



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

**Diseño y Construcción de una bancada para ensayos de rendimiento de
bombas centrífugas y accesorios en forma automatizada**

Hugo Fabián Danieri Salazar

**Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción”
Paraguay – Sede Regional Alto Paraná
0971 217 405; hfdanieri@gmail.com**

RESUMEN

INTRODUCCION

Este trabajo presenta un estudio para el diseño y construcción de una bancada, para ensayar bombas centrífugas y accesorios en forma automatizada, pudiendo diagnosticar el estado de la bomba, su rendimiento, sus curvas de funcionamiento y su eventual solución, en caso de que la misma no se encuentre en su P.O.R.; mediante un sistema SCADA.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño y construcción de una bancada de ensayos, para determinar el rendimiento y curvas características de una bomba centrífuga de uso industrial en forma automatizada.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Investigar sobre la caracterización de las bombas centrífugas, las normas para ensayos, necesarias para la construcción de un banco de pruebas.

Investigar sobre las diferentes formas de automatismos para la adquisición de datos del ensayo

Evaluar las limitaciones técnicas para la disposición y construcción de un banco de ensayos de bombas centrífugas;

Evaluar una forma de automatización que se adapte para el desarrollo del ensayo visando parte técnicas y económicas

Elaborar el diseño mecánico e hidráulico de un banco de ensayos ajustado a la normativa respectiva;

Elaborar la automatización del ensayo.

Implementar un banco de ensayos de bombas centrífugas; siendo la adquisición de datos realizada con un automatismo.

Realizar ensayos de diferentes bombas centrífugas de eje horizontal.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

JUSTIFICATIVAS

Todos los procesos industriales que sostienen nuestra civilización incluyen la transferencia de líquidos desde un nivel de presión o energía estática a otro. Las bombas son una parte integral de todo el desarrollo moderno, tanto económico como social.

La importancia de la caracterización de una bomba centrífuga nueva radica en la definición del rango de funcionamiento, Q (caudal) y H (altura manométrica total), esto se logra ensayando la bomba y determinando el rendimiento de la misma, verificándose así su funcionamiento o descartando su uso en la aplicación requerida.

En el caso de una bomba usada, su curva de funcionamiento se ve modificada con el tiempo de uso de la máquina, por ello se hace necesario luego de un tiempo prudencial de operación de la bomba, realizar un ensayo de la misma para conocer sus nuevas características de trabajo, para así, dependiendo del caso tomar la decisión de reemplazarla o realizar algún cambio necesario en la misma o en el sistema en el que opera.

METODOLOGIA

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

La definición de los ensayos a realizar y el diseño del sistema hidráulico, se traducirán en la búsqueda de posibles problemas y el análisis a soluciones visando alternativas técnicas y económicas.

La construcción del banco se realizará, de acuerdo, a normas internacionales para ensayos de bombas centrífugas, a los ensayos requeridos, y al sistema hidráulico obtenido, constando de un circuito recirculatorio donde las bombas a ensayar serán bombas centrífugas de eje horizontal. La selección y colocación de los equipos de control y automatización lograran resultados precisos disminuyendo los errores en las mediciones.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos fueron considerados satisfactorios, puesto que en una bomba centrífuga nueva, se pudieron verificar las curvas de funcionamiento dadas por el fabricante, es decir, se comprobó la veracidad de las hojas caracterísicas de la bomba.

En el caso de una bomba usada, o dañada, se pudo verificar su mal funcionamiento, y por lo tanto el consumo excesivo de energía para un mismo trabajo, en comparación con una bomba trabajando en su P.O.R.

El sistema SCADA, da lectura en pantalla, presión a la de entrada de la bomba, presión a la salida de la bomba, caudal de la bomba, r.p.m. de la bomba. Por

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

medio de estas variables el sistema grafica la curva de rendimiento de la bomba centrífuga ensayada.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguay
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

PALABRAS CLAVES

SCADA - Supervisión, Control y Adquisición de Datos.
r.p.m. - Revoluciones por minuto.
P.O.R. - Punto óptimo de funcionamiento

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



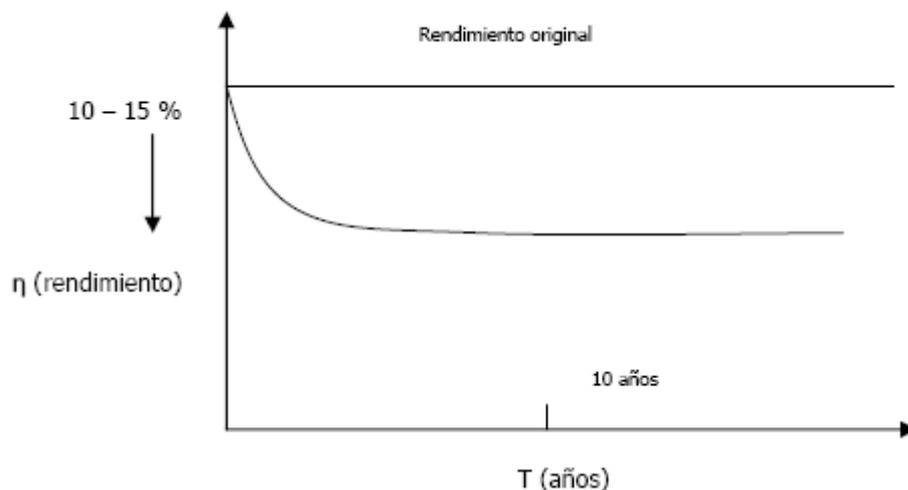
Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

PROBLEMÁTICA DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

A lo largo del ciclo de vida útil, el rendimiento de cualquier tipo de bomba centrífuga se deteriora debido principalmente a desgastes mecánicos y fenómenos de oxidación o incrustaciones. Según el “SAVE report” elaborado por la Comisión Europea los rendimientos suelen disminuir entre un 10 y un 15 por ciento en comparación con sus valores originales. Se han dado casos en donde el rendimiento ha perdido hasta un 20 por ciento en los dos primeros años de operación.

