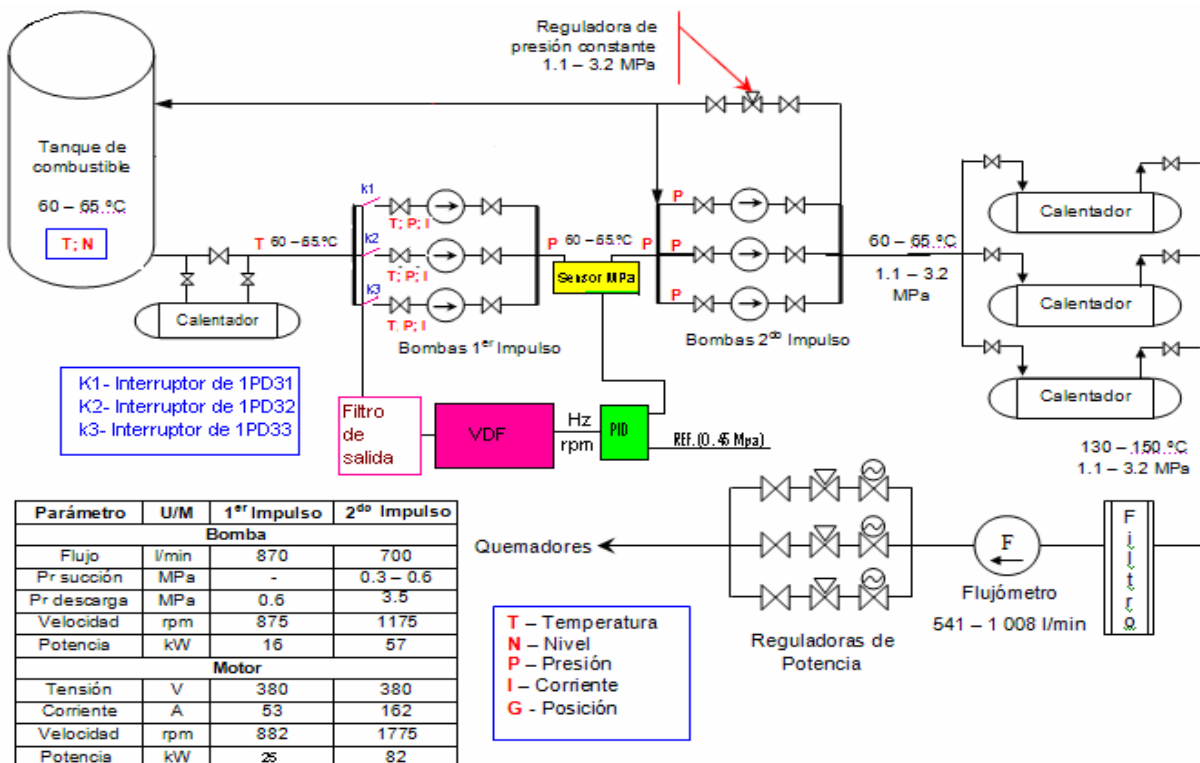


Figura 3.1: Esquema de instalación del variador de velocidad en el sistema de combustible del Bloque 1.

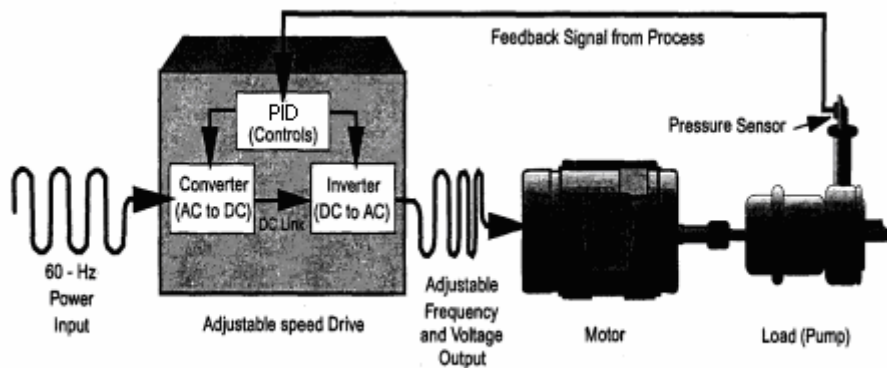


Figura 3.2: Esquema simplificado de instalación del variador.

- **Descripción del accionamiento eléctrico.**

Para describir la acción del variador de velocidad dentro de la regulación del caudal es necesario conocer primeramente que se conectó en paralelo con los motores con un sistema de suitcheo a la salida del variador, permitiéndole un trabajo en paralelo de dos motores y uno tercero siempre permanezca de reserva, cuando este último se reincorpora al bombeo se desconecta uno de los dos en operación, todo este proceso sucede automáticamente.

Los motores de inducción son alimentados por un inversor sinusoidal de tensión por modulación a PWM. La carga mecánica del accionamiento eléctrico es a torque constante y lo constituye la operación de una bomba de engranajes que se caracteriza por un flujo Q para cada velocidad n , el variador debe tener incorporado un regulador PID, que realiza un lazo de control por presión teniendo a esta última como la variable controlada y a la velocidad rotacional como la manipulada. Este tipo de regulador toma como señal de referencia 0.45 MPa y lo compara con la presión a la salida del sistema, enviando al VDF una señal de consigna (Hz ó rpm) que regula la velocidad en los motores para mantener presión constante. En la salida del regulador se encuentra un filtro para regular los armónicos inducidos por el sistema de modulación.

3.3. Selección del variador de velocidad.

El VDF ha llegado a ser uno de los métodos de control de motores que más han avanzado tecnológicamente en los últimos años, disminuyendo costos, tamaños y mejorando la simplicidad de operación, ha llegado a normalizarse tanto que casi todas las marcas ofrecen las mismas características de operación.

Las ventajas adicionales que ofrecen algunos fabricantes son mínimas con respecto a otras pero deben ser consideradas al momento de hacer la elección, aspectos como el idioma de programación y lectura, facilidad de programación, datos que aporta el equipo (amperaje, % de par, potencia, voltajes, status, pantallas remotas, reactores de choque para disminuir armónicos, desconectores internos, fusibles de acción rápida integrados, control PID, etc.), hacen la diferencia entre la diversidad de estos dispositivos.

Teniendo en cuenta los análisis realizados en el sistema de bombeo de petróleo y de acuerdo a las características de los motores de inducción, se seleccionó un variador de velocidad Altivar 71 de Telemecanique, modelo ATV71HD55N4.

Tabla 3.1: Datos nominales del variador.

Motor		Red				Altivar 71				Referencia	Peso
Potencia indicada en la placa (1)		Corriente de línea (2)		Potencia aparente	Icc línea presumible máx.	Corriente máxima permanente (1)	Corriente transitoria máx. durante				
		380 V	480 V	380 V			60 s	2 s			
kW	HP	A	A	kVA	kA	A	A	A			kg
Tensión de alimentación trifásica: 380...480 V 50/60 Hz											
55	75	120	101	79	22	116	174	191	ATV 71HD55N4 (3)		44,000



- **Beneficios que reporta el VDF:**
- Un enorme potencial para el ahorro de energía disminuyendo la velocidad del motor en muchas aplicaciones
- Mejora el proceso de control y por lo tanto la calidad de la producción.
- Se puede programar un arranque suave, parada y freno (funciones de arrancador progresivo).
- Amplio rango de velocidad, par y potencia. (velocidades continuas y discretas).
- Permiten el uso de lazos cerrados de velocidad.
- Pueden controlar varios motores.
- Factor de potencia unitario.
- Respuesta dinámica comparable con los sistemas de CD.
- Capacidad de by-pass ante fallos del variador.
- Protección integrada del motor.
- Marcha paso a paso (comando JOG).
- Se parte del conocimiento de las características de carga hidráulica contra caudal tanto de la bomba como del sistema hidráulico y de la eficiencia contra caudal de la bomba.
- Es necesario aplicar métodos de selección y operación de las bombas que garanticen que ellas operen la mayor parte del tiempo en los puntos de mayores eficiencias (deben ser concebidos y aplicados por los especialistas hidráulicos en trabajo común con los eléctricos).

3.3.1. Funciones que permite el variador.

El variador ALTIVAR 71 posee funciones específicas que fueron tomadas en cuenta para su selección en el sistema de bombeo estudiado, entre las múltiples opciones se encuentran:

- **Conmutación a la salida del variador**

La conmutación puede realizarse con el variador enclavado o sin enclavar. Si la conmutación se hace al vuelo (variador desenclavado), el motor se acelera hasta la velocidad de consigna sin sacudidas y siguiendo la rampa de aceleración. Para esta utilización es necesario configurar la recuperación automática (“recuperación al vuelo”) y configurar la función de pérdida de fase del motor por corte aguas abajo

Aplicaciones típicas: corte de seguridad en salida del variador, función “By-pass”, conmutación de motores en paralelo.

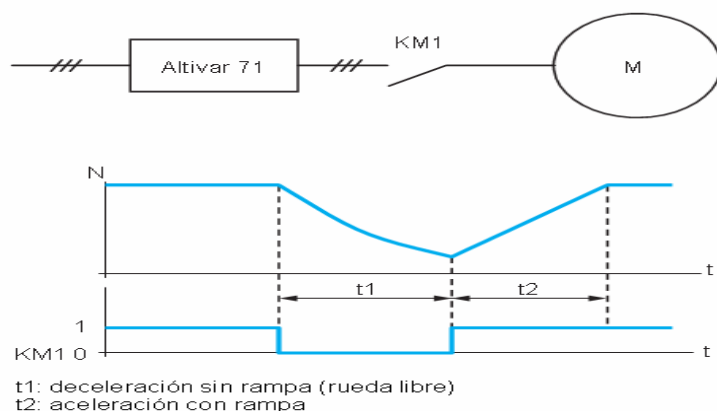


Figura 3.3: Ejemplo de corte del contactor aguas abajo.

- **Conmutación de juegos de parámetros (Multiparámetros)**

Permite la conmutación de 3 juegos de 15 parámetros como máximo cuando el motor está en marcha.

Cada juego puede contener un valor diferente para cada uno de los parámetros. La conmutación de juegos se efectúa por 1 o 2 entradas lógicas o por bits de una palabra de control.

Función destinada a las máquinas de 2 o 3 procesos de fabricación.

- **Conmutación de motores o de configuraciones (Multimotor o Multiconfiguración)**

El variador Altivar 71 puede contener 3 configuraciones que pueden activarse a distancia, por lo que permiten adaptarse a:

v 2 o 3 motores o mecanismos diferentes en Multimotor. En ese caso, el estado térmico de todos los motores se calcula y se memoriza. De esta forma, cada motor queda protegido térmicamente

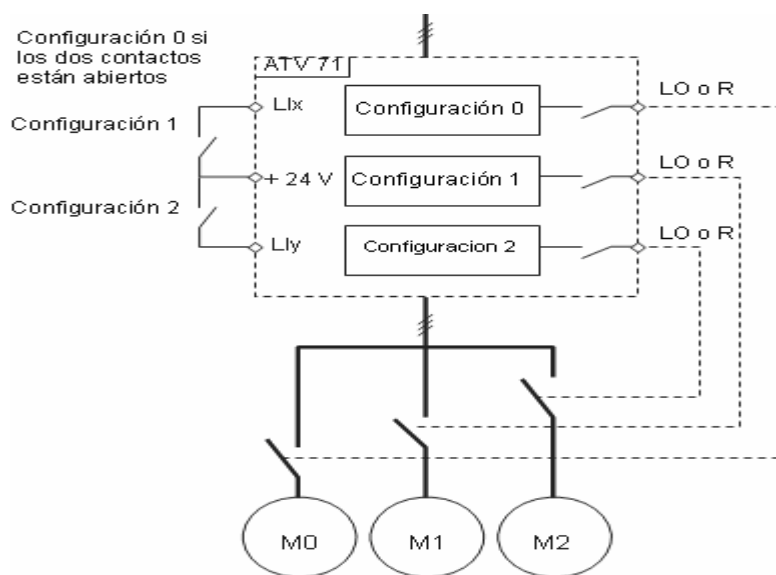


Figura 3.4: Función multimotor del variador ALTIVAR 71.

- **2 o 3 configuraciones para un mismo motor en Multiconfiguración**

Esta función también puede utilizarse para guardar la configuración corriente en otra zona de la memoria para poder acceder a ella.

La conmutación se efectúa por 1 o 2 entradas lógicas según el número elegido de motores o de configuraciones (2 o 3).

- **Asociación de motores en paralelo**

La corriente nominal del variador debe ser superior o igual a la suma de las corrientes de los motores que se van a controlar.

Se recomienda instalar un filtro de salida entre el variador y los motores o utilizar la función de limitación de sobretensión.

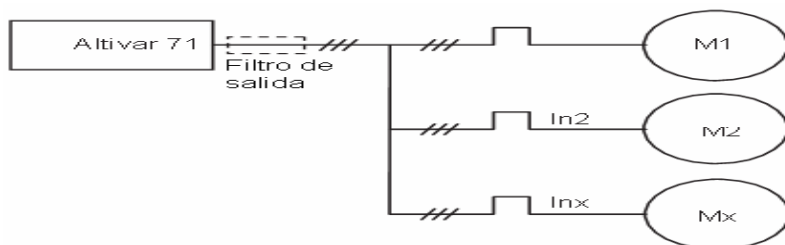


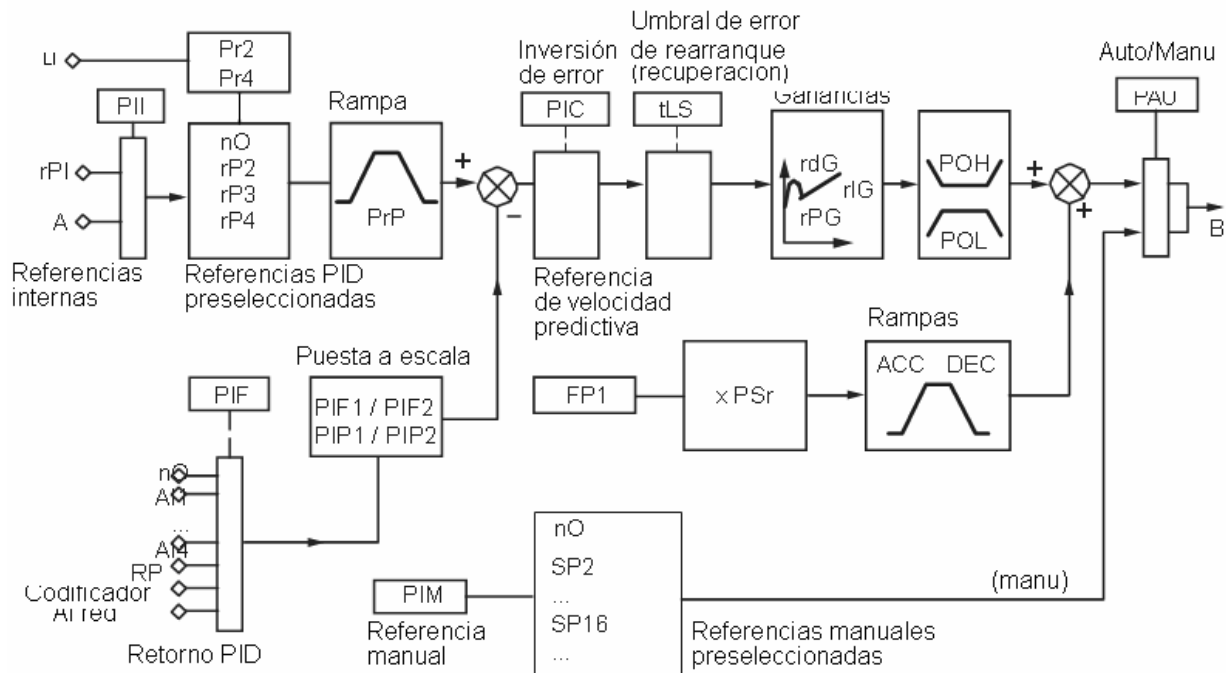
Figura 3.5: Asociación de motores en paralelo.

