

Adaptación y Transferencia de Tecnología para Medición en Pozos de Bombeo en Zonas Agrícolas



RD 1308.1

DIRECTORIO

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

M. I. Víctor Javier Bourguett Ortiz

Director General

Dr. Nahún Hamed García Villanueva

Coordinador de Riego y Drenaje

Dr. Arturo González Casillas

Subcoordinador de Operación y Mantenimiento de
Infraestructura Hidroagrícola

Dr. Víctor Manuel Ruiz Carmona

Jefe de proyecto.

ÍNDICE

	<i>Página</i>
I INTRODUCCIÓN.....	1
II DEFINICIÓN DE EFICIENCIA.....	2
II.1 Potencia de entrada al motor.....	3
II.2 Potencia de salida de la bomba.....	3
II.3 Carga total de bombeo.....	3
II.4 Evaluación de pérdidas por fricción en la columna.....	4
III. EQUIPO DE MEDICIÓN, ADQUISICIÓN DE DATOS Y CÁLCULO.....	5
III.1 Medición de parámetros eléctricos.....	5
III.2 Medición de parámetros hidráulicos.....	6
III.3 Unidad de adquisición de datos, registro de datos y cálculo de eficiencia.....	7
IV. CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA UTR LASSEN.....	10
IV.1 Configuración general del equipo Lassen.....	10
IV.2 Configuración del registrador de datos.....	11
IV.3 Configuración de puertos de comunicación.....	15
IV.4 Configuración de interfaces hombre máquina HMI.....	16
IV.5 Programación de la Unidad Terminal Remota Lassen.....	19
V. PRUEBA DEL EQUIPO DESARROLLADO.....	27
VI. REFERENCIAS.....	28

Resumen

Las normas oficiales mexicanas relacionadas con la eficiencia electromecánica de equipos de bombeo establecen la eficiencia de un equipo como la relación entre la energía proporcionada al agua por el equipo de bombeo, entre la energía consumida por la bomba. La energía consumida por un motor eléctrico se obtiene de la medición del voltaje, corriente y factor de potencia. La potencia proporcionada al agua por el equipo de bombeo se determina a partir del gasto y la diferencia de presión entre la succión y la descarga de la bomba, principalmente. Haciendo uso de multímetros digitales, sensores de presión y un medidor de gasto de tipo ultrasónico de tiempo de travesía se miden los parámetros de funcionamiento de la bomba. Los datos medidos son procesados por una unidad terminal remota con la cual se obtiene la potencia consumida por el equipo, la proporcionada por el agua y finalmente la eficiencia. Los parámetros y graficas de funcionamiento de la bomba se muestran a través de la página WEB que genera la UTR. El operador puede ingresar de manera manual los datos que no fue posible medir en tiempo real por las condiciones físicas e hidráulicas presentes en el sitio. El sistema guarda en archivos de tipo CSV los datos para su presentación posterior. El sistema desarrollado se ha usado tanto en la evaluación, como en la supervisión en tiempo real de equipos de bombeo. Actualmente se desarrolla un modelo de utilidad con el fin de transferir el sistema descrito.

I. INTRODUCCIÓN

El creciente uso de motores eléctricos en pozos y plantas de bombeo ha producido un aumento en el consumo de energía eléctrica. En consecuencia se ha generado una disminución en los subsidios que los gobiernos federal y estatal ofrecen. El costo más importante en la operación de pozos y plantas de bombeo, es la energía eléctrica, por lo anterior se hace indispensable lograr un uso más eficiente de la misma. Para conocer la eficiencia de un equipo de bombeo se realiza una evaluación electromecánica del mismo. La prueba de eficiencia permite conocer el estado general del sistema de bombeo, siendo una buena herramienta para el seguimiento del funcionamiento del mismo y la programación de su mantenimiento.