En el siguiente gráfico se ilustra la evolución típica del rendimiento en una bomba:



IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Curva del deterioro del rendimiento en bombas

Como puede observarse la disminución principal de rendimiento ocurre en los primeros cinco años de operación. [3]

CAUSAS PRINCIPALES QUE ORIGINAN PÉRDIDAS DE RENDIMIENTO

Selección errónea de la bomba: la bomba no fue elegida para su punto óptimo de rendimiento (POR), ni con los materiales adecuados al fluido que maneja. Para el ajuste del punto de funcionamiento en un gran número de casos es necesaria una válvula de regulación en la impulsión de la bomba con la consecuente pérdida energética.[3]

Deficiencias en el montaje de la bomba: que afectan principalmente al alineamiento del eje.

Colector de aspiración mal dimensionado: No se deben crear vórtices en el flujo en la tubería de aspiración de la bomba. Diámetros de tubería inadecuados pueden provocar el fenómeno de cavitación.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Purga de aire deficiente: Tan solo un 2% de aire en el fluido que se bombea puede afectar dramáticamente la operación de una bomba.

Funcionamiento en seco: Puede producir sobrecalentamientos y roturas.

Funcionamiento alejado del Punto Óptimo de Rendimiento (POR): En el POR el fluido se presuriza lo más eficientemente posible. Cuando el punto de trabajo se aleja del POR, se producen fenómenos de recirculación interna en la bomba que causan desequilibrios en los empujes que soporta. Este fenómeno incrementa la velocidad con que se deterioran los sellos mecánicos, aros de desgaste y rodamientos provocados a su vez por desalineamientos del eje.

Grasa de rodamientos contaminada: Ocasiona un desgaste más rápido de los rodamientos.

Aceite de lubricación de rodamientos contaminada: Para este tipo de rodamientos es imprescindible respetar los plazos de sustitución establecidos. Algunos ensayos han demostrado que apenas 20 ppm de agua en el aceite pueden reducir la vida media de los rodamientos de 24.000 a 2.200 horas.[3]

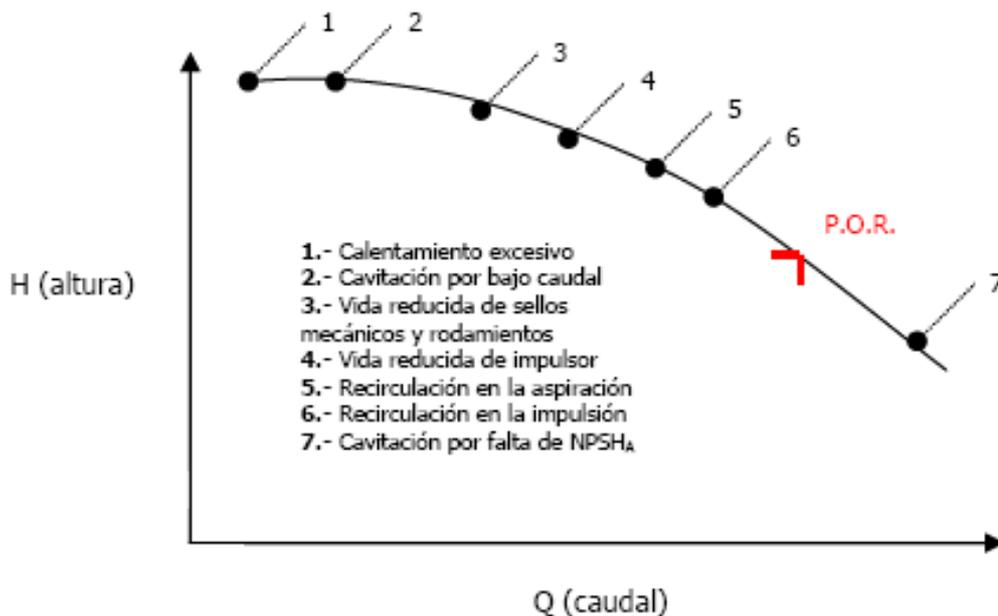
De una manera gráfica y según la guía para selección de bombas de la Asociación Europea de Fabricantes de Bombas se ilustra en la siguiente figura

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ

Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

una curva característica en donde se representan los puntos de trabajo alejados del POR y los efectos perjudiciales que ocasionan:



Efectos perjudiciales por desviaciones del Punto Óptimo de Rendimiento

CONSECUENCIAS DE LAS PÉRDIDAS DE RENDIMIENTO EN BOMBAS

En este apartado se enumeran las consecuencias que se originan por la pérdida de rendimiento y mal funcionamiento de las bombas centrífugas. Se

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

ilustrarán según las curvas características más representativas de una bomba y se relacionarán las causas más importantes que la originan, a saber:[3]

(H) Altura manométrica vs. Caudal
(P) Curva potencia absorbida vs. Caudal
(n) Rendimiento vs. Caudal