3.3.2. Tipos de control del motor que permite el VDF seleccionado.

La gama de variadores de velocidad Altivar 71HD55N4 permite satisfacer las mayores exigencias gracias a los diferentes tipos de control para el motor y las numerosas funcionalidades integradas.

El Regulador PID

Permite regular un proceso con una referencia y un retorno dado por un captador. Función destinada a la regulación de tracción en un tensor.



ACC: Aceleración. DEC: Deceleración. LI: Entradas lógicas. B: Referencia de velocidad.

Figura 3.6: Esquema del regulador PID en el VDF seleccionado.

Referencias internas

- rPI: referencia transmitida por el terminal gráfico o una red de comunicación.
- A: referencia dada por Fr1 o Fr1b eventualmente con las funciones de suma, resta y multiplicación.

La elección entre estas dos referencias se realiza por el parámetro “PII”.

Referencias PID preseleccionadas

2 o 4 referencias PID están disponibles.

Tabla 3.2: Combinaciones de las referencias PID seleccionadas.

LIx (Pr4)	LIy (Pr2)	Referencia
0	0	rPI o A
0	1	rP2
1	0	rP3
1	1	rP4



Retorno PID

El retorno PID puede asignarse a una de las entradas analógicas (AI1 a AI4), a la entrada de pulsos (RP) o al codificador, según la presencia de tarjetas opcionales. También puede transmitirse por una red de comunicación (AI red).

Referencia de velocidad predictiva

Esta referencia puede proceder de los borneros (entradas lógicas, codificadores, etc.), del terminal gráfico o de una red de comunicación.

Esta entrada de velocidad ofrece una referencia inicial para el arranque.

Auto/Manu

Permite conmutar una marcha en regulación de velocidad (Manu) a una marcha en regulación PID (Auto). La conmutación se realiza por una entrada lógica o un bit de una palabra de control.

Marcha en regulación de velocidad (Manu)

La referencia manual se transmite por los borneros (entradas analógicas, codificador, velocidades preseleccionadas, etc.).

En una conmutación en modo manual, la referencia de velocidad evoluciona según los tiempos de rampa ACC y DEC.

Marcha en regulación PID (Auto)

En funcionamiento automático, es posible:

- Adaptar las referencias y el retorno al proceso (formato).
- Efectuar una corrección de PID inverso.
- Ajustar las ganancias proporcional, integral y derivada (Kp, Ki y Kd).
- By-pasear la integral.
- Utilizar la “alarma” de salida lógica o visualizarla en el terminal gráfico en caso de sobrepasar el umbral (Máx. retorno, Mín. retorno y error PID).

- Visualizar en el terminal gráfico la referencia PID, el retorno PID, el error PID y la salida PID y asignarles una salida analógica.
- Aplicar una rampa (tiempo = PrP) en la referencia PID. La velocidad del motor está limitada entre LSP y HSP. La visualización se realiza en valores de proceso.

3.3.3. Características del variador seleccionado.

Aunque el variador de velocidad cuenta con un banco de rectificación propio, con el fin de disminuir los armónicos generados se puede conectar filtros pasivos.

El filtro pasivo permite reducir los armónicos de corriente con índices de distorsión de armónicos totales inferiores al 16% o al 10%. Estos índices pueden ser inferiores al 10% o al 5% asociándolos a una inductancia DC.

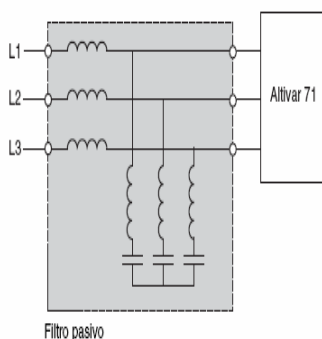


Figura 3.7: Filtro pasivo.

Protección térmica del motor

El variador Altivar 71 realiza la protección térmica especialmente estudiada para el funcionamiento del motor de velocidad variable autoventilado o moto ventilado. El variador calcula el estado térmico del motor incluso cuando está sin tensión.

Esta protección térmica del motor está prevista para una temperatura ambiente

Máxima de 40 °C en las proximidades del motor. Si la temperatura alrededor del motor supera los 40 °C, es necesario añadir una protección térmica directa por

sondas de termistancias integradas en el motor (PTC). Las sondas se tratan directamente por el variador.

Potencia del motor inferior a la potencia del variador

El variador Altivar 71 puede alimentar todo tipo de motores cuya potencia sea inferior a la establecida para el variador utilizado. Esta asociación resulta idónea para las aplicaciones que requieran un elevado sobre par intermitente.

– **Aplicaciones típicas:** máquinas con par de arranque muy importante, machacadoras, trituradoras, bombas.

(1) Entrada analógica configurable mediante software en corriente (0-20 mA) o tensión (0...10 V).

(2) Salidas analógicas configurables por software en corriente (0-20 mA) o tensión (± 10 V o 0...10 V), la selección es independiente para cada salida y se realiza por conmutador).

En estas dos herramientas, además de la animación de datos, es posible:

1. Modificar y forzar el valor de los datos sea cual sea su tipo.
2. Cambiar el formato de visualización (binario, hexadecimal, etc.).

.Control del variador

A través de las entradas/salidas del variador

1. Las señales de control se transmiten por cable a las entradas/salidas.
2. Las funciones se asignan a entradas lógicas, entradas analógicas, etc.

Una entrada lógica puede asignarse a varias funciones, es posible controlar dos funciones por una única señal que limite el número de entradas necesarias.

3. Las entradas/salidas del variador Altivar 71 se configuran independientemente unas de otras:
4. La consideración de las entradas lógicas puede temporizarse para evitar los fenómenos de rebote de determinados conmutadores.



5. El formato de las señales entrantes en las entradas analógicas permite adaptarse perfectamente a los órganos de control y a las aplicaciones:

- Valor mínimo y valor máximo de la señal de entrada.
- Filtrado de la entrada para eliminar las perturbaciones no deseadas de las señales recibidas.
- Funciones de graduado y limitación de cresta de señales para evitar un funcionamiento de baja velocidad que resultaría muy negativo para la aplicación.
- Función de punto medio que permite, a partir de una señal de entrada unipolar obtener una señal de salida bipolar para controlar la velocidad y el sentido de la rotación.

6. El formato de las salidas analógicas que transmiten la información emitida por el variador a otros aparatos (visualizadores, variadores, autómatas, etc.):

- Señal de salida en tensión o en corriente.
- Valor mínimo y valor máximo de la señal de salida.
- Filtrado de la señal de salida.

Las salidas lógicas pueden retrasarse para la activación y la desactivación.

7. El estado de salida cuando la señal está activa también se puede configurar.

8. El variador también admite señales de pulsos:

Valor mínimo y valor máximo de la frecuencia de la señal (30 kHz en la entrada RP de la tarjeta de entradas/salidas extendida, 300 kHz máx. En la entrada de la tarjeta de interfase del codificador).

3.4. Ahorro de energía y valoración económica.

Hoy día, el ahorro de energía eléctrica no es solo una campaña, es una necesidad y una cultura que debe formar parte de todos para disminuir el consumo de combustible debido a que su costo se mantiene en proceso de aumento constantemente. La



producción de energía eléctrica constituye el 50% del consumo de petróleo en el país [19]. Un kW menos en generación es 287.3g de petróleo que ahorra la Central Termoeléctrica para su producción o un kW más que se entrega al Sistema Electroenergético Nacional (SEN).

Actualmente una tonelada de petróleo mejorado CM650 tiene un valor de 191.3 CUC, lo que hace más importante el impacto económico en la disminución del insumo en las CTE. En las instalaciones de generación de electricidad se precisan que los mayores consumidores de energía eléctrica lo representan los accionamientos eléctricos de las bombas y los ventiladores.

Por la exigencia del proceso tecnológico, frecuentemente se hace necesario variar el caudal Q_B , lo que en la mayoría de los casos, se realiza abriendo o cerrando la válvula que posibilita la recirculación del combustible hacia la succión de la bomba, así se mantiene el valor de presión deseado donde existe pérdida de petróleo por recirculación y disminuye el rendimiento de la instalación.

En esencia la introducción del esquema de control con los variadores de velocidad en el sistema de bombeo de petróleo mejora la eficiencia en el accionamiento, permite la disminución de las pérdidas de energía y aumenta el tiempo de vida útil o empleo de las bombas.

Ahorro de Energía

En el sistema de bombeo de petróleo de cada bloque se encuentran trabajando dos motores y uno de reserva, como estos motores se detienen en caso de mantenimiento o interrupciones no previstas, se tomo para el análisis que a continuación se relaciona, una suma de 60 días por año:

Una tonelada de petróleo significa 191.3 CUC

Una tonelada tiene = 1000000 g = 980 litros

1litro de petróleo = 1020g



Costo del petróleo = 0.19 CUC el litro.

Ahorrando 7kW mínimo por cada motor, se ahorran 28kW.

Ahorro en 1 día = 28kW*24h

Ahorro en 1 día = 672 kWh

Ahorro anual = 672kWh*305 días = 204960 kWh al año

$$\begin{aligned}\text{Ahorro en litros de petróleo/día} &= (24\text{h} * 28 \text{ kW} * 287.3 \text{ g/kW})/1020 \text{ g} & (3.5) \\ &= 189.28 \text{ Lts/día}\end{aligned}$$

$$\text{Ahorro en CUC/año} = \text{Ahorro litros de petróleo/día} * \text{costo del petróleo} * 305 \text{ días} \quad (3.6)$$

$$\text{Ahorro en CUC/año} = 189.28 \text{ Lts/día} * 0.19 \text{ CUC} * 305 \text{ días} = \mathbf{10968.776 \text{ CUC}}$$

$$\text{Combustible Ahorrado (t)} = (\text{Ahorro en CUC/año}) / \text{costo del combustible (1t)} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned}\text{Combustible Ahorrado (t)} &= 10968.776 / 191.3 \\ &= 57.34 \text{ t}\end{aligned}$$

Valoración económica

El análisis económico es la demostración final y decisiva a la hora de diseñar o modificar cualquier sistema industrial debido al costo de las inversiones. Entre los métodos que existen para comparar alternativas de inversión están:

- Método del valor actual neto (VAN)
- Método del valor del futuro
- Método del periodo de reembolso
- Método de la tasa interna de retorno (TIR)

Para este análisis se escogió el método del VAN y la TIR, a continuación definiremos todos los conceptos para la mejor comprensión de la valoración económica.

El VAN es un método práctico, los gastos o entradas futuras se transforman en unidades monetarias del tipo equivalentes actual, este método es uno de los criterios económicos más ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos, de esta forma es fácil observar la ventaja económica de la alternativas sobre otra.

El VAN se define como el valor actualizado del flujo de ingresos netos (in) generados durante la vida útil del proyecto, es decir del saldo entre los ingresos y los gastos anuales que impliquen derogaciones de efectivos

Para la utilización del VAN es necesario una tasa de actualización(a). Esta tasa debe reflejar el costo de oportunidad de capital que expresa la garantía del rendimiento mínimo. En otras palabras una tasa similar a la que se obtendrían con cualquier otra alternativa de inversión. Para el cálculo de esta tasa generalmente se utiliza la tasa de interés existente sobre préstamos a largo plazo en el mercado de capitales

El Valor Actual Neto (VAN) se calcula mediante la determinación en cada año de todos los ingresos en efectivo y de salidas anuales como ingresos, desde que se incurre en el primer gasto en el proceso inversionista, hasta que se concluye la vida útil estimada de operación o funcionamiento del proyecto. Estos saldos anuales positivos y negativos, se actualizan en los momentos del primer gasto, de la forma siguiente:

$$VAN = \sum inj * A_j \quad (3.8)$$

Donde: (inj) es el saldo entre los ingresos y el gasto en los años.

(Aj) es el factor de actualización de los años.

El factor de actualización se puede obtener de las tablas de actualización o de las siguientes formas:

$$A_j = \frac{1}{(1+i)^j} \quad (3.9)$$

Donde: i es tasa de actualización (para nuestro trabajo es de 12%)

j: 1 ,2,3 cada año del proyecto que se genera en ingresos en efectivo.

A los efectos de selección del proyecto el criterio será siempre mayor o igual a cero para que el proyecto sea rentable.

La tasa interna de retorno TIR es aquella que el valor anual neto de un proyecto es cero, es decir que el valor actual neto del flujo de ingresos es igual al valor neto del flujo de egresos.

La TIR se calcula en esencia igual que el VAN, la única diferencia es que se estiman tasas de actualización a que el VAN es igual a cero en un proceso de actualizaciones sucesivas.

El procedimiento general consiste en utilizar aquellas tasas de actualización que aproximen lo más posible el VAN a cero, hasta llegar a que este sea negativo. La TIR se encontrará entre dos tasas, por supuesto que mientras mayor sea la aproximación a cero mayor será la exactitud obtenida no debiendo la diferencia intertasas de (+-) 2%. Si se quiere una buena aproximación, el valor de la tasa interna de retorno se puede hallar mediante la interpolación entre ambas tasas o por la formula siguiente:

$$TIR = I_1 + VAN_p(I_2 - I_1)/VAN_p + VAN_n \quad (3.10)$$

Donde:

I_1 : es la tasa de actualización del VAN que es positivo.

VAN_p : Es el VAN positivo a la tasa de actualización de I_1

I_2 : es la tasa de actualización en que el VAN es negativo.

VAN_n : es el VAN negativo a la tasa de actualización I_2 .

La TIR representa la rentabilidad general del proyecto, el criterio de selección es que la TIR debe ser mayor o igual a aquella tasa que garantice un rendimiento mínimo para la inversión realizada, o sea mayor que el 12%.