Aunque la medición de eficiencia es sencilla de hacer y no toma más de unos minutos muy pocos pozos están en condiciones de hacerla. La mayoría de los pozos no cuentan con las condiciones necesarias para medir el nivel dinámico, la presión de descarga y mucho menos el gasto. Las condiciones de tramos rectos aguas arriba y aguas abajo para hacer la medición de gasto, no se cumplen. Se instalan medidores por parte de los usuarios con el fin de cumplir los requerimientos para recibir los apoyos tanto federales como estatales, sin embargo, nunca para medir el gasto. Por otro lado, las instituciones gubernamentales no condicionan los apoyos a la correcta instalación del equipo de medición y seguimiento del funcionamiento del pozo, así como a una verificación de la eficiencia electromecánica del nuevo equipo instalado. Los usuarios del agua desperdician su dinero, gastando más energía de la requerida, y los programas federales y estatales derrochan los recursos al no poder garantizar que se hará un uso eficiente de la energía. A continuación se presentan algunos ejemplos de equipos de bombeo donde no se tiene condiciones para hacer las pruebas de eficiencia electromecánica (Figura 1). Esta situación es la típica encontrada en campo.



No tiene tubo para medir nivel dinámico



Condiciones inadecuadas para medir gasto



Figura 1. Estado típico de pozos en zonas de riego.

En la evaluación de equipos electromecánicos usados en pozos se emplean los siguientes documentos:

1. Eficiencia de Sistema de Bombeo, Gerencia de Estudios y Proyectos, Coordinación de Electromecánica, Comisión Nacional del Agua, CONAGUA, 2003
2. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ENER-2000. Eficiencia Energética en Bombas Verticales tipo Turbina con motor externo eléctrico vertical. Límites y método de prueba.
3. Norma Oficial Mexicana NOM-004-ENER-2008, Eficiencia energética de bombas y conjunto motor-bomba, para bombeo de agua limpia, en potencia de 0,178kW a 0,746 kW. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
4. Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-1995, Eficiencia energética electromecánica de sistemas de bombeo de pozo profundo en operación.-Límite y método de prueba.
5. Norma Oficial Mexicana NOM-010-ENER-2004, Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo. Límites y método de prueba.

Para determinar la eficiencia electromecánica se miden dos tipos de variables: hidráulicas y eléctricas. En el primer grupo tenemos el caudal, nivel dinámico, presión de descarga; en el segundo grupo, la potencia de entrada al motor, voltaje, corriente y factor de potencia.

II. DEFINICIÓN DE EFICIENCIA

La eficiencia electromecánica global de los equipos de bombeo instalados en los pozos (conjunto bomba-motor), se define como la proporción de la potencia de salida de la bomba entre la potencia suministrada a la entrada del motor de la bomba y se expresa en porcentaje (NOM-001-ENER-2000):

$$\eta = \frac{\text{potencia de salida de la bomba}}{\text{potencia de entrada del motor}} = \frac{Q \rho g H}{\sqrt{3} V I f_p} \times 100 \quad (1)$$

dónde:

Q, flujo, capacidad o gasto de agua en m³/s;

ρ , densidad del agua bombeada en Kg/m³ ;

g, aceleración de la gravedad en m/s² ;

H, carga total de bombeo en m ;

V, voltaje de alimentación al motor, tensión eléctrica, en Volts ;

I, corriente eléctrica en Ampres ;

f_p, factor de potencia, adimensional.

II.1 Potencia de entrada al motor

La potencia de entrada al motor, P_e , se define como la potencia, en Watt, que requiere el motor eléctrico acoplado a la bomba. Para motores trifásicos se define como:

$$P_e = \sqrt{3} V I f_p \quad (2)$$

dónde:

V, voltaje de alimentación al motor, tensión eléctrica, en Volts;

I, corriente eléctrica en Amperes;

f_p , factor de potencia, adimensional.

II.2 Potencia de salida de la bomba

La potencia de salida de la bomba, P_s , expresada en Watts, es la potencia transferida al agua por la bomba medida lo más cerca posible del cabezal de descarga y está definida de la forma siguiente:

$$P_s = Q \rho g H \quad (3)$$

dónde:

Q, flujo, capacidad o gasto de agua en m^3/s ;

ρ , densidad del agua bombeada en Kg/m^3 ;

g, aceleración de la gravedad en m/s^2 ;

H, carga total de bombeo en m.