Curva característica correcta pero bajo rendimiento y alta potencia absorbida

Pérdidas mecánicas por empaquetaduras o sello mecánico apretados

Presión hidráulica excesiva contra un sello mecánico o empaquetadura

Rodamientos deficientes

Desalineación del eje

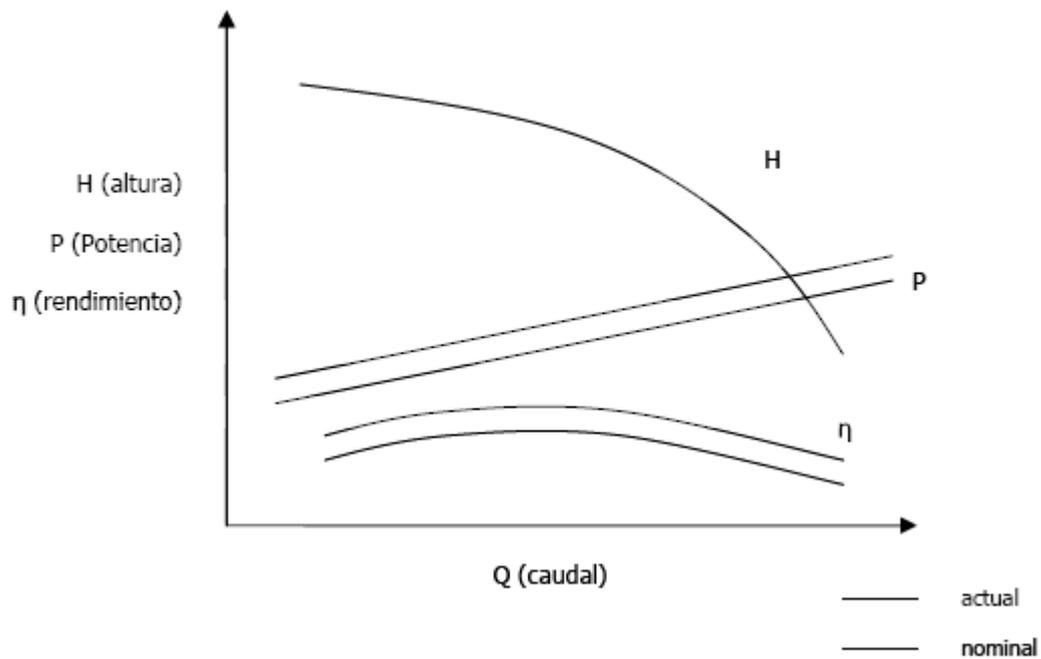
Funcionamiento cerca de la velocidad crítica

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ

Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Deformación de la carcasa por esfuerzos producidos por las tuberías o la bancada[12]



Curva característica actual y nominal de una bomba

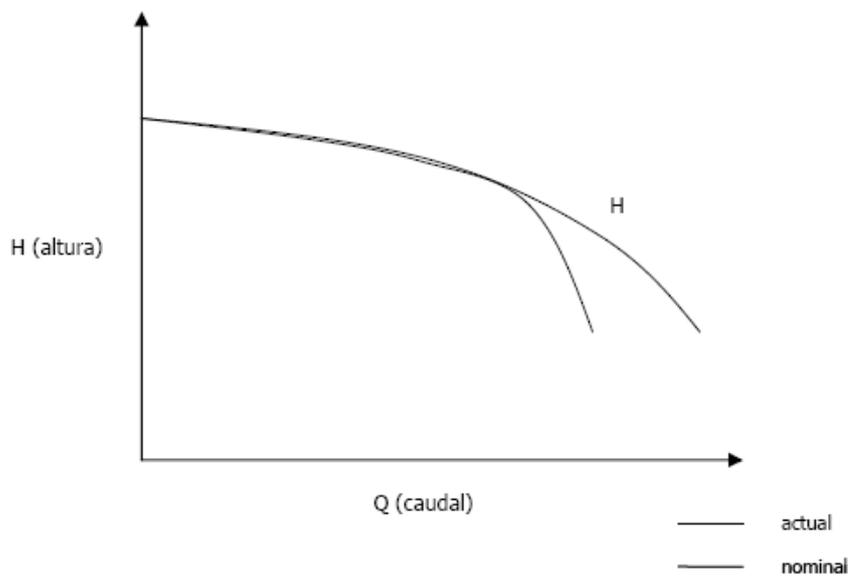
La curva característica se interrumpe antes de lo especificado

NPSH insuficiente.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ

Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010



Curva característica de una bomba con NPSH insuficiente

MÉTODO TERMODINÁMICO DE MEDICIÓN DE RENDIMIENTO

Es una herramienta muy eficaz para el mantenimiento preventivo de las bombas. El método termodinámico para la medición de rendimiento en bombas y turbinas fue desarrollado entre la década de los 60 y 70 por los siguientes organismos:

National Engineering Laboratory, UK
IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Electricité de France
Chamber of Mines, South Africa

Su estándar se ha especificado en las siguientes normativas internacionales, a saber:

ISO 5198:1999 (bombas)
IEC60041 (turbinas)

El método termodinámico es muy usado en países como el Reino Unido donde se estima que alrededor de un 95 por ciento de los nuevos equipos de bombeo son ensayados in situ de esta manera para una correcta evaluación del rendimiento.

INCERTIDUMBRE EN LOS RENDIMIENTOS GARANTIZADOS POR LOS FABRICANTES

Los ensayos que realizan los fabricantes de bombas cumplen con la norma ISO 9906:1999. En esta norma ISO se permite un error de medida (en el banco de pruebas del fabricante) del rendimiento de bombas en un rango entre +/- 3,2 y +/- 6,4 por ciento. A su vez se permite una tolerancia en las curvas de rendimiento de un 5 por ciento. Por lo tanto un fabricante podría seguir cumpliendo la garantía de rendimiento con una incertidumbre o error de hasta un 11,4 por ciento en el peor de los casos.[16]

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

INTRUMENTACIÓN

CAUDALÍMETRO

El minisonic es un medidor de caudal ultra-sónico, que permite medir la mayoría de los flujos de fluidos dentro de tuberías de 20 a 3300 mm de diámetro, de diferentes materiales como acero carbono, hierro fundido, acero inoxidable, PE, vidrio, entre otros. El caudal puede ser medido en ambas direcciones de flujo; en la posición vertical u horizontal y con una precisión de $\pm 1,0\%$. Como los sensores son montados en la superficie externa de la tubería la instalación es efectuada de modo fácil y simple, pues dispensa cualquier tipo de servicio como seccionamiento o perforación en la tubería. El proceso no sufre ninguna interrupción, ni caída de presión en el fluido por causa de la instalación de los sensores.