Para el cálculo económico en el presente trabajo tenemos un inversión de dos variadores de velocidad Altivar 71, uno para cada bloque de generación:

Inversión = 21500 CUC

Ahorro en CUC = 10968.776 CUC / año

ANÁLISIS FINANCIERO DEL VARIADOR DE VELOCIDAD ATV71 HD55N4

Tasa de descuento 12%

AÑO	GASTOS	INGRESOS	RESULTADO	VA
0	21.500		-21.500	-21.500
1	0	10.969	10.969	9.794
2	0	10.969	10.969	8.744
3	0	10.969	10.969	7.807
4	0	10.969	10.969	6.971
5	0	10.969	10.969	6.224
	21.500	54.844	33.344	VAN = 18.040

Resumen de la inversión 1	
Rto. contable	2,55087674
Rto. contable medio	0,51017535
Plazo de recuperación	2,00
VAN	18.040
TIR	42,26%

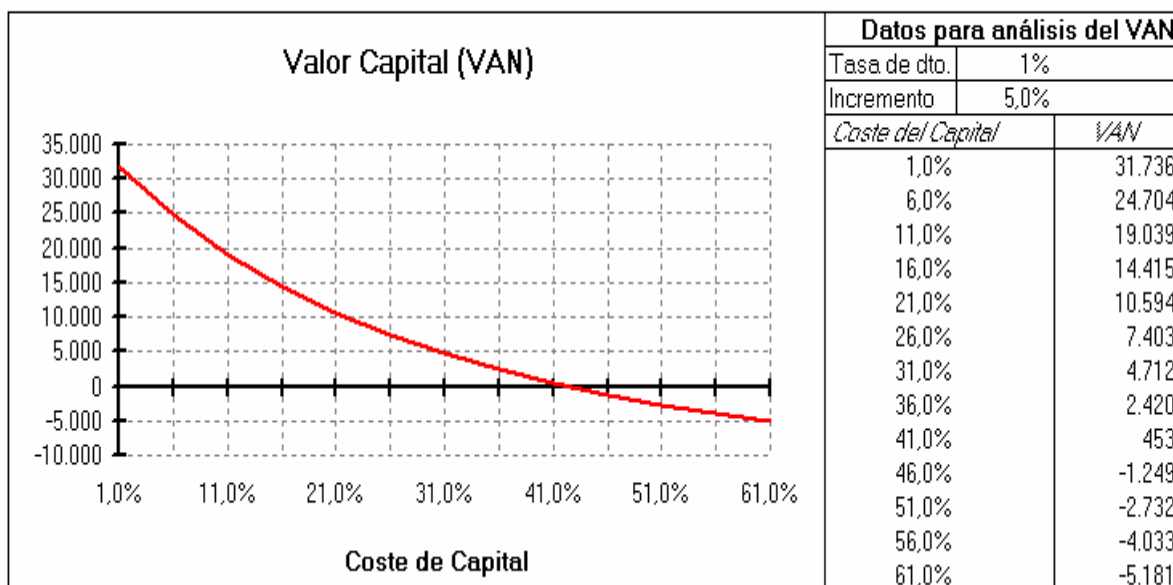


Figura 3.8: Análisis financiero del variador ATV71 HD55N4 para el sistema de bombeo de primer impulso del combustible en la CTE.

Aquí se obtiene una amortización de 2 años, es importante destacar que en este trabajo solo se han tomado en cuenta las ganancias por ahorro de electricidad en el motor y no se incluyó el ahorro por pérdidas hidráulicas en las tuberías de transporte de combustible que por su longitud, es de gran significación, además que justifica elegantemente el uso de estos variadores de velocidad en el sistema de bombeo de



primer impulso al aumentar numerosas ganancias y disminuir el plazo de recuperación, haciendo el proyecto mucho más factible y realizable económicamente.

El desarrollo del análisis financiero anterior se hizo suponiendo que la central termoeléctrica hiciera las inversiones y sufriera los riesgos, se tomaron datos específicos de la central como la cantidad de petróleo utilizado para producir un kW, que es de 287.3g/kW y a nivel nacional supera los 300g/kW. Ahora, si se realiza un análisis económico más profundo del costo por cada kW en Cuba, se obtienen resultados eficientes en el uso de este tipo de variador, esto esta dado porque los precios reales en la producción de un KW en nuestro país es de 0.11 CUC/kW generado, si en vez de solo ahorrar electricidad, se entrega al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) lo ahorrado, le reportaría de forma general, para el país, la siguiente cifra por año:

$$\text{Ahorro anual (CUC)} = 0.11 \text{CUC/kW} * \text{consumo diario (kW)} * \text{días de trabajo} \quad (3.11)$$

$$\text{Ahorro anual (CUC)} = 0.11 \text{CUC/kW} * 672 \text{ kW} * 305 \text{ días}$$

$$\text{Ahorro anual (CUC)} = 22\,545.6 \text{ CUC/año}$$

Lo que indica, que la instalación de variadores de velocidad para el sistema de bombeo del combustible de primer impulso de la CTE de Felton, garantiza al SEN 22 545.6 CUC por la incorporación de 204.960 MW que se utilizaba en el insumo de la empresa.

3.5. Impacto Ambiental.

La Industria Eléctrica comprende de forma fundamental el conjunto de instalaciones que se utilizan para transformar otros tipos de energía en electricidad y transportarla hasta los lugares donde se consume. Estas instalaciones pueden agruparse de forma simplificada en dos operaciones básicas: *Generación de la energía eléctrica y Transmisión y distribución de la electricidad*. Cada una de estas operaciones involucra una serie de actividades especializadas y complejas que por sus características específicas son generadoras de impactos ambientales.



De forma simplificada, las principales actividades relacionadas con la generación de electricidad, en fase operacional, causantes de impactos ambientales, son las vinculadas con la utilización de materias primas para el proceso y la generación de residuales sólidos y líquidos y de emisiones gaseosas. Este último es de mucha importancia debido a la expulsión de sustancias a la atmósfera que pueden provocar daños catastróficos al ecosistema.

La operación de las Centrales Eléctricas produce emisiones de gases contaminantes procedentes de la combustión. Estas emisiones constituyen el principal problema ambiental de las centrales eléctricas que queman combustible fósil y la composición específica de las mismas depende del tipo de combustible que se queme y de las características tecnológicas de la instalación. Las emisiones de gases a la atmósfera constituye un impacto directo sobre la calidad del aire que es el que recibe dichas emisiones y un impacto indirecto sobre el agua, el suelo, la vegetación y la fauna debido al retorno de parte de estos contaminantes a la tierra, por deposición seca o húmeda.

La utilización de variadores de velocidad en el sistema de bombeo de petróleo de la “CTE” de felton, es un requisito básico para una política de ahorro de energía y protección del medio ambiente adecuada, esto esta determinado por la disminución de combustible en la combustión, contribuyendo así a la consecuente mejora del medio ambiente por menor desprendimiento de gases tóxicos como el CO₂, NO₂ y Material Particulado (MP). Basta decir que por cada kW-h de energía eléctrica consumida por un equipo se descarga a la atmósfera 0.94 kg. de CO₂. (Fernández. J., 1996) [11]

El estado de la técnica no ha permitido aún encontrar soluciones suficientemente satisfactorias que aseguren un desarrollo sostenible y minimicen las consecuencias indirectas de este consumo de energía: el efecto invernadero, el agujero de la capa de ozono, la lluvia ácida, los residuos radiactivos, etc. Actualmente la forma más eficaz e inmediata es el ahorro de energía.

Parecer general es que el dióxido de carbono contribuye aproximadamente en un 50 % al problema del calentamiento global y el metano del 10 % al 20 %. Los



beneficios de dicho programa son ambientales y económicos. Aún con reducidos niveles de costo del combustible, la cantidad gastada en consumo de energía es extremadamente elevada y los ahorros potenciales pueden justificar muchos proyectos. La contaminación del aire: está dado por emisiones de gases a la atmósfera que se producen como resultado de la utilización de productos químicos en su proceso de generación de energía.

Estas afectaciones producen efectos indirectos y negativos como incremento de la presión sanguínea, aceleración del ritmo sanguíneo, la contracción de los capilares de la piel y la disminución en la capacidad de trabajo físico y mental del hombre, expuestos también a enfermedades respiratorias y de la piel.

3.6. Valoración social.

En medio de una revolución energética, cada medida que se tome con el objetivo del ahorro tiene necesariamente un impacto social. De modo general cada uno de nosotros centra su atención en la disminución de los portadores energéticos principales y que representan un alto valor económico repercutiendo debido a su inversión en el desarrollo del país. Es decir que cada centavo que se ahorre por medio de generación de electricidad es menor inversión de combustible, mayor servicio de energía eléctrica para el pueblo y mayores ingresos monetarios para la compra de otros recursos y materiales como medicinas, alimentación, recuperación de las instalaciones sociales, etc. Este trabajo no esta exento de estas características, además que la introducción de estos resultados permite humanizar la labor de los trabajadores que están expuestos a las emisiones gaseosas de CO_2 , letales para la vida en altas concentraciones. Al mismo tiempo esto mejorara el entorno de trabajo, disminuyendo las emisiones gaseosas hacia los barrios residenciales de la comunidad, impidiendo en gran parte la aparición de problemas respiratorios en los niños y adultos.



3.7. Conclusiones parciales.

La realización de este capítulo propuso un variador de velocidad para el sistema de bombeo de combustible primer impulso. Debido a que son tres motores trabajando en conjunto para cada unidad de generación:

- Se propuso una instalación del dispositivo con conmutación a la salida que permita manipular dos maquinas en paralelo,
- Se seleccionó un variador ALTIVAR 71, de Telemecanique, modelo ATV71HD55N4, mediante el, se controla la presión a 0.45 Mpa a partir del regulador PID que envía una señal de consigna (frecuencia) que cambia la velocidad de estos motores.
- Se realizó un análisis económico que muestra un ahorro de energía eléctrica de 7 kW como promedio por cada motor y una amortización de 2 años, haciendo la inversión rentable para las condiciones existentes.



CONCLUSIONES GENERALES

Después de haber realizado un estudio y analizado profundamente el comportamiento del sistema de bombeo de combustible primer impulso se concluye que:

1. Para las condiciones actuales en operación, los motores del primer impulso de combustible están trabajando en rangos de potencia entre 19 kW y 23 kW, lo que infiere un consumo de energía estable y por encima del necesario para accionar las bombas de engranajes.
2. Las velocidades respectivas a cada bomba son practicamente constantes y se establecen entre 884 rpm – 891 rpm.
3. El empleo de variadores de velocidad ALTIVAR 71 modelo ATV71HD55N4 es el método mas eficaz para ajustar el caudal y mejorar la eficiencia en el ahorro de energía eléctrica.
4. Los cálculos económicos respaldan la puesta en marcha de VDF con una amortización de dos años y ganancias a partir de la fecha indicada de 10968.77 CUC por año, lo que equivale a 57 toneladas de petróleo.



RECOMENDACIONES

1. Continuar estudiando sistemáticamente, el comportamiento de los principales accionamientos eléctricos con bombas y ventiladores en especial el sistema de primer impulso de combustible para seguir fortaleciendo y mejorando la eficiencia en el ahorro energético.
2. Implementar la propuesta con vistas a disminuir el consumo en los motores y a su vez el insumo en la CTE.
3. Implementar este trabajo en las demás centrales termoeléctricas del país.



BIBLIOGRAFÍA

1. Almira Zayas, Nobel. Mejoramiento de los accionamientos principales en la CTE Lidio Ramón Pérez de Felton. Tesis en opción al título de ingeniero eléctrico. ISMM, Moa, 2008.
2. Aróstegui, J. M. y otros.: Metodología del Conocimiento Científico. La Habana: Editorial de Ciencias Sociales, 1978. 445 p
3. Bodson J. Digital control improves variable speed drives. EPE Journal. Vol. 2. No. 4. December 1992. pp 243 – 248.
4. Catálogo de variadores de velocidad ALTIVAR 71. Telemecanique. 2005
5. Chapman S. Máquinas Eléctricas. Editorial McGraw Hill. New York. 2003
6. Cherkasski, V.M. Bombas, Ventiladores y Compresores. Editorial Mir, Moscú, 1986.
7. Costa Montiel A., Galan N., Ciumbulea G., López X. M. Cálculo de los parámetros del motor de inducción a partir de datos de catálogo. Edición
8. De León Benítez, Carlos A., Viego Felipe, Percy. Ahorro de energía por control de velocidad en el sistema de bombeo de guarapo. Centro azúcar 1/2000.
9. Descripción técnica, prescripciones de servicio y montaje para las bombas de engranaje tipo 125-1000 ZOP-ZOT. Manual de usuario. Zigma Lutin.
10. Famouri P, Cathey J. J., “Loss Minimization Control Induction Motor Drive,” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 27, No. 1, January/February 1991.
11. Fernández García Sergio J. Dr. (1996) "Diagnostico Integral", Folleto.
12. Fitzgerald A., Kingsley Ch., Umans S., Electric Machinery. Editorial McGraw Hill. New York. 2000.



13. García G., Mendes J., Stephan L., Watanabe E., An efficient controller for an adjustable speed induction motor drive. IEEE Transaction on Industrial Electronics. Vol. 41. No. 5. Pp 533 – 539. October 1994.
14. Gómez Martínez, Miguel A.; Medina Flores, Alfredo. Ahorro de energía eléctrica en Centrales Termoeléctricas. Universidad de Guanajuato, Facultad de ingeniería mecánica, eléctrica y electrónica, México.
15. Kioskeridis I, Margaris N., “Loss Minimization in Scalar Controlled Induction Motor Drives with Search Controllers,” IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 11, No. March 1996, pp. 213-219.
16. Kostenko M., Piotrovski L., Máquinas Eléctricas. Tomo II. Editorial Mir. Moscú 1976.
17. Kusko A., Galler D., Control means for minimization of losses in ac and dc motor drives. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 19, No. 4. pp 561 – 570. July – august 1983.
18. Leyva Noa, René. Transferencia informativa en accionamientos automatizados con variador. Tesis en opción al título de ingeniero eléctrico. ISMM, Moa, 2006
19. Mesa Redonda Informativa “ El Ahorro: necesidad, cultura y eficiencia “. 4 de junio del 2009.
20. Mestizo C. J. Evaluación energética sobre el empleo del variador de frecuencia como método de regulación de flujo en bombas centrífugas accionadas por motor eléctrico de corriente alterna. Centro Azúcar. 1994.
21. Moreira C., Lipo T. A., Blasko V., “Simple Efficiency Maximizer for an Adjustable Frequency Induction Motor Drive,” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.No. 5, September/October 1991, pp. 940-945.
22. Morera H M, “Accionamiento Eléctrico Automatizado Tomo I ”, Editorial Pueblo y Educación, 1988.
23. Norma Británica (BS - 269).
24. Norma Soviética (11828-75).
25. Ramírez J. Control óptimo U/f para motores de inducción. Revista Energía y Computación. Vol. IX. No. 2. Octubre 2000. pp 20 – 25.