II.3 Carga total de bombeo

La norma NOM-001-ENER-2000, establece que la carga total de bombeo está dada por: “la suma algebraica de la presión manométrica medida a la descarga (convertida en metros de columna de agua y corregida con la altura a la línea de centros de la toma de señal de presión), el nivel dinámico, las pérdidas por fricción en la columna y la carga de velocidad. Su expresión matemática es:

$$H = P_{gd} + Z_d + hf_c + h_v \quad (4)$$

dónde:

H, carga total, de bombeo en m;

P_{gd} o P_m , presión en la descarga, en metros de columna de agua (m.c.a.), se mide mediante un sensor de presión colocado inmediatamente después del cabezal de descarga

Z_d o ND, nivel dinámico en m;

H_{f_c} , pérdidas por fricción en la columna en m.c.a. Se determina por medio de una tabla sugerida por la norma, generalmente esta componente es poco significativa en columnas menores a 10 metros;

H_v , carga de velocidad en m.

La carga de velocidad incluida en la expresión de carga total de bombeo se determina de la siguiente forma:

$$h_v = \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

dónde:

h_v , carga de velocidad en m;

v, velocidad del agua dentro de la tubería en m/s

g, aceleración de la gravedad ($g=9.806656 \text{ m/s}^2$, a nivel del mar).

En la normatividad anterior (NOM-006-ENER-1995), la carga de velocidad se omite en el cálculo de la carga total de bombeo, ya que en la mayoría de las ocasiones este valor resulta de un orden de magnitud pequeño comparado con los otros términos que componen la carga total de bombeo.

II.4 Evaluación de pérdidas por fricción en la columna

En la determinación de las pérdidas por fricción en la columna de bombeo, se hace uso de la información técnica proporcionada por el fabricante, en donde aparecen tabuladas las pérdidas por fricción para diferentes condiciones de columna y diámetros.

III. EQUIPO DE MEDICIÓN, ADQUISICIÓN DE DATOS Y CÁLCULO.

Comercialmente no existe un equipo que integre la medición de parámetros eléctricos e hidráulicos involucrados en la prueba de eficiencia electromecánica de equipos de bombeo. Por lo anterior, se utilizó la experiencia del Instituto en la medición de gasto para incorporar al sistema portátil de gasto usado en presas la opción de realizar prueba de eficiencia electromecánica, añadiéndose la medición de la carga y los parámetros eléctricos, voltaje, corriente, factor de potencia, así como el cálculo de la eficiencia.

III.1 Medición de parámetros eléctricos

La medición del voltaje, corriente y factor de potencia se efectuó mediante el arnés de redes eléctricas H8036 de Veris Industries Inc. En este caso se buscó una unidad que fuera fácil de instalar y en la que no fuera necesario mover los cables de alimentación de la bomba para colocar los transformadores de corriente. Un cable mal apretado es la causa más común de daños en los arrancadores. Por otro lado, se requería que el medidor fuera alimentado por el voltaje a medir y que los datos recabados se pudieran recuperar con un protocolo de comunicación, de preferencia MODBUS RTU RS485. El equipo presenta una exactitud del 1% del valor medido. El equipo puede medir voltajes de 0 a 600 VAC (480 VAC Nominal) y corrientes de 0 a 2400 A, está última en función del transformador de corriente seleccionado. El equipo mide el voltaje y corriente en cada fase determinando la potencia consumida, potencia real (máxima, mínima, promedio), potencia aparente, factor de potencia, voltaje promedio y corriente promedio. Los datos medidos y calculados están disponibles en punto flotante usando el formato IEEE 754, 32 bits. El arnés se coloca a la salida del arrancador en el tablero de operación de las bombas (Fig. 2).

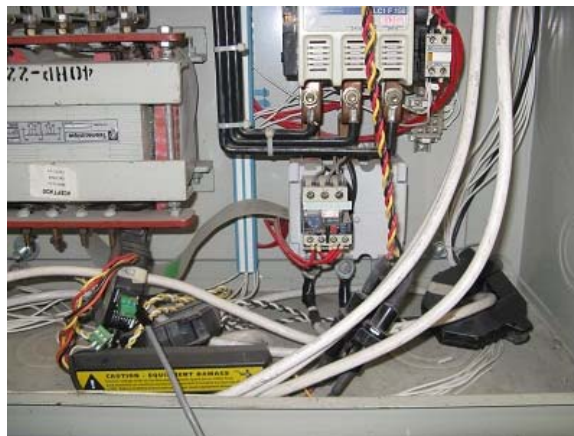


Figura 2. Arnés de medición de parámetros eléctricos.