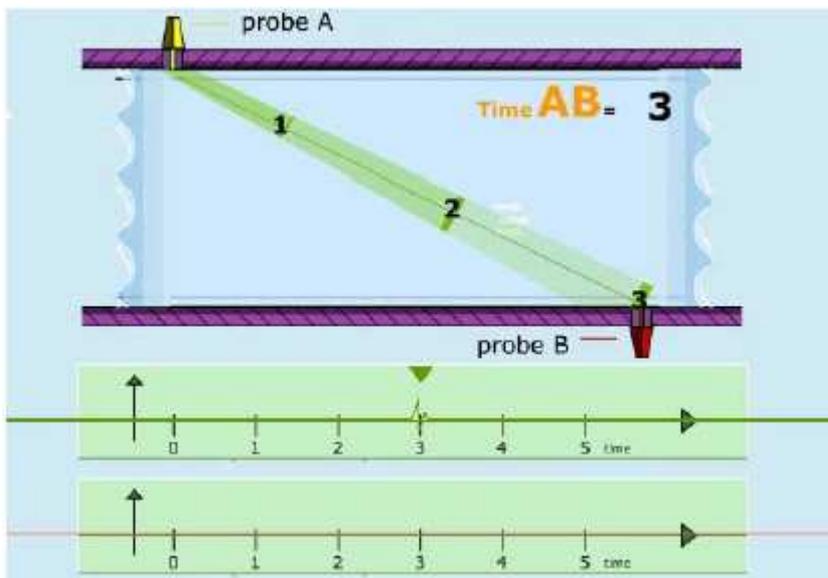
La medición hecha por la tecnología de ultra-sonido se basa en la diferencia de tiempo de tránsito que una onda sonora lleva para moverse en un medio. La medición de cuerdas comprende dos sondas opuestas (depende de la configuración del modo). La sonda ultra-sónica colocada en la montante transmite y recibe alternadamente un pulso de onda en la frecuencia de ultra-sonido, que se mueve en el ambiente hasta interceptar la otra sonda montada río arriba, la señal es reflejada de vuelta a la primera sonda. (Los tiempos de

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ

Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

transito de las señales montante/rio arriba y rio arriba/montante son diferentes, cuando existe flujo el tempo rio arriba/montante es mayor).

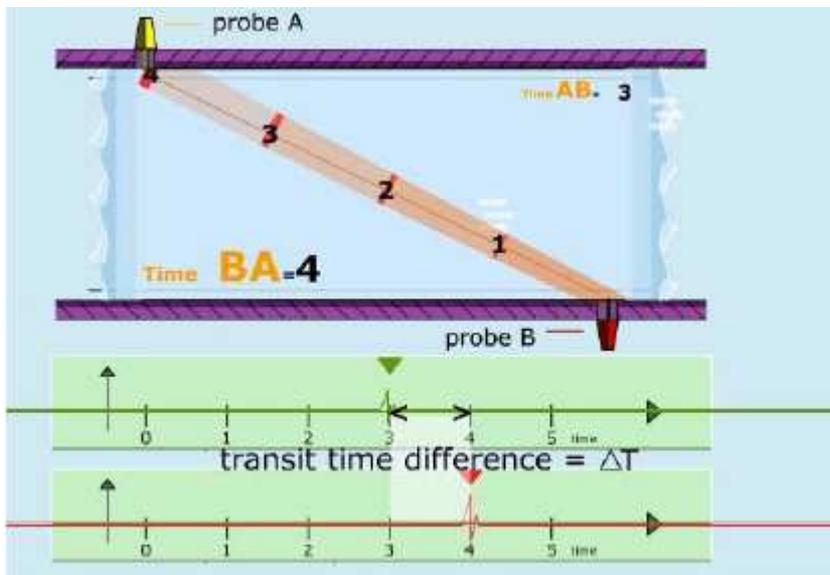


Tiempo de tránsito rio arriba/rio abajo

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ

Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010



Tiempo de tránsito río arriba/rio abajo

Por el tiempo recorrido desde la emisión de la señal hasta su retorno se puede obtener la distancia recorrida por el mismo. Así la diferencia de tiempo de tránsito será enviado a un módulo electrónico para ser procesado y de esa forma encontrar la medida de la velocidad del flujo a lo largo de la cuerda y a través de un algoritmo será convertido en caudal u otra variable asociada. El módulo electrónico es el responsable no solamente del cálculo, mas también de las otras funciones inherentes al equipamiento, tales como: linearización de

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

señal, salida 4-20 mA, indicación de la variable del proceso en unidad de ingeniería, totalización del caudal, alarma, comunicación digital, etc.

Las características principales del equipo son las siguientes:

Precisión:	+/- 1,00 % de la medición o +/- 0,5 cm/s	
Repetitividad:	0,05 %	
Temperatura de uso: Conversor	-25 a 50 °C	
Sonda padrón	-25 a 80 °C	
Sondas especiales	-100 a 180 °C	
Dimensiones y peso:	200x115x64 mm; 850 g	
Tempo de carga de la batería:	14 horas.	
Autonomía de la batería:	35 horas (sin iluminación o salida de corriente).	
Estanqueidad:	Protección IP 67	

INVERSOR DE FRECUENCIA CFW-09

El inversor de frecuencia CFW-09 es un dispositivo de alta performance lo cual permite el control de velocidad y torque de motores de inducción trifásicos. La característica principal de este dispositivo es la tecnología "Vectrue" la cual presenta las siguientes ventajas:

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Control escalar (V/F), VVW o control vectorial programables en el mismo dispositivo.

El control vectorial puede ser programado como “sensorless” (lo que significa motores padrones, sin necesidad de encoder) o como control vectorial con encoder en el motor.

El control vectorial sensorless permite alto torque y rapidez en la respuesta, mismo en velocidades muy bajas o en la partida.

Función “Frenado óptimo” para el control vectorial, permitiendo el frenado controlado del motor sin usar el resistor con chopper de frenado.