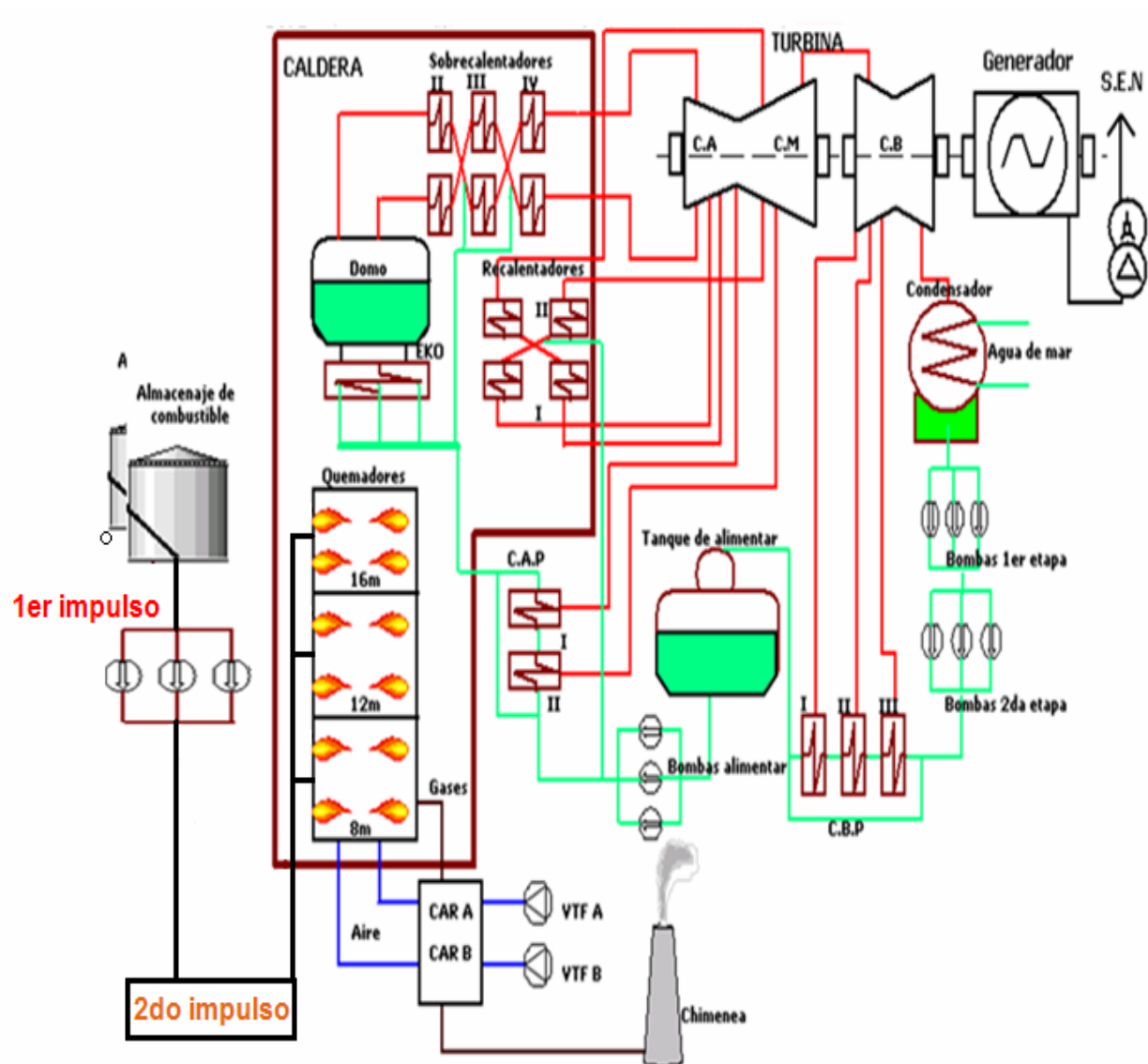


26. Ramírez J. Contribución a la commande optimale des machines asynchrones. Tesis de Doctorado. Institut National Polytechnique de Grenoble. Francia 1998. pp 17 – 27.
27. Revista Energía y Computación. Colombia, Vol 12. No. 2, 2004.
28. Richard Moss, Pared. Propuesta de estructura informativa para coordinación de control de accionamientos automatizados con variador. Tesis en opción al título de ingeniero eléctrico. ISMM, Moa, 2006
29. Rojas Purón, Luis D. y otros. Identificación difusa de accionamiento de bomba centrífuga para transporte eficiente de pulpa laterítica. Minería y Geología, ISSN 0258 5979, Nos. 3-4. pp87-98, 2004.
30. Rojas Purón, Luis Delfín. Accionamiento eléctrico asincrónico para transporte eficiente de pulpa laterítica, Moa, 2005.
31. Romero Rueda I. Estudio del motor de inducción de rotor de jaula de ardilla sujeto a la Teoría del Campo Orientado. Tesis de Maestría. ISMM. Junio del 2000.
32. Rómulo Sánchez, Leonel. Mejora de la Eficiencia Eléctrica del Accionamiento en el Bombeo de Petróleo de la CTE de Felton. Tesis de Maestría. ISMM, Moa, 2008.
33. SIE-2001. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara. Julio 2001.
34. Slaets B., Van Roy P., Belmans R. Energy efficiency of induction machines. ICEM-2000. 28 – 30 August 2000. Expoo. Finland.
35. Viego Felipe, Percy y otros. Uso final de la energía eléctrica. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, 2007

ANEXOS

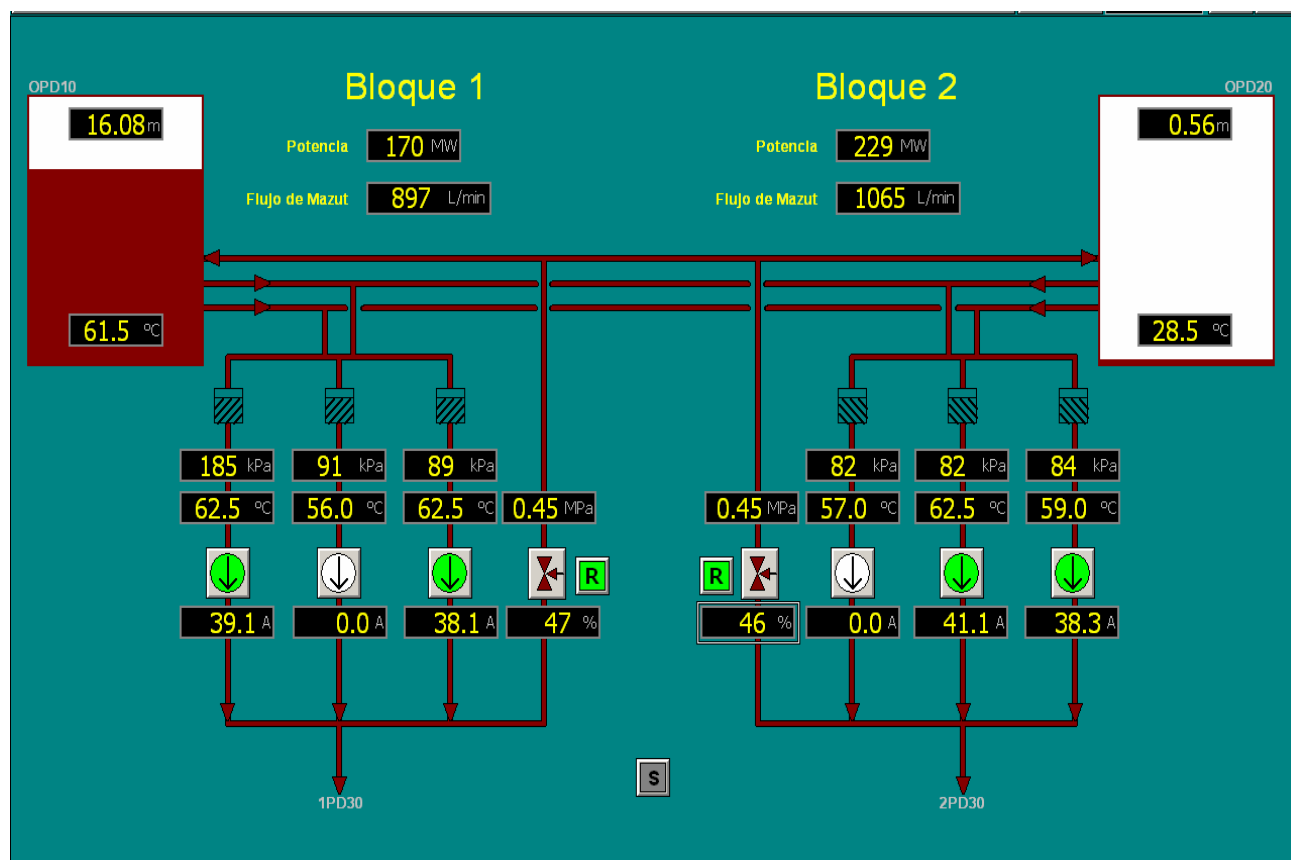
Anexo 1: Esquema de la CTE de Felton donde se describe el flujo tecnológico.

[\(Volver\)](#)



Anexo 2: Esquema del sistema de suministro de combustible primer impulso de la CTE

Lidio Ramón Pérez visualizado por el Active Factory Trend. [\(Volver\)](#)



Anexo 3: Tacómetro Chauvin Arnoux C.A 25. [\(Volver\)](#)



Especialmente diseñado para aplicaciones industriales, el CA tacómetro 25 medidas, a distancia o por contacto, cualquier velocidad de rotación de 60 a 100 000 tr / min.

- medidas a distancia (por photoreflection) o por el contacto (con los accesorios mecánicos)
- Rotación: hasta 100 000 rpm
- Precisión: 0,01%
- contar doble 100000-pantalla analógica o digital
- circulación (m / min) con la rueda calibrada attachment
- funciones de la memoria: máximo, mínimo y promedio de los valores
- velocidad lineal
- frecuencia
- ciclo
- ciclo de trabajo
- Dimensiones: 216 x 72 x 47mm - Peso: 250g

Anexo 4: Amperímetro de Gancho MX1140.

[\(Volver\)](#)



Marca : [Metrix](#)

Ref. fabricante : MX1140

Presentación	
Pinza multimétrica 4000pts ca/cc 51mm 1000A.	53 mm
Jaw opening :	
Current :	AC DC
Voltage :	AC DC
Número de puntos (pts) :	4000 puntos
Voltaje de C.C. mínimo (v) :	400V DC
Voltaje ca Mínimo (v) :	400V AC
Voltaje de C.C. máximo (v) :	600V DC
Voltaje ca Máximo (v) :	600V AC
Corriente de la C.C. del mínimo (a) :	400A DC
Corriente de la CA del mínimo (a) :	400A AC
Corriente de la C.C. del máximo (a) :	1000A DC
Corriente de la CA del máximo (a) :	1000A AC
Funciones (tipo) :	Resistance Frequency Continuity test

Anexo 5: Datos obtenidos del Amperímetro de Gancho.

[\(Volver\)](#)

Fecha	Tensión	Motor 1PD32		Uprom	ΔU (%)	desb U (%)
	U_{A-B} (V)	U_{A-C} (V)	U_{B-C} (V)			
4-3-09 7:00	383.6	379.24	378.12	380.32	0.084	0.009
4-3-09 8:00	382.73	378.27	379.55	380.18	0.048	0.007
4-3-09 9:00	382.44	379.27	380.12	380.61	0.161	0.005
4-3-09 10:00	381.2	378.5	380.5	380.07	0.018	0.003
4-3-09 11:00	382.2	379.13	379.43	380.25	0.067	0.005
4-3-09 12:00	383.27	380.1	379.88	381.08	0.285	0.006
4-3-09 13:00	384.4	381.2	382.6	382.73	0.719	0.004
4-3-09 14:00	383.54	380.25	379.22	381.0033333	0.264	0.007
4-3-09 15:00	381.41	378.45	380.1	379.9866667	-0.004	0.004
4-3-09 16:00	382.76	378.34	379.21	380.1033333	0.027	0.007
4-3-09 17:00	382.34	379.3	380.11	380.5833333	0.154	0.005
4-3-09 18:00	383.61	378.34	379.26	380.4033333	0.106	0.008
4-3-09 19:00	382.74	376.24	379.39	379.4566667	-0.143	0.009
5-3-09 7:00	383.6	379.24	378.12	380.32	0.084	0.009
5-3-09 8:00	382.73	378.27	379.55	380.1833333	0.048	0.007
5-3-09 9:00	382.44	379.27	380.12	380.61	0.161	0.005
5-3-09 10:00	381.2	378.5	380.5	380.0666667	0.018	0.003
5-3-09 11:00	382.2	379.13	379.43	380.2533333	0.067	0.005
5-3-09 12:00	383.27	380.1	379.88	381.0833333	0.285	0.006
5-3-09 13:00	384.4	381.2	382.6	382.7333333	0.719	0.004
5-3-09 14:00	383.54	380.25	379.22	381.0033333	0.264	0.007
5-3-09 15:00	381.41	378.45	380.1	379.9866667	-0.004	0.004
5-3-09 16:00	382.76	378.34	379.21	380.1033333	0.027	0.007
5-3-09 17:00	382.34	379.3	380.11	380.5833333	0.154	0.005
5-3-09 18:00	383.61	378.34	379.26	380.4033333	0.106	0.008
5-3-09 19:00	382.74	376.24	379.39	379.4566667	-0.143	0.009
6-3-09 7:00	382.67	379.24	379.96	380.6233333	0.164	0.005
6-3-09 8:00	381.46	380.21	381.4	381.0233333	0.269	0.001
6-3-09 9:00	382.4	379.6	380.42	380.8066667	0.212	0.004
6-3-09 10:00	382.6	380.3	381.7	381.5333333	0.404	0.003
6-3-09 11:00	381.46	379.51	379.8	380.2566667	0.068	0.003
6-3-09 12:00	382.67	379.34	380.63	380.88	0.232	0.005
6-3-09 13:00	380.56	381.12	382.65	381.4433333	0.380	0.003
6-3-09 14:00	382.76	380.34	381.12	381.4066667	0.370	0.004
6-3-09 15:00	382.51	380.61	379.26	380.7933333	0.209	0.005
6-3-09 16:00	382.64	379.24	379.31	380.3966667	0.104	0.006
6-3-09 17:00	381.59	380.23	381.33	381.05	0.276	0.001
6-3-09 18:00	383.61	380.45	380	381.3533333	0.356	0.006
6-3-09 19:00	382	379.61	380.4	380.67	0.176	0.003

Anexo 6: Datos obtenidos del Amperímetro de Gancho.
[\(Volver\)](#)