III.2 Medición de parámetros hidráulicos

En el cálculo de la eficiencia global del conjunto motor bomba es necesario determinar la carga total de bombeo y medir el gasto manejado por el equipo.

La medición de caudal deberá cumplir con los lineamientos relacionados con la exactitud durante la prueba de evaluación, oscilaciones permisibles en el indicador de los instrumentos de medición y los límites de variación entre mediciones repetidas.

La NOM-001-ENER-2000 establece que los equipos usados en la medición de caudal podrán ser: Tubo pitot y el método del tanque volumétrico, ambos para **mediciones en un intervalo de tiempo**. Sin embargo en los últimos años los avances en la electrónica digital han hecho posible utilizar medidores ultrasónicos portátiles con registrador.

Por otro lado la norma considera que en caso de realizar mediciones **puntuales** será recomendable emplear: placas de orificio calibradas, tubos Venturi, toberas, rotámetros y medidores de flujo externos magnéticos. Nuevamente los avances en electrónica digital hacen posible adaptar estos equipos a registradores con lo cual se obtienen registros durante un intervalo de tiempo.

Para la medición de gasto se utilizó un medidor Panametrics AT 868. Esta unidad de tiempo de travesía de un par es usada por el IMTA como el principal equipo de medición de gasto en tuberías de Presas, presentando una precisión que varía del 3 al 5% en función de las condiciones físicas e hidráulicas presentes en el sitio a medir. El desempeño y confiabilidad de esta unidad la hace el equipo preferido en el Instituto para la medición en tuberías. Para recuperar los datos de este medidor, el cual usa un protocolo propietario, se desarrolló un programa para la Unidad Terminal Remota usada. Este elemento es el punto más crítico en la determinación de la eficiencia, pues de su correcta instalación depende la precisión que se puede alcanzar en la prueba.

Para la instalación del medidor de gasto es indispensable seguir las recomendaciones del fabricante considerando por lo menos cinco diámetros aguas arriba y aguas abajo del medidor sin componentes que afecten las líneas de flujo.

La presión aguas arriba y aguas abajo de la Boma se determina mediante transductores de presión Serie 30 de Keller Gez. Für Durckmesstechnik mbH de presión diferencial. Las características técnicas de los transductores seleccionados son, resolución de 0.0002% de la escala completa, exactitud de 0.2% de la escala completa, linealidad 0.025% de la escala completa, ancho de banda de 200Hz. Estabilidad largo plazo de 0.2% de la escala completa. El medidor presenta un protección IP 68 y tiene salidas en corriente 0-20 mA y RS 485. El equipo es MODBUS compatible y la salida de datos es en el formato de punto flotante IEEE 754.

El medidor de presión seleccionado presenta la ventaja de tener un programa de fácil configuración Read30 que permite hacer el ajuste del cero de referencia a la presión atmosférica presente en el sitio de la prueba.



Presión en la descarga

Figura 3. Sensor de Presión usado.

III.3 Unidad de adquisición de datos, registro de datos y cálculo de eficiencia

Las variables medidas por los sensores son recuperadas y almacenadas en una Unidad Terminal Remota Lassen de ICLink. La Unidad Lassen cuenta con 2 puertos seriales RS-232, un puerto RS485, dos puertos USB maestro, un puerto Ethernet, dos entradas analógicas de voltaje o corriente, dos salidas analógicas de corriente, 6 salidas digitales y 6 entradas digitales TTL. La unidad cuenta con 512 MB de memoria para almacenamiento de datos expandible a 2GB. La unidad Lassen es de 32 Bits y se programa usando el estándar de programación para equipos de medición y control ISaGRAF IEC 61131. En el Lassen se implementó el protocolo de comunicación del Panametrics y el cálculo necesario para determinar la energía proporcionada al agua y la eficiencia electromecánica total. Así mismo se configuró para guardar la información de los datos medidores y almacenados en su memoria y hacer una copia de esta a una memoria USB conectada en el puerto USB. Esta Unidad Terminal Remota presenta la opción de generar una página WEB a partir de la configuración de ésta. Esta página WEB se puede acceder de forma alámbrica con un cable UTP, o bien, de forma inalámbrica mediante un radio WIFI. Desde una Tablet o teléfono inteligente es posible operar el sistema.