Función “Auto-Ajuste” para el control vectorial, permitiendo el ajuste automático de los reguladores y parámetros del motor y de la carga utilizados.

El inversor utilizaremos para el control de velocidad de motor eléctrico, y consecuente la velocidad de la bomba centrífuga, dando una señal a la entrada analógica del inversor, siendo esta señal de 4 a 20 mA o 0 a 10 V. Por medio del SCADA, y del PLC.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Programación del los parámetros del Inversor de frecuencia

Para la programación de la entrada digital 2, que es la que utilizaremos para controlar la velocidad del motor, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

P019, indica el valor de la entrada analógica AI2', en porcentual de fondo de escala. Los valores indicados son los valores obtenidos después de la acción de offset y de la multiplicación por la ganancia.

P133, referencia de velocidad mínima.

P134, referencia de velocidad máxima.

P222, referencia de velocidad, modo remoto, se configura este parámetro ya que trabajaremos en el modo remoto. Se debe seleccionar la opción 2, que da como referencia a la entrada analógica AI2'.

P237, función de la entrada AI2, se selecciona la opción 0, que da como referencia el parámetro P222, que a su vez está sujeto a los límites de referencia P133, P134.

P238, ganancia de la entrada AI2, configuramos en 1.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguay
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

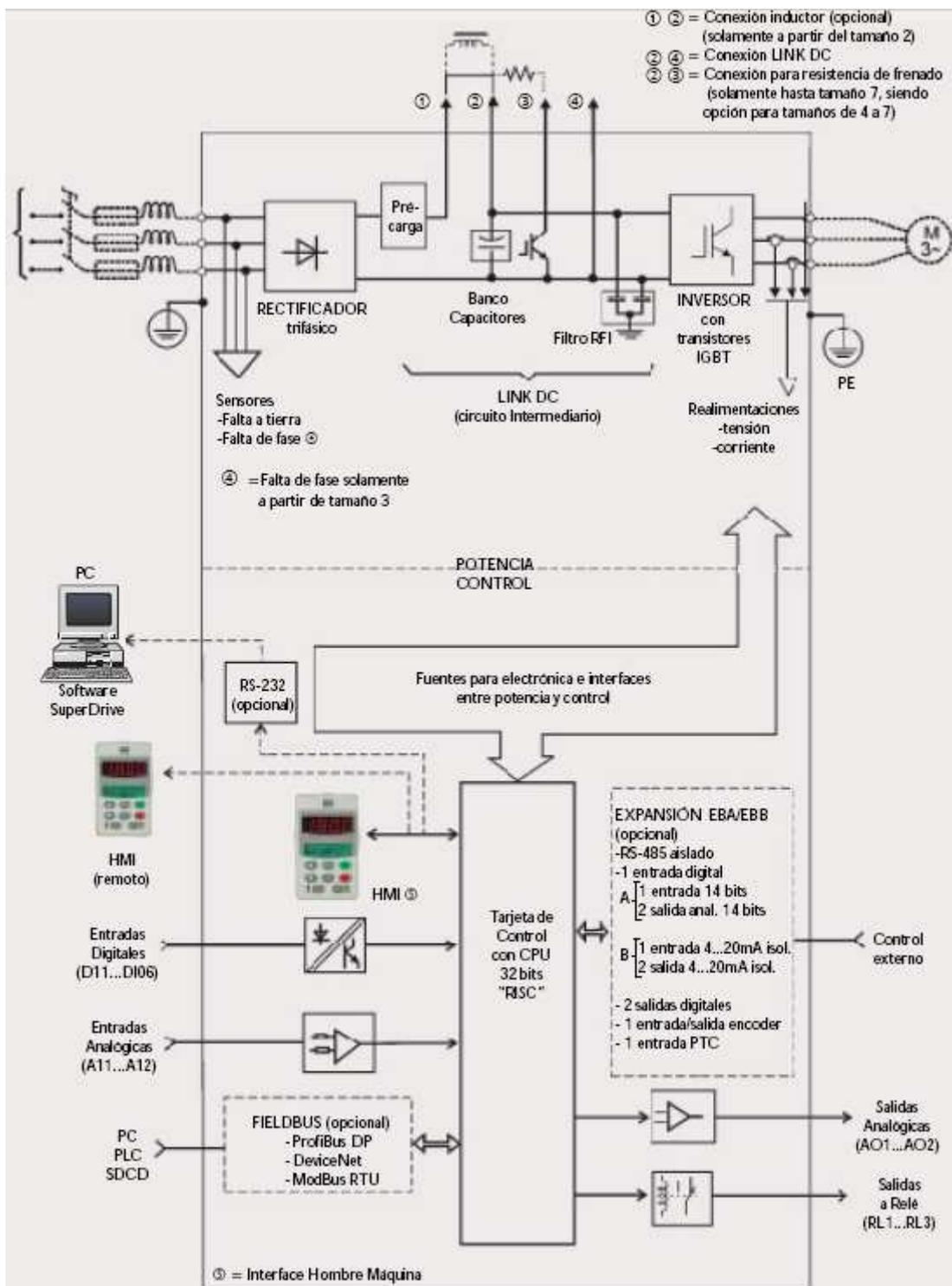
P239, Señal de entrada AI2, se selecciona la opción 1, que configura la señal de entrada como corriente de 4 a 20 mA.

P240, offset de la entrada AI2.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ

Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010





Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Diagrama en bloques del inversor de frecuencia

PRESOSTATO MICROCONTROLADO BMP HYTRONIC

Funcionamiento

La señal de entrada (de un transductor ó PT100) es amplificada, linearizada y convertida para la lectura en el display digital. La señal es comparada con el valor ajustado para la actuación de las alarmas, la señal disparará y energizará los relés. También cuenta con una salida analógica de 4 a 20 mA. Todo el conjunto es alimentado por una fuente con entrada de 110 ó 220 volts CA, ó por 24 Vcc.