	Tensión	Motor 1PD33				
Fecha	U _{A-B}	U _{A-C}	U _{B-C}	Uprom	ΔU	desb U
	(V)	(V)	(V)	(V)	(%)	(%)
4-3-09 7:00	381	378,2	380,7	379,96667	-0,0088	0,0027
4-3-09 8:00	380,49	377,6	379,59	379,22667	-0,2035	0,0033
4-3-09 9:00	381,66	377,14	378,5	379,1	-0,2368	0,0068
4-3-09 10:00	378	376,5	379	377,83333	-0,5702	0,0031
4-3-09 11:00	378,56	376,4	379,12	378,02667	-0,5193	0,0029
4-3-09 12:00	378,6	377	379,1	378,23333	-0,4649	0,0023
4-3-09 13:00	377,7	375,5	378,8	377,33333	-0,7018	0,0039
4-3-09 14:00	381,66	377,9	379,56	379,70667	-0,0772	0,0051
4-3-09 15:00	378	377	378,5	377,83333	-0,5702	0,0018
4-3-09 16:00	379,4	376,15	378,1	377,88333	-0,5570	0,0040
4-3-09 17:00	380,15	378,59	379,49	379,41	-0,1553	0,0020
4-3-09 18:00	379,56	381,2	378,26	379,67333	-0,0860	0,0040
4-3-09 19:00	380,38	378,2	379,2	379,26	-0,1947	0,0030
5-3-09 7:00	384,6	383,56	382,6	383,58667	0,9439	0,0026
5-3-09 8:00	385,39	384	381,56	383,65	0,9605	0,0045
5-3-09 9:00	384,31	382,64	382,16	383,03667	0,7991	0,0033
5-3-09 10:00	385,5	384,4	381	383,63333	0,9561	0,0049
5-3-09 11:00	384,65	383,56	382,61	383,60667	0,9491	0,0027
5-3-09 12:00	385,16	383,6	384,16	384,30667	1,1333	0,0022
5-3-09 13:00	384	385,21	384,35	384,52	1,1895	0,0018
5-3-09 14:00	385,69	384,61	383,67	384,65667	1,2254	0,0027
5-3-09 15:00	386,37	385,31	382,67	384,78333	1,2588	0,0041
5-3-09 16:00	384,26	383,56	382,68	383,5	0,9211	0,0020
5-3-09 17:00	386,24	384,6	384,29	385,04333	1,3272	0,0031
5-3-09 18:00	385,31	383,1	382,13	383,51333	0,9246	0,0047
5-3-09 19:00	383,98	383,26	384,28	383,84	1,0105	0,0011
6-3-09 7:00	385,4	384,31	386,16	385,29	1,3921	0,0023
6-3-09 8:00	385,91	385,34	382,36	384,53667	1,1939	0,0036
6-3-09 9:00	384,63	386,16	384,26	385,01667	1,3202	0,0030
6-3-09 10:00	386,1	385,1	385,2	385,46667	1,4386	0,0016
6-3-09 11:00	386,19	384,27	385,1	385,18667	1,3649	0,0026
6-3-09 12:00	385,61	385,6	384,16	385,12333	1,3482	0,0013
6-3-09 13:00	385,4	384	384,9	384,76667	1,2544	0,0016
6-3-09 14:00	384,29	385,3	383,14	384,24333	1,1167	0,0027
6-3-09 15:00	386,29	384,6	383,57	384,82	1,2684	0,0038
6-3-09 16:00	385,67	385,24	384,68	385,19667	1,3675	0,0012
6-3-09 17:00	383,56	380,24	381,6	381,8	0,4737	0,0046
6-3-09 18:00	383,68	384,27	383,6	383,85	1,0132	0,0011
6-3-09 19:00	385,46	384,61	382,49	384,18667	1,1018	0,0033

Anexo 7: Datos obtenidos del Amperímetro de Gancho.

[\(Volver\)](#)

Fecha	Tensión	Motor 2PD32		Uprom	ΔU	desb U
	U_{A-B}	U_{A-C}	U_{B-C}			
	(V)	(V)	(V)	(V)	(%)	(%)
4-3-09 7:00	381.56	379.26	380.2	380.34	0.0894737	0.0032077
4-3-09 8:00	385.6	380.4	379.56	381.85333	0.4877193	0.0098118
4-3-09 9:00	383.64	378.3	379.26	380.4	0.1052632	0.0085174
4-3-09 10:00	383.2	379	381.6	381.26667	0.3333333	0.0050708
4-3-09 11:00	382.67	379.24	381.7	381.20333	0.3166667	0.0038475
4-3-09 12:00	383.57	380.19	379.2	380.98667	0.2596491	0.0067806
4-3-09 13:00	380.5	376.6	379.2	378.76667	-0.324561	0.0045763
4-3-09 14:00	384.2	376.2	379.5	379.96667	-0.008772	0.0111413
4-3-09 15:00	383.42	377.77	378.6	379.93	-0.018421	0.0091859
4-3-09 16:00	384.25	381.4	379.34	381.66333	0.4377193	0.0067774
4-3-09 17:00	383.45	378.34	381.6	381.13	0.2973684	0.0060872
4-3-09 18:00	385.4	379.4	383.17	382.65667	0.6991228	0.0071692
4-3-09 19:00	385.36	382	383.6	383.65333	0.9614035	0.0044485
5-3-09 7:00	386.1	382.49	387.6	385.39667	1.4201754	0.0057171
5-3-09 8:00	385.6	379.6	381.2	382.13333	0.5614035	0.0090719
5-3-09 9:00	384.6	380.57	382.4	382.52333	0.6640351	0.0054289
5-3-09 10:00	385.5	381.1	389.4	385.33333	1.4035088	0.0105536
5-3-09 11:00	384.38	381.66	383.55	383.19667	0.8412281	0.0030881
5-3-09 12:00	385.9	379.21	380.73	381.94667	0.5122807	0.0103505
5-3-09 13:00	384	382.3	386.5	384.26667	1.122807	0.0058119
5-3-09 14:00	385.61	379.27	381	381.96	0.5157895	0.009556
5-3-09 15:00	384.34	378.16	379.41	380.63667	0.1675439	0.0097293
5-3-09 16:00	385.61	384.7	382.6	384.30333	1.1324561	0.0034001
5-3-09 17:00	386.27	383.4	381.67	383.78	0.9947368	0.0064881
5-3-09 18:00	386.7	380.1	384.36	383.72	0.9789474	0.0077661
5-3-09 19:00	385.45	379.56	384.33	383.11333	0.8192982	0.0060992
6-3-09 7:00	384.24	381.57	385.26	383.69	0.9710526	0.0040918
6-3-09 8:00	384.26	385.61	386.86	385.57667	1.4675439	0.0033283
6-3-09 9:00	383.6	380.3	384.49	382.79667	0.7359649	0.0044236
6-3-09 10:00	382.2	382.1	385	383.1	0.8157895	0.0049595
6-3-09 11:00	382.34	381.65	383.4	382.46333	0.6482456	0.002449
6-3-09 12:00	380.24	381.6	384.19	382.01	0.5289474	0.0057067
6-3-09 13:00	380	382.23	383.96	382.06333	0.5429825	0.0049643
6-3-09 14:00	382.1	380.4	383.61	382.03667	0.5359649	0.0041183
6-3-09 15:00	380.23	381.31	382.96	381.5	0.3947368	0.003827
6-3-09 16:00	383.38	382.67	384.13	383.39333	0.8929825	0.0019214
6-3-09 17:00	381.37	384.7	382.17	382.74667	0.722807	0.0051035
6-3-09 18:00	382.6	381.64	380.48	381.57333	0.4140351	0.0026906
6-3-09 19:00	380.26	381.7	379.84	380.6	0.1578947	0.0028902

Anexo 8: Datos obtenidos del Amperímetro de Gancho.
[\(Volver\)](#)

	Tensión		Motor 2PD33			
Fecha	U _{A-B}	U _{A-C}	U _{B-C}	U _{prom}	ΔU	desb U
	(V)	(V)	(V)	(V)	(%)	(%)
4-3-09 7:00	382,1	379,64	382,4	381,38	0,3631579	0,0026745
4-3-09 8:00	384	384,6	386,16	384,92	1,2947368	0,0032214
4-3-09 9:00	384,6	383,6	384,6	384,26667	1,122807	0,0008675
4-3-09 10:00	385	386	389	386,66667	1,754386	0,0060345
4-3-09 11:00	388,45	384	386,4	386,28333	1,6535088	0,005609
4-3-09 12:00	384,6	383,5	382,6	383,56667	0,9385965	0,002694
4-3-09 13:00	384	389,5	391	388,16667	2,1491228	0,0072993
4-3-09 14:00	384,5	384	380	382,83333	0,745614	0,0043535
4-3-09 15:00	384,7	383	382	383,23333	0,8508772	0,0038271
4-3-09 16:00	384,59	379,46	382,43	382,16	0,5684211	0,0063586
4-3-09 17:00	383,79	380,7	385,3	383,26333	0,8587719	0,005314
4-3-09 18:00	385,6	383,4	384,6	384,53333	1,1929825	0,0027739
4-3-09 19:00	384,6	382,6	379,46	382,22	0,5842105	0,0062268
5-3-09 7:00	382,1	379,64	382,4	381,38	0,3631579	0,0026745
5-3-09 8:00	384	384,6	386,16	384,92	1,2947368	0,0032214
5-3-09 9:00	384,6	383,6	384,6	384,26667	1,122807	0,0008675
5-3-09 10:00	385	386	389	386,66667	1,754386	0,0060345
5-3-09 11:00	388,45	384	386,4	386,28333	1,6535088	0,005609
5-3-09 12:00	384,6	383,5	382,6	383,56667	0,9385965	0,002694
5-3-09 13:00	384	389,5	391	388,16667	2,1491228	0,0072993
5-3-09 14:00	384,5	384	380	382,83333	0,745614	0,0043535
5-3-09 15:00	384,7	383	382	383,23333	0,8508772	0,0038271
5-3-09 16:00	384,59	379,46	382,43	382,16	0,5684211	0,0063586
5-3-09 17:00	383,79	380,7	385,3	383,26333	0,8587719	0,005314
5-3-09 18:00	385,6	383,4	384,6	384,53333	1,1929825	0,0027739
5-3-09 19:00	384,6	382,6	379,46	382,22	0,5842105	0,0062268
6-3-09 7:00	383,5	382,49	386,16	384,05	1,0657895	0,0054941
6-3-09 8:00	383,5	383,16	384,27	383,64333	0,9587719	0,0016335
6-3-09 9:00	381,57	382,59	383,49	382,55	0,6710526	0,0024572
6-3-09 10:00	382,2	382,1	385	383,1	0,8157895	0,0049595
6-3-09 11:00	381,59	383,57	386,62	383,92667	1,0333333	0,0070152
6-3-09 12:00	382,46	383,6	385,6	383,88667	1,022807	0,0044631
6-3-09 13:00	381,6	384	385	383,53333	0,9298246	0,0038241
6-3-09 14:00	383,56	382,61	383,46	383,21	0,8447368	0,0009133
6-3-09 15:00	384,62	383,56	384,61	384,26333	1,1219298	0,0009282
6-3-09 16:00	382,56	384,6	382,61	383,25667	0,8570175	0,003505
6-3-09 17:00	383,49	382,6	383,46	383,18333	0,8377193	0,0008003
6-3-09 18:00	384,66	379,5	381	381,72	0,4526316	0,007702
6-3-09 19:00	382,64	384	381,7	382,78	0,7315789	0,0031872

Anexo 9: Datos obtenidos del Amperímetro de Gancho.
[\(Volver\)](#)

	Corriente		Motor 1PD32		
Fecha	I_{A-B}	I_{B-C}	I_{C-A}	I_{Comp}	I_{PROM}
	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)
4-3-09 7:00	43.15	41.2	42.2	41.2	42.18
4-3-09 8:00	43.12	42.98	43	43.63	43.03
4-3-09 9:00	43.65	42.54	43.61	42.9	43.27
4-3-09 10:00	42.5	44.4	42.2	40.2	43.03
4-3-09 11:00	43.8	42.48	43.21	43.1	43.16
4-3-09 12:00	42.81	42.5	43.64	41.56	42.98
4-3-09 13:00	42.5	44.6	42.7	43.1	43.27
4-3-09 14:00	42.7	44.26	42.35	41.59	43.1
4-3-09 15:00	41.58	43.26	42.84	42.6	42.56
4-3-09 16:00	43.89	43.2	42.85	42.95	43.31
4-3-09 17:00	42.56	43.25	42.81	43.5	42.87
4-3-09 18:00	42.14	44.85	43.63	43.13	43.54
4-3-09 19:00	42.59	42.75	43.27	42.86	42.87
5-3-09 7:00	43.15	41.2	42.2	41.2	42.18
5-3-09 8:00	43.12	42.98	43	43.63	43.03
5-3-09 9:00	43.65	42.54	43.61	42.9	43.27
5-3-09 10:00	42.5	44.4	42.2	40.2	43.03
5-3-09 11:00	43.8	42.48	43.21	43.1	43.16
5-3-09 12:00	42.81	42.5	43.64	41.56	42.98
5-3-09 13:00	42.5	44.6	42.7	43.1	43.27
5-3-09 14:00	42.7	44.26	42.35	41.59	43.1
5-3-09 15:00	41.58	43.26	42.84	42.6	42.56
5-3-09 16:00	43.89	43.2	42.85	42.95	43.31
5-3-09 17:00	42.56	43.25	42.81	43.5	42.87
5-3-09 18:00	42.14	44.85	43.63	43.13	43.54
5-3-09 19:00	42.59	42.75	43.27	42.86	42.87
6-3-09 7:00	44.86	45.34	44.39	44.87	44.86
6-3-09 8:00	43.96	43.57	42.38	43.51	43.3
6-3-09 9:00	43.25	44.26	43.16	43.24	43.56
6-3-09 10:00	43.9	45.4	43.5	41.5	44.27
6-3-09 11:00	42.69	44.35	42.56	43.45	43.2
6-3-09 12:00	43.48	44.3	42.48	42.89	43.42
6-3-09 13:00	44.1	44.89	43.15	43.25	44.05
6-3-09 14:00	43.45	43.89	42.85	43.15	43.4
6-3-09 15:00	42.86	44.51	42.78	43.75	43.38
6-3-09 16:00	42.59	43.41	43.2	42.95	43.07
6-3-09 17:00	43.47	44.25	43.59	42.56	43.77
6-3-09 18:00	43.96	44.85	43.56	44.19	44.12
6-3-09 19:00	43.47	44.63	43.26	43.52	43.79

Anexo 10: Datos obtenidos del Amperímetro de Gancho.