En la página WEB desarrollada se tiene acceso a todos los valores medidos por los sensores. Se presenta la energía eléctrica consumida, la energía proporcionada al agua y la eficiencia total, en forma numérica y gráfica. Si por alguna razón no es posible instalar un sensor o la medición de algún parámetro hidráulico se hace de manera indirecta, se puede ingresar el dato para que el sistema realice el cálculo. Cada 5 segundos el equipo recupera la información de los

sensores y determina la eficiencia total. A continuación se presentan las páginas WEB desarrolladas (Fig. 4).



Figura 4. Página WEB de operación del sistema desarrollado.

El sistema de medición de eficiencia electromecánica se integró en una caja plástica para protección de equipo de uso rudo, que cumple con especificaciones militares MIL-PERF 28800, IP 67 (sumergible 1 metro), porta candados, con el fin de poder ser transportadas fácilmente y con seguridad. La caja usada es la Seahorse 720 de 47 x 32 x 16 cm. La caja incorpora una fuente de alimentación de 12 VCD con el cual se carga la batería usada en la operación del sistema así como un controlador de carga. Todos los equipos operan en 12 VCD. En la caja en la parte superior se encuentra de izquierda derecha el medidor de gasto Panametrics, la UTR Lassen, un switch para acceso a la página WEB de la UTR o conectar un ruteador WIFI y el controlador de carga (Fig. 5).

En la parte inferior está la fuente de alimentación y los fusibles termomagnéticos que alimentan las diferentes componentes del equipo. En el extremo derecho de la caja se encuentra un panel donde se conectan los sensores de presión, el arnés de parámetros

eléctricos, la computadora PC para configurar el medidor de gasto, un interruptor para seleccionar entre comunicación del medidor de gasto con la PC o con la UTR, la batería de alimentación, y la conexión para la suministro eléctrico en AC. En la Fig. 5, se observa el equipo armado en su caja de protección. La placa con el equipo electrónico está montada en una placa de PVC sobre una capa de poliuretano con el fin de proteger a las componentes de golpes y poder ser enviada por paquetería o avión al lugar de prueba.



Equipo de medición.

Figura 5. Equipo de medición de eficiencia electromecánica desarrollado.

Los medidores de gasto, presión y parámetros eléctricos fueron seleccionados con base en la experiencia y buenos resultados que se tiene con estos equipos de medición, sin embargo se puede adaptar cualquier otro tipo de medidor, ya sea con su protocolo propietario o con salida de datos en voltaje o corriente.

IV. CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA UTR LASSEN.

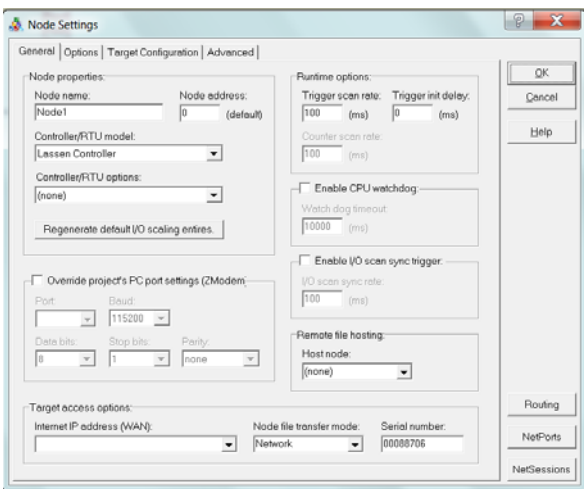
La configuración y programación del equipo Lassen presenta de cinco componentes principales: configuración general del equipo Lassen; configuración del registrador de datos; configuración del puerto RS485 para la lectura de los datos de presión y arnés de parámetros eléctricos y puerto RS232 para la lectura de los datos del medidor Panametrics; programación del protocolo del equipo Panametrics en ISaGRAF.

La configuración y programación de los equipos Lassen se hace mediante el programa SCADAbuilder.