Características

Alimentación CA 60/50 Hz. 110 Vca (Mín.100 Máx.130) ó 220 Vca (Mím.200 Máx.240).

Alimentación CC: 24 Vcc. (mín.22 Máx.28).

Consumo 4 VA

Resolución del display: 3p/seg.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Indicación Digital 3 1/2 dígitos (resolución 0,10%, precisión 0,05% FE, ± 1 dígito).

Salida Analógica Opcional: 4 a 20 mA, precisión $\pm 0,1$ % FE. 0 a 10 Vcc.

Alarmas independientes (relés)

Histéresis ajustable de 0,5 a 5% FE.

Precisión del punto de actuación $\pm 0,1$ % FE

Vida mecánica 30×10^6 operaciones.

Tiempo de respuesta $\gg 100$ ms.

Potencia de maniobra: 60 VA (máx 240 Vca) ó 30 W (máx.150Vcc), Corriente máxima 1 A.

Ajuste de la salida analógica

La salida analógica, permite la transmisión del valor de la variable a otros equipamientos.

Ajuste del cero:

Para ajustar el cero, debe estar seguro de que la presión en la entrada es cero. Utilizando una llave cruz de 3 mm ajuste el trimpot izquierdo de forma a obtener la salida correspondiente a cero.

Ajuste del span:

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Para ajustar el span, se hace que la presión o temperatura en la entrada sea igual a la presión (o temperatura) de fondo de escala (FE) con precisión de $\pm 0,05\%$ para los modelos de $\pm 0,25\%$ o $\pm 0,1\%$ para los modelos de $\pm 0,5\%$. Utilizando un destornillador de 3 mm actúe el trimpot existente del lado derecho, de forma a obtener la lectura correspondiente a fondo de escala. (FE). Acertado el span verifique nuevamente el valor de cero, reajustando lo se fuere necesario.

Repetir los pasos 1 e 2 hasta obtener valores de cero y de span correctos.

BOMBA

La bomba centrífuga de de la marca SAER y el modelo es BP-CMK

Principio de Funcionamiento

Esta serie de electrobombas centrífugas con una turbina se utiliza para obtener pequeñas alturas y altos caudales. Están equipadas con impulsor estriado directamente en voladizo al eje motor y la particular configuración hidrodinámica del impulsor con pérdidas hidráulicas mínimas, envía energía cinética al líquido bombeado a través de los álabes situados en el interior del conducto impulsor. Saliendo del impulsor el líquido bombeado se encana en el

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

espiral del cuerpo bomba, el cual transforma la energía cinética en energía de presión.

Aplicaciones

Estas electrobombas se utilizan en sistemas de riegos de goteo e inundación, para sacar aguas de lagos, ríos, tanques y para otros sistemas industriales donde se necesitan altos caudales y pequeñas alturas. Debido a la particular configuración hidráulica de las espirales y de los impulsores con amplios pasos estas electrobombas son aptas para bombear aguas moderadamente sucias.

Características de Construcción

Cuerpo de bomba en fundición gris, soporte motor en fundición gris. Impulsor en fundición gris en los modelos CMK - BP7 - 8 impulsor en latón estampado en los modelos BP3, BP4, BP5 y BP6.

Cierre mecánico en grafito/cerámica.

Motor eléctrico de construcción cerrada con ventilación exterior.

Rotor montado sobre rodamientos de bolas pre lubricados.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Bajo demanda se suministra la electrobomba con una protección termoamperimétrica incorporada, mientras el condensador se suministra siempre insertado en la ejecución monofásica.

Protección del motor: IP 44, bajo demanda IP 55

Aislamiento: clase F

Tensión estándar: monofásica 230V - 50 Hz. Trifásica 230V/400V - 50 Hz

Bajo demanda se suministran ejecuciones especiales

Límites de Empleo

- Caudal hasta 120 m³/h
- Altura hasta 24 m
- Temperatura del líquido bombeado: de -15°C a +70° C
- Presión máxima de funcionamiento: 6 bar
- Temperatura ambiente máxima: +40° C (para valor superior consultar verificación).

Las características de funcionamiento indicadas en catálogo se refieren a un uso continuo y en agua limpia (peso específico = 1000 Kg/m³). Aspiración manométrica hasta máximo 8 m con válvula de pie, para aspiración superior a

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

los 5 m se aconseja la instalación de un tubo de aspiración de diámetro interior mayor de la conexión de aspiración.

Para las tolerancias de las características hidráulicas valen las normas UNI/ISO 2548 - clase C - mientras para las características eléctricas valen las normas CEI.

Instalación

Las electrobombas serie BP - CMK pueden montarse con el eje motor en posición horizontal o vertical. En el caso de instalación en posición vertical, el motor siempre será situado en la parte superior.

MOTOR

Características

Marca: Weg

Tensión: Trifásica (220 V. en estrella; 380 V. en triángulo)

Rpm: 2850

Índice de protección: IP55

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

EI SISTEMA SCADA

Un sistema SCADA, es un sistema de supervisión, control y adquisición de datos, es una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. También provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros usuarios supervisores dentro de la empresa (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.).

La realimentación, también denominada retroalimentación o feedback es, en una organización, el proceso de compartir observaciones, preocupaciones y sugerencias, con la intención de recabar información, a nivel individual o colectivo, para mejorar o modificar diversos aspectos del funcionamiento de una organización. La realimentación tiene que ser bidireccional de modo que la mejora continua sea posible, en el escalafón jerárquico, de arriba para abajo y de abajo para arriba.

En teoría de la cibernética y de control, la realimentación es un proceso por el que una cierta proporción de la señal de salida de un sistema se redirige de

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

nuevo a la entrada. Esto es de uso frecuente para controlar el comportamiento dinámico del sistema. Los ejemplos de la realimentación se pueden encontrar en la mayoría de los sistemas complejos, tales como ingeniería, arquitectura, economía, y biología. Arturo Rosenblueth, investigador mexicano y médico en cuyo seminario de 1943 hizo una ponencia llamada "Behavior, Purpose and Teleology" ("comportamiento, propósito y teleología"), de acuerdo con Norbert Wiener, fijó las bases para la nueva ciencia de la cibernética y propuso que el comportamiento controlado por la realimentación negativa, aplicada a un animal, al ser humano o a las máquinas era un principio determinante y directivo, en la naturaleza o en las creaciones humanas.