[\(Volver\)](#)

Fecha	Corriente	Motor 1PD33			
	I _{A-B}	I _{B-C}	I _{C-A}	I _{Comp}	I _{PROM}
	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)
4-3-09 7:00	39.78	41.4	40.27	39.86	40.48
4-3-09 8:00	40.59	42.37	41.35	39.22	41.44
4-3-09 9:00	41.26	41.89	40.28	38.99	41.14
4-3-09 10:00	40.9	41.4	40.5	40.1	40.93
4-3-09 11:00	39.83	41.65	40.84	40.11	40.77
4-3-09 12:00	39.28	41.35	40.1	40.66	40.24
4-3-09 13:00	38.5	41.4	39.8	40.2	39.9
4-3-09 14:00	39.21	40.97	39.46	40.19	39.88
4-3-09 15:00	39.24	41.27	40.85	40	40.45
4-3-09 16:00	38.9	41.11	40.4	39.85	40.14
4-3-09 17:00	39.31	40.25	39.88	39.76	39.81
4-3-09 18:00	39.84	41.27	40.19	39.17	40.43
4-3-09 19:00	39.57	40.55	39.84	39.23	39.99
5-3-09 7:00	40.56	41.86	41.23	40.85	41.22
5-3-09 8:00	39.85	41.23	40.68	40.06	40.59
5-3-09 9:00	39.28	41.57	40.56	41.26	40.47
5-3-09 10:00	40.9	42.7	41.6	41.8	41.73
5-3-09 11:00	40.59	41.28	39.89	40.67	40.59
5-3-09 12:00	40.89	42.99	40.25	41.56	41.38
5-3-09 13:00	40.8	41.5	41.1	41.6	41.13
5-3-09 14:00	40.89	42.6	41.58	41.57	41.69
5-3-09 15:00	39.91	41.85	40.45	40.57	40.74
5-3-09 16:00	40.28	42.19	41.13	40.21	41.2
5-3-09 17:00	40.25	41.29	40.59	40.16	40.71
5-3-09 18:00	39.94	42.18	41.72	41.25	41.28
5-3-09 19:00	40.19	41.88	40.36	41.72	40.81
6-3-09 7:00	40.89	41.59	40.35	40.28	40.94
6-3-09 8:00	39.87	42.86	40.29	41.2	41.01
6-3-09 9:00	40.29	41.95	40.59	40.5	40.94
6-3-09 10:00	41.8	42.5	41.1	41.5	41.8
6-3-09 11:00	39.45	42.16	41.73	40.69	41.11
6-3-09 12:00	39.88	42.56	41.63	41.33	41.36
6-3-09 13:00	40.5	41.5	42.6	41.86	41.53
6-3-09 14:00	40.15	42.66	40.82	41.57	41.21
6-3-09 15:00	40.86	42.5	41.23	40.85	41.53
6-3-09 16:00	39.84	41.8	40.85	39.5	40.83
6-3-09 17:00	40.13	41.68	41.75	41.7	41.19
6-3-09 18:00	40.27	42.8	41.53	41.8	41.53
6-3-09 19:00	40.82	42.85	41.57	41.89	41.75

Anexo 11: Datos obtenidos del Amperímetro de Gancho.
[\(Volver\)](#)

	Corriente	Motor 2PD32			
Fecha	I _{A-B}	I _{B-C}	I _{C-A}	I _{Comp}	I _{PROM}
	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)
4-3-09 7:00	39,16	41,22	39,49	40,96	39,956667
4-3-09 8:00	40,06	42,31	40,14	39,81	40,836667
4-3-09 9:00	39,67	41,68	39,57	40,28	40,306667
4-3-09 10:00	40,5	42,5	40,4	40,2	41,133333
4-3-09 11:00	40,29	41,34	40,25	40,61	40,626667
4-3-09 12:00	40,21	41,13	40,16	39,94	40,5
4-3-09 13:00	40,1	42,7	40,1	40,6	40,966667
4-3-09 14:00	40,16	41,23	40,16	39,86	40,516667
4-3-09 15:00	40,73	41,33	40,19	39,89	40,75
4-3-09 16:00	39,97	41,26	40,09	40,57	40,44
4-3-09 17:00	40,16	41,27	40,1	39,93	40,51
4-3-09 18:00	40,16	41,26	40,43	40,24	40,616667
4-3-09 19:00	40,52	41,37	41,09	40,16	40,993333
5-3-09 7:00	40,26	42,06	40,8	40,23	41,04
5-3-09 8:00	39,86	41,64	41,03	40,59	40,843333
5-3-09 9:00	40,87	41,98	40,27	40,21	41,04
5-3-09 10:00	41,31	43,13	41	41,5	41,813333
5-3-09 11:00	41,26	42,38	40,59	41,24	41,41
5-3-09 12:00	40,2	41,89	39,9	40,98	40,663333
5-3-09 13:00	41,3	43,5	41	41,75	41,933333
5-3-09 14:00	40,1	41,47	39,79	39,87	40,453333
5-3-09 15:00	39,86	40,33	38,9	39,17	39,696667
5-3-09 16:00	39,86	40,12	39,26	39,17	39,746667
5-3-09 17:00	38,59	40,46	39,57	38,26	39,54
5-3-09 18:00	39,25	40,16	38,76	38,64	39,39
5-3-09 19:00	40,32	40,89	39,46	39,27	40,223333
6-3-09 7:00	40,34	42,56	39,89	40,16	40,93
6-3-09 8:00	40,84	42,76	40,26	40,56	41,286667
6-3-09 9:00	40,87	42,68	40,54	41,24	41,363333
6-3-09 10:00	41,8	44,2	41,4	41,5	42,466667
6-3-09 11:00	41,24	43,75	41,5	41,46	42,163333
6-3-09 12:00	40,42	42,98	41,56	41,57	41,653333
6-3-09 13:00	40,5	43,5	39,9	41,15	41,3
6-3-09 14:00	40,16	42,56	40,37	41,24	41,03
6-3-09 15:00	39,46	42,78	40,08	40,27	40,773333
6-3-09 16:00	40,06	42,98	41,05	41,09	41,363333
6-3-09 17:00	41,24	43,25	41,86	42,13	42,116667
6-3-09 18:00	41,29	43,28	40,57	41,37	41,713333
6-3-09 19:00	40,34	41,37	39,28	40,13	40,33

Anexo 12: Datos obtenidos del Amperímetro de Gancho.

[\(Volver\)](#)

	Corriente	Motor 2PD33			
Fecha	I _A	I _{B-C}	I _{C-A}	I _{Comp}	I _{PROM}
	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)
4-3-09 7:00	37.26	39.13	36.4	37.21	37.596667
4-3-09 8:00	36.26	38.39	38.29	37.26	37.646667
4-3-09 9:00	37.37	38.26	37.29	37.27	37.64
4-3-09 10:00	36.89	38.9	39.1	38.5	38.296667
4-3-09 11:00	37.46	39.43	37.16	38.29	38.016667
4-3-09 12:00	36.29	38.29	37.67	37.06	37.416667
4-3-09 13:00	36.8	39.6	38.5	38.6	38.3
4-3-09 14:00	37.34	38.29	38.29	38.2	37.973333
4-3-09 15:00	37.37	39.85	38.23	38.27	38.483333
4-3-09 16:00	37.33	39.85	38.61	37.99	38.596667
4-3-09 17:00	37.24	38.86	38.34	38.53	38.146667
4-3-09 18:00	37.2	39.1	38.16	37.86	38.153333
4-3-09 19:00	36.53	39.26	37.21	37.1	37.666667
5-3-09 7:00	37.26	39.13	36.4	37.21	37.596667
5-3-09 8:00	36.26	38.39	38.29	37.26	37.646667
5-3-09 9:00	37.37	38.26	37.29	37.27	37.64
5-3-09 10:00	36.89	38.9	39.1	38.5	38.296667
5-3-09 11:00	37.46	39.43	37.16	38.29	38.016667
5-3-09 12:00	36.29	38.29	37.67	37.06	37.416667
5-3-09 13:00	36.8	39.6	38.5	38.6	38.3
5-3-09 14:00	37.34	38.29	38.29	38.2	37.973333
5-3-09 15:00	37.37	39.85	38.23	38.27	38.483333
5-3-09 16:00	37.33	39.85	38.61	37.99	38.596667
5-3-09 17:00	37.24	38.86	38.34	38.53	38.146667
5-3-09 18:00	37.2	39.1	38.16	37.86	38.153333
5-3-09 19:00	36.53	39.26	37.21	37.1	37.666667
6-3-09 7:00	37.8	39.26	37.21	37.16	38.09
6-3-09 8:00	36.16	40.5	37.29	36.98	37.983333
6-3-09 9:00	37.19	39.67	37.24	37.84	38.033333
6-3-09 10:00	37.3	39	38	38.3	38.1
6-3-09 11:00	37.25	39.64	37.54	37.16	38.143333
6-3-09 12:00	37.29	39.3	37.5	37.44	38.03
6-3-09 13:00	37.4	39	38	38.3	38.133333
6-3-09 14:00	37.26	39.86	37.26	37.25	38.126667
6-3-09 15:00	37.96	39.24	37.59	37.61	38.263333
6-3-09 16:00	37.86	39.24	37.64	37.35	38.246667
6-3-09 17:00	36.9	38.9	37.68	37.26	37.826667
6-3-09 18:00	38.29	40.64	38.16	38.2	39.03
6-3-09 19:00	37	39.15	37.16	37.6	37.77

Anexo 13: Datos Obtenidos del Tacómetro óptico.

[\(Volver\)](#)

	Velocidad del rotor			
Fecha	1PD32	1PD33	2PD32	2PD33
4-3-09 7:00	888.64	891.5	884.32	890.3
4-3-09 8:00	887.14	889.6	886.53	888.9
4-3-09 9:00	889.23	888.61	888.42	889.8
4-3-09 10:00	890.3	890.6	885.32	891.25
4-3-09 11:00	887.26	890.5	887.6	890.6
4-3-09 12:00	889.3	889.37	889.22	890.4
4-3-09 13:00	890	890.5	890.5	891.1
4-3-09 14:00	888.9	888.9	888.65	889.5
4-3-09 15:00	887.57	889.26	890.13	890.4
4-3-09 16:00	889.12	889.24	887.41	889.75
4-3-09 17:00	887.24	890.4	888.34	890.2
4-3-09 18:00	888.81	888.57	886.51	889.7
4-3-09 19:00	889	890.56	887.95	889.6
5-3-09 7:00	888.65	889.6	885.54	890.3
5-3-09 8:00	889.66	888.56	887.23	888.9
5-3-09 9:00	888.16	888.9	890.15	889.8
5-3-09 10:00	890.3	890.5	888.3	891.25
5-3-09 11:00	888.24	890.1	889.26	890.6
5-3-09 12:00	887.86	889.1	888.64	890.4
5-3-09 13:00	890	891	889.1	891.1
5-3-09 14:00	889.3	888	886.46	889.5
5-3-09 15:00	889.47	889.5	887.9	890.4
5-3-09 16:00	888.14	890.16	889.24	889.75
5-3-09 17:00	888.69	889.56	890.5	890.2
5-3-09 18:00	889.4	890.2	889.46	889.7
5-3-09 19:00	888.77	889.89	890.7	889.6
6-3-09 7:00	887.97	888.5	890.2	890.12
6-3-09 8:00	889.63	889.81	889.23	889.34
6-3-09 9:00	888.39	889.96	889.15	886.49
6-3-09 10:00	886.5	890	895	898
6-3-09 11:00	887.13	892.11	888.3	890.2
6-3-09 12:00	888.34	891	885.16	890.5
6-3-09 13:00	886.5	891.2	891.6	890.1
6-3-09 14:00	888.6	887.9	889.78	890.4
6-3-09 15:00	887.38	888.8	886.59	889.4
6-3-09 16:00	886.15	889.24	886.34	889.6
6-3-09 17:00	889.26	887.59	891.4	889.4
6-3-09 18:00	889.35	889.87	889.74	890.4
6-3-09 19:00	888.2	890.74	889.47	889.8

Anexo 14: Valores obtenidos a partir de las mediciones directas. [\(Volver\)](#)

Motor 1PD32

Fecha	P1	P2	Eficiencia	Q	S
	(kW)	(kW)	(%)	(kVAR)	(kVA)
4-3-09 7:00	22,2301	19,9163	89,5917	16,6725	27,7876
4-3-09 8:00	22,6680	20,3087	89,5917	17,0010	28,3350
4-3-09 9:00	22,8171	20,4422	89,5917	17,1128	28,5213
4-3-09 10:00	22,6595	20,3010	89,5917	16,9946	28,3244
4-3-09 11:00	22,7415	20,3745	89,5917	17,0561	28,4268
4-3-09 12:00	22,6948	20,3327	89,5917	17,0211	28,3685
4-3-09 13:00	22,9422	20,5543	89,5917	17,2066	28,6777
4-3-09 14:00	22,7535	20,3852	89,5917	17,0651	28,4418
4-3-09 15:00	22,4058	20,0738	89,5917	16,8044	28,0073
4-3-09 16:00	22,8116	20,4373	89,5917	17,1087	28,5144
4-3-09 17:00	22,6069	20,2539	89,5917	16,9552	28,2586
4-3-09 18:00	22,9447	20,5565	89,5917	17,2085	28,6808
4-3-09 19:00	22,5384	20,1926	89,5917	16,9038	28,1730
5-3-09 7:00	22,2301	19,9163	89,5917	16,6725	27,7876
5-3-09 8:00	22,6680	20,3087	89,5917	17,0010	28,3350
5-3-09 9:00	22,8171	20,4422	89,5917	17,1128	28,5213
5-3-09 10:00	22,6595	20,3010	89,5917	16,9946	28,3244
5-3-09 11:00	22,7415	20,3745	89,5917	17,0561	28,4268
5-3-09 12:00	22,6948	20,3327	89,5917	17,0211	28,3685
5-3-09 13:00	22,9422	20,5543	89,5917	17,2066	28,6777
5-3-09 14:00	22,7535	20,3852	89,5917	17,0651	28,4418
5-3-09 15:00	22,4058	20,0738	89,5917	16,8044	28,0073
5-3-09 16:00	22,8116	20,4373	89,5917	17,1087	28,5144
5-3-09 17:00	22,6069	20,2539	89,5917	16,9552	28,2586
5-3-09 18:00	22,9447	20,5565	89,5917	17,2085	28,6808
5-3-09 19:00	22,5384	20,1926	89,5917	16,9038	28,1730
6-3-09 7:00	23,6590	21,1965	89,5917	17,7443	29,5738
6-3-09 8:00	22,8604	20,4810	89,5917	17,1453	28,5755
6-3-09 9:00	22,9806	20,5887	89,5917	17,2355	28,7258
6-3-09 10:00	23,3995	20,9640	89,5917	17,5496	29,2493
6-3-09 11:00	22,7595	20,3906	89,5917	17,0696	28,4494
6-3-09 12:00	22,9130	20,5281	89,5917	17,1847	28,6412
6-3-09 13:00	23,2779	20,8551	89,5917	17,4584	29,0974
6-3-09 14:00	22,9327	20,5458	89,5917	17,1995	28,6659
6-3-09 15:00	22,8888	20,5065	89,5917	17,1666	28,6110
6-3-09 16:00	22,6974	20,3350	89,5917	17,0231	28,3718
6-3-09 17:00	23,1082	20,7030	89,5917	17,3311	28,8852
6-3-09 18:00	23,3134	20,8869	89,5917	17,4851	29,1418
6-3-09 19:00	23,0937	20,6900	89,5917	17,3203	28,8671

Anexo 15: Valores obtenidos a partir de las mediciones directas.