IV.1 Configuración general del equipo Lassen

Como primer paso en la configuración del equipo Lassen se definen el tipo de unidad, los módulos de expansión de entradas/salidas y comunicación conectados al equipo, número de serie y node de comunicación "Network". La dirección IP y la de su puerto de enlace se definen en las opciones de comunicación IP en el "Target Configuration". A continuación se presenta la pantalla general del equipo y la pantalla de "Target Configuration"

Pantalla general de configuración



Pantalla de "Target Configuration"

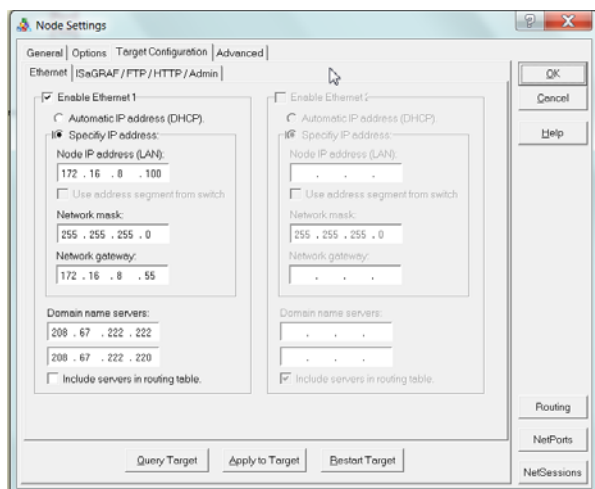


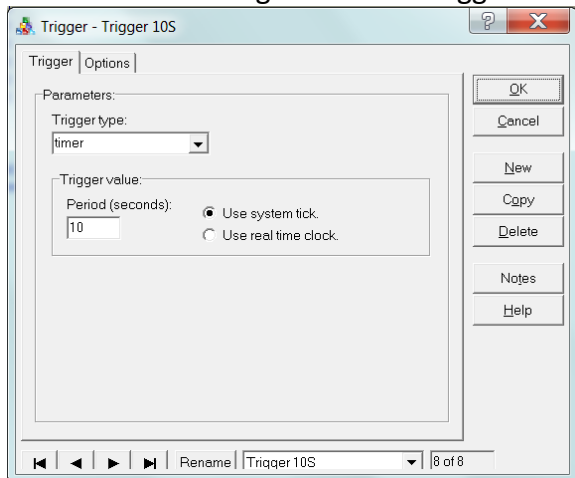
Figura 6. Pantallas de configuración general del equipo.

IV.2 Configuración del registrador de datos

La configuración del registrador de datos consta de cuatro componentes: contador "Timer" para establecer la frecuencia con la cual se guardan los datos; configuración del archivo y datos a almacenar; programa de ISAGRAF para la transferencia del archivo de datos guardado en la memoria de la UTR a la memoria USB; configuración de la pantalla HMI para operación de la transferencia de datos.

Como primer paso de muestra la ventana de configuración del "Timer" usado, en este caso se trata de un contador de 10 segundos. En la Fig. 7 se presentan las pantallas de configuración del timer usado. Como se aprecia se usó la opción de "Timer" y el tiempo fue de 10 segundos. En la ventana de opciones se presenta variable que indicará la salida del Trigger cuando se cumpla el período seleccionado. Varios "Trigger" de tipo "Timer" de diferente tiempo son usados en las diferentes aplicaciones utilizados con el fin de determinar la frecuencia con la cual se realizan las tareas requeridas.