3.1 Definiciones del Sistema

Supervisión: acto de observar el trabajo o tareas de otro (individuo o máquina) que puede no conocer el tema en profundidad, supervisar no significa el control sobre el otro, sino el guiarlo en un contexto de trabajo, profesional o personal, es decir con fines correctivos y/o de modificación.

Automática: ciencia tecnológica que busca la incorporación de elementos de ejecución autónoma que emulan el comportamiento humano o incluso superior.

Principales familias: autómatas, robots, controles de movimiento, adquisición de datos, visión artificial, etc.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

PLC: Programmable Logic Controller, [Controlador Lógico Programable](#).

PAC: Programmable Automation Controller, [Controlador de Automatización Programable](#).

Un sistema SCADA incluye un hardware de señal de entrada y salida, controladores, interfaz hombre-máquina (HMI), redes, comunicaciones, base de datos y software.

El término SCADA usualmente se refiere a un sistema central que monitoriza y controla un sitio completo o una parte de un sitio que nos interesa controlar (el control puede ser sobre máquinas en general, depósitos, bombas, etc.) o finalmente un sistema que se extiende sobre una gran distancia (kilómetros / millas). La mayor parte del control del sitio es en realidad realizada automáticamente por una [Unidad Terminal Remota](#) (UTR), por un [Controlador Lógico Programable](#) (PLC) y más actualmente por un [Controlador Automático Programable](#) (PAC). Las funciones de control del servidor están casi siempre restringidas a reajustes básicos del sitio o capacidades de nivel de supervisión. Por ejemplo un PLC puede controlar el flujo de agua fría a través de un proceso, pero un sistema SCADA puede permitirle a un operador cambiar el punto de consigna (set point) de control para el flujo, y permitirá grabar y mostrar cualquier condición de alarma como la pérdida de un flujo o una alta temperatura. La realimentación del lazo de control es cerrada a través del RTU

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

o el PLC; el sistema SCADA monitoriza el desempeño general de dicho lazo. El sistema SCADA también puede mostrar gráficas con históricos, tablas con alarmas y eventos, permisos y accesos de los usuarios...

Necesidades de la supervisión de procesos:

- Limitaciones de la visualización de los sistemas de adquisición y control.
- Control software. Cierre de lazo del control.
- Recoger, almacenar y visualizar la información.

Soluciones de Hardware

La solución de SCADA a menudo tiene componentes de [sistemas de control distribuido](#), DCS (*Distributed Control System*). El uso de RTUs o PLCs o últimamente PACs sin involucrar computadoras maestras está aumentando, los cuales son autónomos ejecutando procesos de lógica simple. Frecuentemente se usa un [lenguaje de programación funcional](#) para crear programas que corran en estos RTUs y PLCs, siempre siguiendo los estándares de la norma [IEC 61131-3](#). La complejidad y la naturaleza de este tipo de programación hace que los programadores necesiten cierta especialización y conocimiento sobre los actuadores que van a programar. Aunque la programación de estos elementos es ligeramente distinta a la programación tradicional, también se usan

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

lenguajes que establecen procedimientos, como pueden ser [FORTRAN](#), [C](#) o [Ada95](#). Esto les permite a los ingenieros de sistemas SCADA implementar programas para ser ejecutados en RTUs o un PLCs.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

4 ENSAYOS REALIZADOS

4.1 Ensayo de Altura Vs. Caudal

Para este ensayo se hace trabajar el motor a rotación nominal, es decir, para este caso a 2850 R.p.m.

Se cierra la válvula esférica de paso, y se mide la altura máxima entregada por la bomba.

Para los otros puntos de la bomba, se abre de a poco la válvula y se miden, la altura y el caudal correspondientes.

Para el último punto de la curva, se abre totalmente la válvula y se mide el caudal correspondiente.

En la figura se muestra la comparación entre la curva teórica dada por el fabricante y la curva real de la bomba, en las condiciones en que se encuentra. Valores de las especificaciones de la bomba:

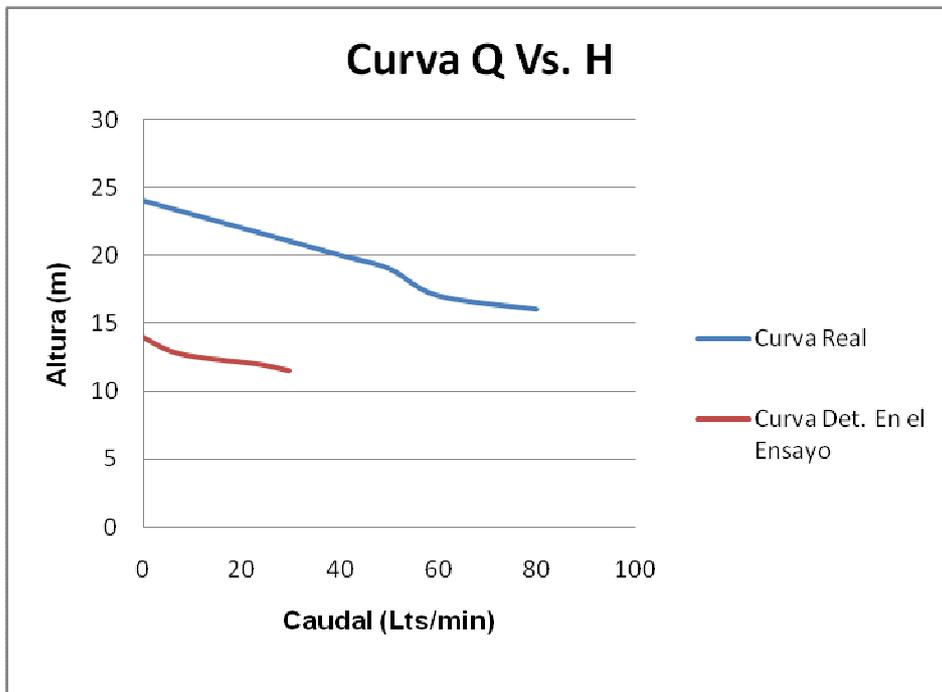
Q	H
0	24
20	22
40	20
50	19
60	17
80	16

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010



Curva H Vs. Q, curva real y determinada por el ensayo

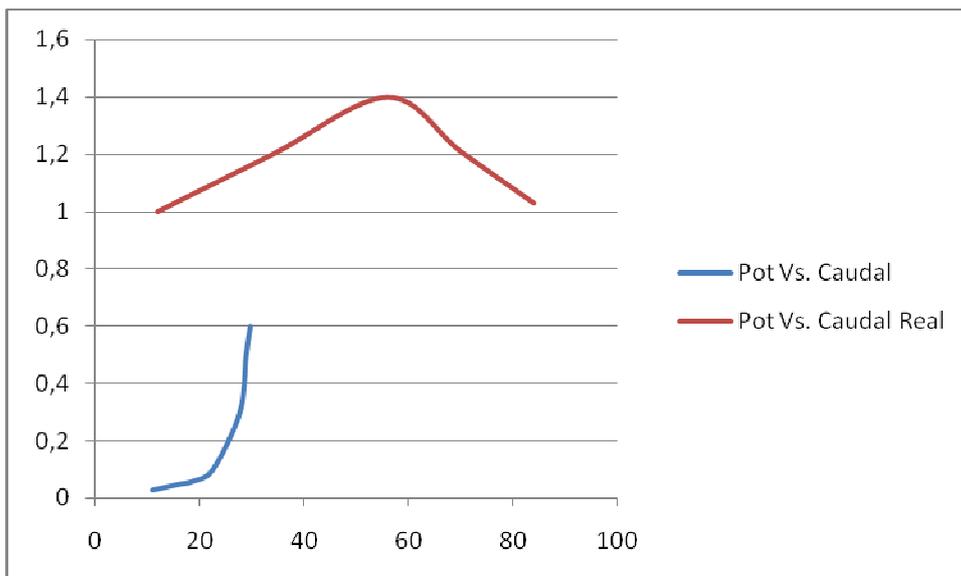
IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

4.2 Ensayo de Potencia Vs. Caudal



IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Tabla de Valores de Potencia y Caudal para el ensayo

P	Q
0,6	29,7
0,5	28,9
0,3	27,7
0,1	22,5
0,06	18,6
0,05	16
0,03	11

P	Q
1	12
1,2	34
1,4	56
1,21	70
1,03	84

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de los ensayos realizados, dan como consecuencia, una bomba con el rotor dañado, con problemas de cavitación, desprendimiento del material del rotor, perdidas de presión y consecuentemente un caudal mucho menor al nominal.

La potencia consumida es prácticamente la misma, en comparación con la potencia consumida de una bomba con las mismas características y operando con rotación y caudal nominales.

El NPSH es menor al NPSHr para que la bomba tenga un correcto funcionamiento, consecuentemente la misma tiene problemas de cavitación.

Debido a que el rotor se encuentra dañado, consume más potencia de la debida, por lo tanto, el motor consume una mayor potencia, haciendo que se caliente la carcasa del mismo a los 10 min. De funcionamiento a rotación nominal.

Se puede decir que el banco de pruebas cumple con la función, o con el objetivo del proyecto, que es el de ensayar las bombas centrífugas de eje horizontal, y diagnosticarlas, es decir, comparar las curvas de funcionamiento,

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

de la misma en las condiciones en que se encuentra con las curvas de una bomba nueva, para así ver las diferencias y los posibles problemas.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Referencias Bibliográficas:

- [1] Mataix, Claudio. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. México, D. F. Omega, 1992.
- [2] Macintyre, Archibald. Bombas e instalações de Bombeamento. Río de Janeiro, LTC, 1997.
- [3] McNaughton, Kenneth. Bombas, Selección, Uso y Mantenimiento. México. D.F. Mc Graw Hill, 1992.
- [4] Fox, Robert. Introdução á Mecânica dos Fluidos. Río de Janeiro, LTC, 1995.
- [5] Crane. Flujo de Fluidos en Válvulas, accesorios y tuberías. México, Mc Graw Hill, 1993.
- [6] Lopes, Sergio. Laboratorio Mecánica dos Fluidos. S. Paulo, FCA, 1997.
- [7] Manual de bombas SAER – CMK.
- [8] Manual del Caudalímetro Ultraflux Minisonic P.
- [9] ABNT- NBR - 6397 - Ensaio de Bombas Hidráulicas de Fluxo.
- [10] BRITISH STANDARD 599: 1966. Methods of Testing Pumps. British Standards Institutions, Gr 7
- [9] Manual del Inversor de Frecuencia WEG - CFW 09, 2006
- [11] SAVE “Study on improving the energy efficiency of pumps” European Commission, February 2001.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ



Comité Nacional Paraguayo
Unión de Ingenieros de ANDE

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

[12] Guide to the selection of rotodynamic pumps” European Association of Pump Manufacturers.

[13] De Souza, Zulcy. Máquinas de Fluxo. Río de Janeiro, Ao Livro Técnico,1980

[14] Perry's. The Chemical Engineering guide to pumps. New York, McGraw-Hill, 1997.

[15] BS EN ISO 5198:1999 “Centrifugal, mixed flow and axial pumps. Code for hydraulic performance tests. Precision class”.

[16] ISO 9906:1999 “Rotodynamic pumps -- Hydraulic performance acceptance tests.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