Motor 1PD33

[\(Volver\)](#)

Fecha	P1	P2	Eficiencia	Q	S
	(kW)	(kW)	(%)	(kVAR)	(kVA)
4-3-09 7:00	21,311352	19,093201	89,591693	15,983514	26,63919041
4-3-09 8:00	21,770698	19,504737	89,591693	16,328023	27,21337218
4-3-09 9:00	21,610263	19,361001	89,591693	16,207697	27,0128289
4-3-09 10:00	21,427898	19,197617	89,591693	16,070924	26,78487264
4-3-09 11:00	21,354727	19,132061	89,591693	16,016045	26,69340846
4-3-09 12:00	21,088662	18,893689	89,591693	15,816496	26,36082732
4-3-09 13:00	20,85826	18,687268	89,591693	15,643695	26,07282505
4-3-09 14:00	20,979031	18,795469	89,591693	15,734273	26,22378854
4-3-09 15:00	21,176858	18,972706	89,591693	15,882644	26,47107257
4-3-09 16:00	21,012531	18,825483	89,591693	15,759399	26,26566432
4-3-09 17:00	20,928744	18,750416	89,591693	15,696558	26,1609298
4-3-09 18:00	21,270533	19,05663	89,591693	15,952899	26,58816563
4-3-09 19:00	21,011399	18,824468	89,591693	15,758549	26,26424884
5-3-09 7:00	21,904977	19,62504	89,591693	16,428733	27,381221
5-3-09 8:00	21,573457	19,328026	89,591693	16,180093	26,96682161
5-3-09 9:00	21,476692	19,241332	89,591693	16,107519	26,84586508
5-3-09 10:00	22,182374	19,873564	89,591693	16,63678	27,72796724
5-3-09 11:00	21,571906	19,326636	89,591693	16,178929	26,9648824
5-3-09 12:00	22,030967	19,737916	89,591693	16,523225	27,5387089
5-3-09 13:00	21,9144	19,633482	89,591693	16,4358	27,39300046
5-3-09 14:00	22,218314	19,905763	89,591693	16,663735	27,77289197
5-3-09 15:00	21,71768	19,457238	89,591693	16,28826	27,14710051
5-3-09 16:00	21,891224	19,612718	89,591693	16,418418	27,36403016
5-3-09 17:00	21,717853	19,457392	89,591693	16,28839	27,14731607
5-3-09 18:00	21,933199	19,650324	89,591693	16,449899	27,4164983
5-3-09 19:00	21,703074	19,444152	89,591693	16,277306	27,12884287
6-3-09 7:00	21,856123	19,581271	89,591693	16,392092	27,3201538
6-3-09 8:00	21,848352	19,574308	89,591693	16,386264	27,31043992
6-3-09 9:00	21,841923	19,568549	89,591693	16,381442	27,30240367
6-3-09 10:00	22,324168	20,0006	89,591693	16,743126	27,90520989
6-3-09 11:00	21,940283	19,656671	89,591693	16,455212	27,42535333
6-3-09 12:00	22,067567	19,770707	89,591693	16,550675	27,58445831
6-3-09 13:00	22,141275	19,836743	89,591693	16,605956	27,67659331
6-3-09 14:00	21,940132	19,656536	89,591693	16,455099	27,42516548
6-3-09 15:00	22,142411	19,837761	89,591693	16,606808	27,67801376
6-3-09 16:00	21,790675	19,522634	89,591693	16,343006	27,23834341
6-3-09 17:00	21,786132	19,518564	89,591693	16,339599	27,23266462
6-3-09 18:00	22,089095	19,789994	89,591693	16,566821	27,61136857
6-3-09 19:00	22,221489	19,908608	89,591693	16,666117	27,77686166

Anexo 16: Valores obtenidos a partir de las mediciones directas.

Motor 2PD32

[\(Volver\)](#)

Fecha	P1	P2	Eficiencia	Q	S
	(kW)	(kW)	(%)	(kVAR)	(kVA)
4-3-09 7:00	21,054863	18,863408	89,591693	15,791147	26,31857866
4-3-09 8:00	21,603674	19,355097	89,591693	16,202755	27,0045921
4-3-09 9:00	21,241805	19,030893	89,591693	15,931354	26,55225596
4-3-09 10:00	21,726681	19,465301	89,591693	16,295011	27,1583511
4-3-09 11:00	21,456616	19,223345	89,591693	16,092462	26,82076967
4-3-09 12:00	21,378221	19,15311	89,591693	16,033666	26,72277617
4-3-09 13:00	21,496246	19,258851	89,591693	16,122184	26,87030727
4-3-09 14:00	21,328195	19,108291	89,591693	15,996146	26,66024396
4-3-09 15:00	21,450558	19,217918	89,591693	16,087919	26,81319769
4-3-09 16:00	21,384475	19,158713	89,591693	16,038356	26,73059322
4-3-09 17:00	21,390398	19,16402	89,591693	16,042799	26,73799807
4-3-09 18:00	21,532492	19,291324	89,591693	16,149369	26,91561441
4-3-09 19:00	21,789727	19,521786	89,591693	16,342295	27,23715902
5-3-09 7:00	21,912459	19,631743	89,591693	16,434344	27,39057314
5-3-09 8:00	21,622054	19,371564	89,591693	16,21654	27,02756725
5-3-09 9:00	21,749975	19,486171	89,591693	16,312482	27,18746931
5-3-09 10:00	22,319456	19,996379	89,591693	16,739592	27,89932027
5-3-09 11:00	21,984768	19,696526	89,591693	16,488576	27,48096025
5-3-09 12:00	21,516855	19,277315	89,591693	16,137641	26,89606864
5-3-09 13:00	22,323383	19,999897	89,591693	16,742537	27,90422848
5-3-09 14:00	21,406874	19,178781	89,591693	16,055156	26,75859273
5-3-09 15:00	20,935223	18,756221	89,591693	15,701417	26,16902874
5-3-09 16:00	21,164028	18,961211	89,591693	15,873021	26,45503494
5-3-09 17:00	21,023513	18,835322	89,591693	15,767635	26,27939176
5-3-09 18:00	20,940096	18,760586	89,591693	15,705072	26,17511949
5-3-09 19:00	21,349577	19,127447	89,591693	16,012182	26,68697076
6-3-09 7:00	21,756304	19,491841	89,591693	16,317228	27,19538039
6-3-09 8:00	22,056022	19,760363	89,591693	16,542016	27,57002696
6-3-09 9:00	21,935627	19,652499	89,591693	16,45172	27,41953351
6-3-09 10:00	22,539538	20,193553	89,591693	16,904653	28,17442219
6-3-09 11:00	22,341967	20,016546	89,591693	16,756475	27,92745851
6-3-09 12:00	22,047043	19,752319	89,591693	16,535282	27,55880402
6-3-09 13:00	21,862124	19,586647	89,591693	16,396593	27,3276553
6-3-09 14:00	21,716315	19,456014	89,591693	16,287236	27,14539401
6-3-09 15:00	21,551927	19,308737	89,591693	16,163945	26,9399091
6-3-09 16:00	21,971528	19,684664	89,591693	16,478646	27,4644101
6-3-09 17:00	22,33625	20,011424	89,591693	16,752187	27,92031205
6-3-09 18:00	22,053325	19,757947	89,591693	16,539994	27,56665623
6-3-09 19:00	21,26807	19,054424	89,591693	15,951053	26,58508793

Anexo 17: Valores obtenidos a partir de las mediciones directas.

Motor 2PD33 [\(Volver\)](#)

Fecha	P1	P2	Eficiencia	Q	S
	(kW)	(kW)	(%)	(kVAR)	(kVA)
4-3-09 7:00	19,864532	17,796971	89,591693	14,898399	24,830665
4-3-09 8:00	20,078356	17,988539	89,591693	15,058767	25,097945
4-3-09 9:00	20,039594	17,953812	89,591693	15,029696	25,049493
4-3-09 10:00	20,518604	18,382965	89,591693	15,388953	25,648256
4-3-09 11:00	20,344551	18,227028	89,591693	15,258413	25,430689
4-3-09 12:00	19,884009	17,81442	89,591693	14,913007	24,855011
4-3-09 13:00	20,602174	18,457837	89,591693	15,451631	25,752718
4-3-09 14:00	20,141207	18,044849	89,591693	15,105905	25,176509
4-3-09 15:00	20,433025	18,306293	89,591693	15,324769	25,541281
4-3-09 16:00	20,433579	18,306789	89,591693	15,325184	25,541973
4-3-09 17:00	20,255722	18,147444	89,591693	15,191792	25,319653
4-3-09 18:00	20,326315	18,21069	89,591693	15,244737	25,407894
4-3-09 19:00	19,946879	17,870747	89,591693	14,960159	24,933599
5-3-09 7:00	19,864532	17,796971	89,591693	14,898399	24,830665
5-3-09 8:00	20,078356	17,988539	89,591693	15,058767	25,097945
5-3-09 9:00	20,039594	17,953812	89,591693	15,029696	25,049493
5-3-09 10:00	20,518604	18,382965	89,591693	15,388953	25,648256
5-3-09 11:00	20,344551	18,227028	89,591693	15,258413	25,430689
5-3-09 12:00	19,884009	17,81442	89,591693	14,913007	24,855011
5-3-09 13:00	20,602174	18,457837	89,591693	15,451631	25,752718
5-3-09 14:00	20,141207	18,044849	89,591693	15,105905	25,176509
5-3-09 15:00	20,433025	18,306293	89,591693	15,324769	25,541281
5-3-09 16:00	20,433579	18,306789	89,591693	15,325184	25,541973
5-3-09 17:00	20,255722	18,147444	89,591693	15,191792	25,319653
5-3-09 18:00	20,326315	18,21069	89,591693	15,244737	25,407894
5-3-09 19:00	19,946879	17,870747	89,591693	14,960159	24,933599
6-3-09 7:00	20,266403	18,157014	89,591693	15,199802	25,333004
6-3-09 8:00	20,189229	18,087872	89,591693	15,141921	25,236536
6-3-09 9:00	20,158901	18,060701	89,591693	15,119176	25,198626
6-3-09 10:00	20,223031	18,118156	89,591693	15,167274	25,278789
6-3-09 11:00	20,289858	18,178028	89,591693	15,217394	25,362323
6-3-09 12:00	20,227397	18,122068	89,591693	15,170548	25,284247
6-3-09 13:00	20,264542	18,155346	89,591693	15,198406	25,330677
6-3-09 14:00	20,242447	18,135551	89,591693	15,181835	25,303059
6-3-09 15:00	20,371097	18,250811	89,591693	15,278323	25,463871
6-3-09 16:00	20,310276	18,19632	89,591693	15,232707	25,387845
6-3-09 17:00	20,082047	17,991846	89,591693	15,061535	25,102559
6-3-09 18:00	20,639847	18,491589	89,591693	15,479885	25,799809
6-3-09 19:00	20,032426	17,94739	89,591693	15,02432	25,040533

Anexo 18: Valores obtenidos a partir de las mediciones directas. [\(Volver\)](#)

Fecha	1PD32	1PD33	2PD32	2PD33
	s (u)	s (u)	s (u)	s (u)
4-3-09 7:00	0,0126222	0,0094444	0,0174222	0,0107778
4-3-09 8:00	0,0142889	0,0115556	0,0149667	0,0123333
4-3-09 9:00	0,0119667	0,0126556	0,0128667	0,0113333
4-3-09 10:00	0,0107778	0,0104444	0,0163111	0,0097222
4-3-09 11:00	0,0141556	0,0105556	0,0137778	0,0104444
4-3-09 12:00	0,0118889	0,0118111	0,0119778	0,0106667
4-3-09 13:00	0,0111111	0,0105556	0,0105556	0,0098889
4-3-09 14:00	0,0123333	0,0123333	0,0126111	0,0116667
4-3-09 15:00	0,0138111	0,0119333	0,0109667	0,0106667
4-3-09 16:00	0,0120889	0,0119556	0,0139889	0,0113889
4-3-09 17:00	0,0141778	0,0106667	0,0129556	0,0108889
4-3-09 18:00	0,0124333	0,0127	0,0149889	0,0114444
4-3-09 19:00	0,0122222	0,0104889	0,0133889	0,0115556
5-3-09 7:00	0,0126111	0,0115556	0,0160667	0,0107778
5-3-09 8:00	0,0114889	0,0127111	0,0141889	0,0123333
5-3-09 9:00	0,0131556	0,0123333	0,0109444	0,0113333
5-3-09 10:00	0,0107778	0,0105556	0,013	0,0097222
5-3-09 11:00	0,0130667	0,011	0,0119333	0,0104444
5-3-09 12:00	0,0134889	0,0121111	0,0126222	0,0106667
5-3-09 13:00	0,0111111	0,01	0,0121111	0,0098889
5-3-09 14:00	0,0118889	0,0133333	0,0150444	0,0116667
5-3-09 15:00	0,0117	0,0116667	0,0134444	0,0106667
5-3-09 16:00	0,0131778	0,0109333	0,0119556	0,0113889
5-3-09 17:00	0,0125667	0,0116	0,0105556	0,0108889
5-3-09 18:00	0,0117778	0,0108889	0,0117111	0,0114444
5-3-09 19:00	0,0124778	0,0112333	0,0103333	0,0115556
6-3-09 7:00	0,0133667	0,0127778	0,0108889	0,0109778
6-3-09 8:00	0,0115222	0,0113222	0,0119667	0,0118444
6-3-09 9:00	0,0129	0,0111556	0,0120556	0,0150111
6-3-09 10:00	0,015	0,0111111	0,0055556	0,0022222
6-3-09 11:00	0,0143	0,0087667	0,013	0,0108889
6-3-09 12:00	0,0129556	0,01	0,0164889	0,0105556
6-3-09 13:00	0,015	0,0097778	0,0093333	0,011
6-3-09 14:00	0,0126667	0,0134444	0,0113556	0,0106667
6-3-09 15:00	0,0140222	0,0124444	0,0149	0,0117778
6-3-09 16:00	0,0153889	0,0119556	0,0151778	0,0115556
6-3-09 17:00	0,0119333	0,0137889	0,0095556	0,0117778
6-3-09 18:00	0,0118333	0,0112556	0,0114	0,0106667
6-3-09 19:00	0,0131111	0,0102889	0,0117	0,0113333

Anexo 19: Datos obtenidos del Factory Trend en horario diurno. [\(Volver\)](#)