Ventana de configuración del Trigger



Ventana de opciones de configuración

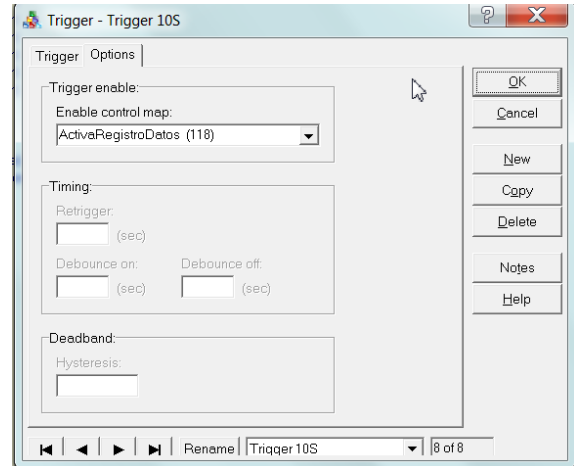
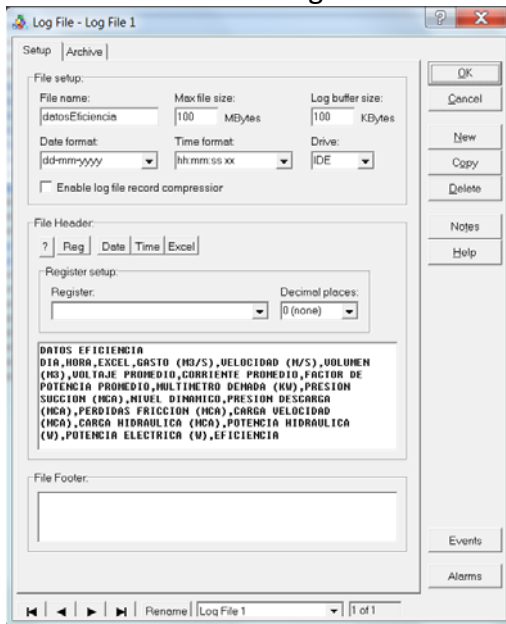


Figura 7. Configuración del contador para escritura de datos.

En un segundo paso se presentan las ventanas de configuración del registrador de datos. Los archivos que se generan son de tipo CSV, datos separados por comas. La ventaja de este tipo de archivos es que se puede colocar una línea al inicio del archivo indicando el tipo de dato en cada columna y sus unidades, lo cual facilita la revisión de la información al ser consultada en una hoja de cálculo como Excel. Como primer paso se tiene la ventana de configuración “SET UP”, en esta se define el nombre del archivo (“datosEficiencia”), el lugar donde se guardan los datos (en este caso la unidad interna IDE), el tamaño del archivo, el formato de la fecha y hora y el contenido de la línea del encabezado. En la ventana de Opciones “Archive” se habilita el registro de datos.

Ventana “SET UP” del registrador



Ventana “Archive” del registrador

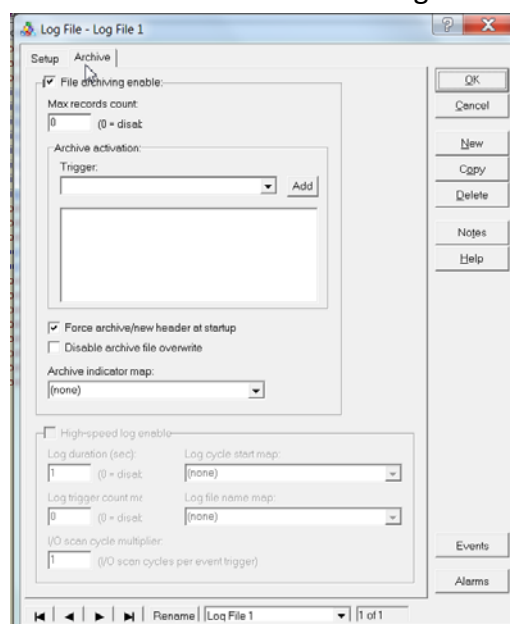


Figura 8. Ventana de configuración del registrador.

Configurado el registrador se procede a indicar las variables a guardar indicando el registro de cada una de ellas siguiendo el orden establecido en el encabezado, esto hace los datos con el encabezado del al verlos en Excel. Como se aprecia en la Fig. 9, se colocó, la fecha y la hora, así como Excel. Excel es el número que utiliza la hoja de cálculo Excel para indicar la fecha, la cual es el número de días transcurridos a partir del 1 de Enero de 1900 00:00.

En un tercer paso se utiliza un diagrama de bloques de ISaGRAF para controlar el funcionamiento de la función “f_copy_l” que transfiere el archivo de la memoria IDE a la memoria USB. Para activar esta transferencia se debe colocar un “1” binario en el parámetro “strt” de la función y mantenerlo durante la transferencia del archivo. El parámetro “strt” debe regresar a cero antes de que se pueda hacer otra transferencia. En la Fig. 10 se presenta el diagrama de bloques de ISaGRAF. En esta se observa la función TP “Pulse Timing”, al cambiar el estado de la variable usb1inicio a “1” en la HMI local (IV.4) por el usuario, esta permanece activa por 30 segundos permitiendo la transferencia de datos. La función f_copy_l “copy large file” transfiere el archivo de datos “datosEficiencia.lg1” de la memoria interna del equipo IDE al archivo “datosEficiencia.csv” de la memorias USB. El función de transferencia presenta varios parámetros de salida error USB1ER, estado USB1 stat y porcentaje transferido USB1porc que muestran el funcionamiento de la transferencia de datos en la pantalla HMI para el seguimiento de la misma (IV.4).