Bloque 1

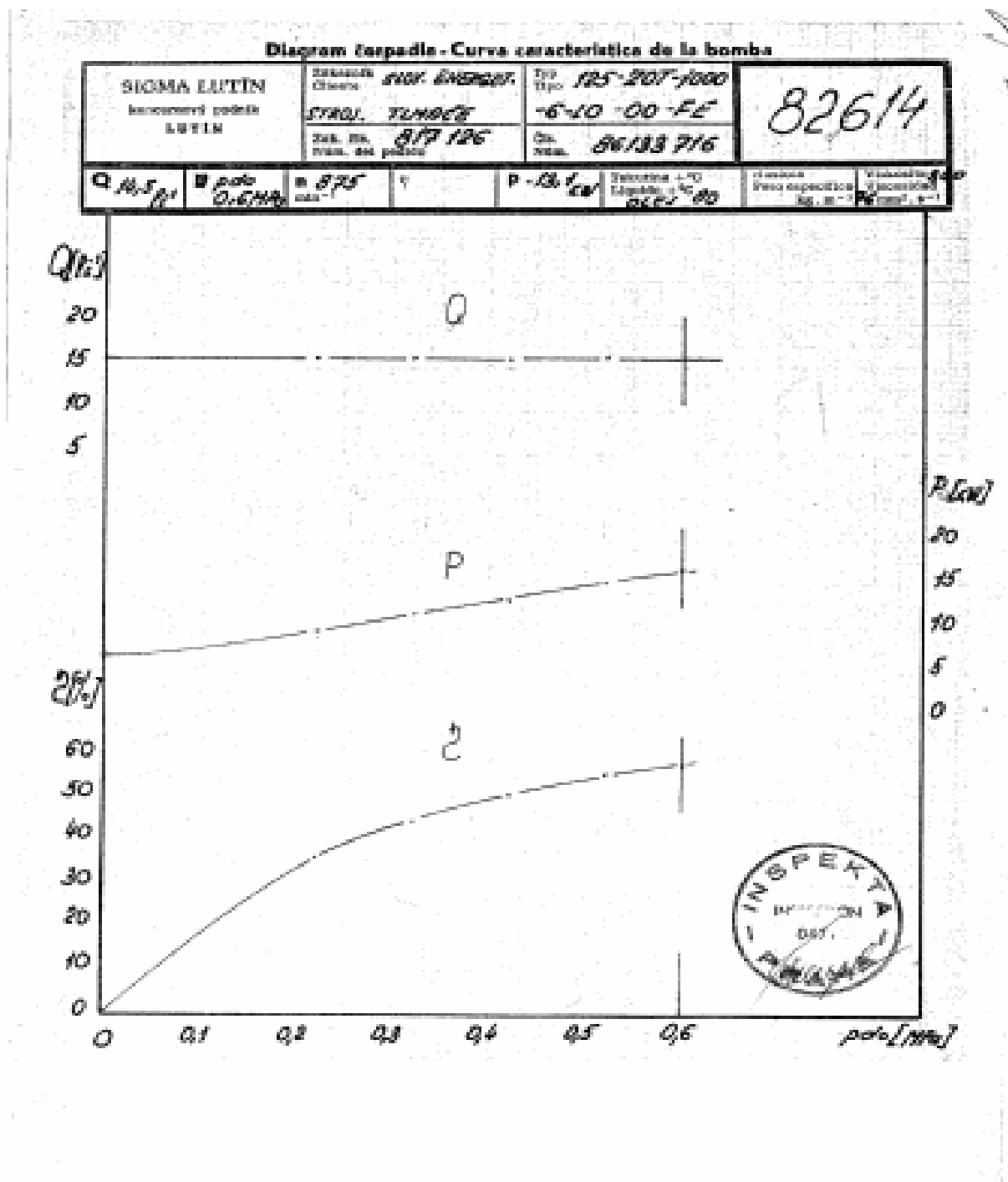
Fecha	Carga Bloque (MW)	Flujo combinado (L/min)	Apertura Válvula (%)
4-3-09 7:00	134,55	739,7	55,05
4-3-09 8:00	174,6	880,75	43,15
4-3-09 9:00	174,15	877,5	43,5
4-3-09 10:00	184,2	936,65	37,9
4-3-09 11:00	184,2	947,05	37,3
4-3-09 12:00	183,9	939,9	37,2
4-3-09 13:00	193,2	1002,3	31,75
4-3-09 14:00	188,25	949,65	37,15
4-3-09 15:00	188,25	963,95	34,65
4-3-09 16:00	191,55	986,7	34,1
4-3-09 17:00	193,2	980,2	33,5
4-3-09 18:00	187,95	958,75	35,85
4-3-09 19:00	193,05	991,25	33,05
5-3-09 7:00	134,55	739,7	55,05
5-3-09 8:00	174,6	880,75	43,15
5-3-09 9:00	174,15	877,5	43,5
5-3-09 10:00	184,2	936,65	37,9
5-3-09 11:00	184,2	947,05	37,3
5-3-09 12:00	183,9	939,9	37,2
5-3-09 13:00	193,2	1002,3	31,75
5-3-09 14:00	188,25	949,65	37,15
5-3-09 15:00	188,25	963,95	34,65
5-3-09 16:00	191,55	986,7	34,1
5-3-09 17:00	193,2	980,2	33,5
5-3-09 18:00	187,95	958,75	35,85
5-3-09 19:00	193,05	991,25	33,05
6-3-09 7:00	145,5	759,2	57,15
6-3-09 8:00	193,05	1006,85	31,5
6-3-09 9:00	192,9	988	33,35
6-3-09 10:00	192,75	995,15	33,95
6-3-09 11:00	192,75	991,25	34,6
6-3-09 11:00	192,75	991,25	34,6
6-3-09 12:00	192,45	985,4	36,25
6-3-09 13:00	184,05	931,45	41,6
6-3-09 14:00	185,4	937,95	40,4
6-3-09 15:00	183,45	952,25	38,9
6-3-09 16:00	183,9	928,2	40,75
6-3-09 17:00	183,9	939,9	40,7
6-3-09 18:00	175,05	895,7	43,65
6-3-09 19:00	193,8	1008,8	31,95

Anexo 20: Datos obtenidos del Factory Trend en horario diurno.

Bloque 2

Fecha	Carga Bloque (MW)	Flujo combinado (L/min)	Apertura Válvula (%)
4-3-09 7:00	206,7	988	61,25
4-3-09 8:00	160,2	731,9	63,9
4-3-09 9:00	148,95	699,4	68,55
4-3-09 10:00	207	995,8	62,4
4-3-09 11:00	207,15	986,7	63,2
4-3-09 12:00	196,5	919,1	53,65
4-3-09 13:00	164,1	778,7	47,35
4-3-09 14:00	166,65	763,75	65,6
4-3-09 15:00	183,45	871,65	59,75
4-3-09 16:00	179,25	833,3	61,95
4-3-09 17:00	208,2	975	51,55
4-3-09 18:00	207	965,9	57,8
4-3-09 19:00	200,1	918,45	51,45
5-3-09 7:00	206,7	988	49,75
5-3-09 8:00	160,2	731,9	71,35
5-3-09 9:00	148,95	699,4	74,45
5-3-09 10:00	207	995,8	48,25
5-3-09 11:00	207,15	986,7	50,05
5-3-09 12:00	196,5	919,1	54,55
5-3-09 13:00	164,1	778,7	67,45
5-3-09 14:00	166,65	763,75	69,95
5-3-09 15:00	183,45	871,65	59,45
5-3-09 16:00	179,25	833,3	60,8
5-3-09 17:00	208,2	975	47,9
5-3-09 18:00	207	965,9	49,25
5-3-09 19:00	200,1	918,45	53,5
6-3-09 7:00	169,2	783,25	70,05
6-3-09 8:00	200,25	924,95	52,95
6-3-09 9:00	182,85	847,6	61,1
6-3-09 10:00	200,4	930,8	56,1
6-3-09 11:00	206,55	954,2	53,6
6-3-09 12:00	201,6	962	54,15
6-3-09 13:00	177,9	781,3	70,1
6-3-09 14:00	180,15	790,4	69,65
6-3-09 15:00	195	927,55	56,4
6-3-09 16:00	200,1	931,45	57,1
6-3-09 17:00	199,8	939,9	55,9
6-3-09 18:00	172,95	819,65	65,9
6-3-09 19:00	204,9	967,2	50,75

Anexo 21: Curva característica de las bombas de engranajes estudiadas, proporcionada por el fabricante. [\(Volver\)](#)

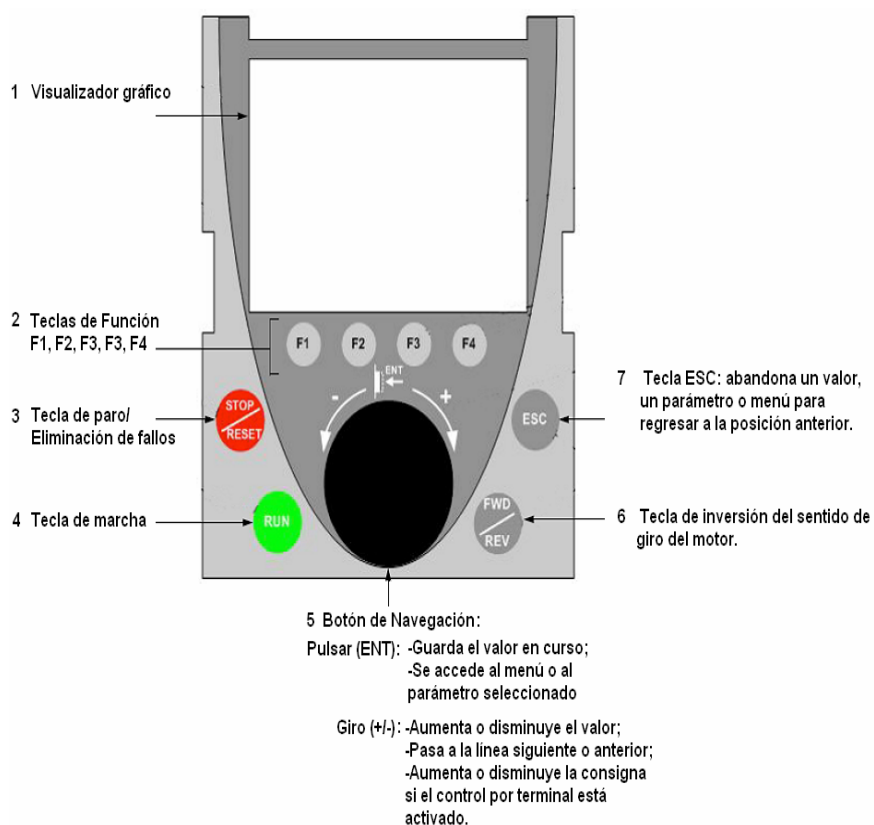


Anexo 22: Comportamiento de las variables del accionamiento con VDF.

[\(Volver\)](#)

$f_1' (Hz)$	$n_1' (rpm)$	$n_2' (rpm)$	$U' (V)$	$P_1' (kW)$	$P_2' (kW)$	$\eta' (\%)$	$Q_B (L/min)$
15	225	222,3	95,2535	5,3985	4,8421	89,6938	221,0107
16	240	237,12	101,6037	5,7584	5,1649	89,6938	235,7447
17	255	251,94	107,9540	6,1183	5,4877	89,6938	250,4787
18	270	266,76	114,3042	6,4782	5,8105	89,6938	265,2128
19	285	281,58	120,6544	6,8381	6,1333	89,6938	279,9468
20	300	296,4	127,0047	7,1980	6,4561	89,6938	294,6809
21	315	311,22	133,3549	7,5579	6,7789	89,6938	309,4149
22	330	326,04	139,7051	7,9178	7,1017	89,6938	324,1490
23	345	340,86	146,0554	8,2777	7,4245	89,6938	338,8830
24	360	355,68	152,4056	8,6376	7,7474	89,6938	353,6171
25	375	370,5	158,7558	8,9975	8,0702	89,6938	368,3511
26	390	385,32	165,1061	9,3574	8,3930	89,6938	383,0851
27	405	400,14	171,4563	9,7173	8,7158	89,6938	397,8192
28	420	414,96	177,8065	10,0771	9,0386	89,6938	412,5532
29	435	429,78	184,1568	10,4370	9,3614	89,6938	427,2873
30	450	444,6	190,5070	10,7969	9,6842	89,6938	442,0213
31	465	459,42	196,8572	11,1568	10,0070	89,6938	456,7554
32	480	474,24	203,2075	11,5167	10,3298	89,6938	471,4894
33	495	489,06	209,5577	11,8766	10,6526	89,6938	486,2235
34	510	503,88	215,9079	12,2365	10,9754	89,6938	500,9575
35	525	518,7	222,2582	12,5964	11,2982	89,6938	515,6915
36	540	533,52	228,6084	12,9563	11,6210	89,6938	530,4256
37	555	548,34	234,9586	13,3162	11,9438	89,6938	545,1596
38	570	563,16	241,3088	13,6761	12,2666	89,6938	559,8937
39	585	577,98	247,6591	14,0360	12,5894	89,6938	574,6277
40	600	592,8	254,0093	14,3959	12,9123	89,6938	589,3618
41	615	607,62	260,3595	14,7558	13,2351	89,6938	604,0958
42	630	622,44	266,7098	15,1157	13,5579	89,6938	618,8298
43	645	637,26	273,0600	15,4756	13,8807	89,6938	633,5639
44	660	652,08	279,4102	15,8355	14,2035	89,6938	648,2979
45	675	666,9	285,7605	16,1954	14,5263	89,6938	663,0320
46	690	681,72	292,1107	16,5553	14,8491	89,6938	677,7660
47	705	696,54	298,4609	16,9152	15,1719	89,6938	692,5001
48	720	711,36	304,8112	17,2751	15,4947	89,6938	707,2341
49	735	726,18	311,1614	17,6350	15,8175	89,6938	721,9682
50	750	741	317,5116	17,9949	16,1403	89,6938	736,7022
51	765	755,82	323,8619	18,3548	16,4631	89,6938	751,4362
52	780	770,64	330,2121	18,7147	16,7859	89,6938	766,1703
53	795	785,46	336,5623	19,0746	17,1087	89,6938	780,9043
54	810	800,28	342,9126	19,4345	17,4315	89,6938	795,6384
55	825	815,1	349,2628	19,7944	17,7544	89,6938	810,3724
56	840	829,92	355,6130	20,1543	18,0772	89,6938	825,1065
57	855	844,74	361,9633	20,5142	18,4000	89,6938	839,8405
58	870	859,56	368,3135	20,8741	18,7228	89,6938	854,5746
59	885	874,38	374,6637	21,2340	19,0456	89,6938	869,3086
60	900	889,2	381,0140	21,2739	19,3684	89,6938	884,0426

Anexo 23: Descripción funcional del variador seleccionado.



Nota: las teclas 3, 4, 5 y 6 permiten controlar directamente el variador, si el control por terminal está activado.

A través del terminal gráfico extraíble

Los controles de giro y las consignas (par, velocidad o PID) pueden ser controlados por el terminal gráfico. Algunas funciones de aplicación también pueden asignarse a las teclas de funciones F1, F2, F3, F4 del terminal gráfico. Se puede gestionar de diferentes formas un cambio de canal de control /o de consigna (función Bumpless).

Ejemplo: al pasar de un control por bornero a un control a través del terminal gráfico, se ofrecen dos posibilidades:

- 1- Parada del variador Altivar 71.
- 2-Continuidad del funcionamiento con copia del sentido de rotación y de la consigna.

Anexo 24: Variador de velocidad ATV71 HD55N4.