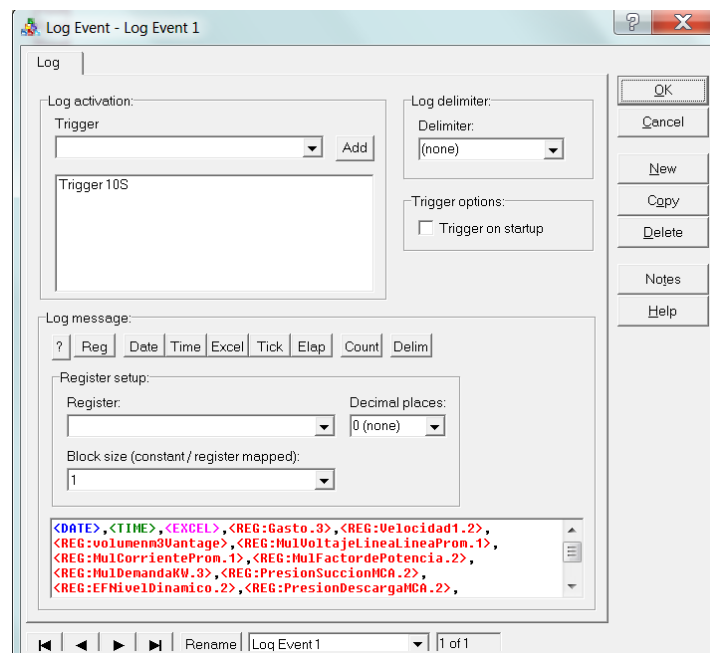


Figura 9. Ventana de datos a registrar y “trigger”.

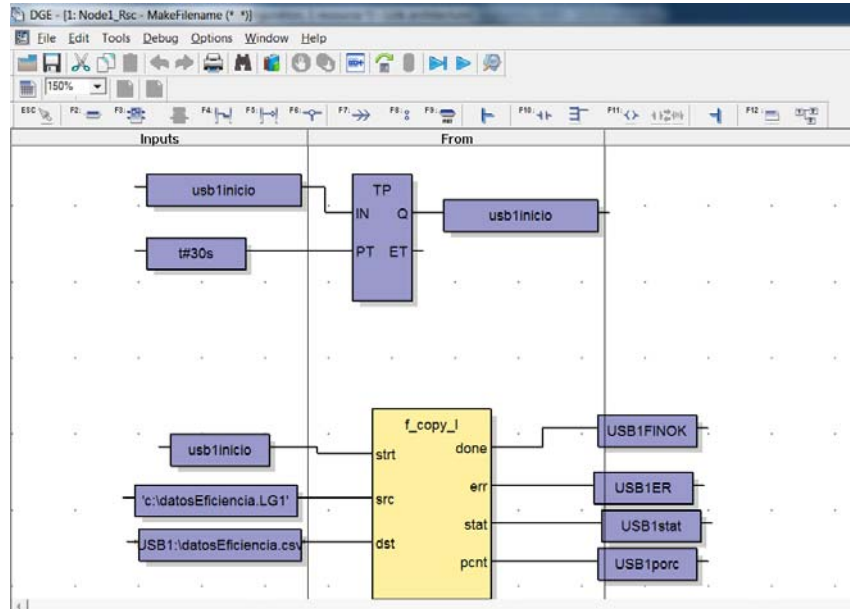


Figura 10. Diagrama de bloques usado para la transferencia de archivos.

Finalmente se muestra la configuración de la pantalla HMI local donde se tiene en la parte superior la variable que controla la transferencia de datos. Mediante el botón tipo joystick colocado al lado derecho de la pantalla se tiene acceso a la variable para su manejo (Fig. 11).

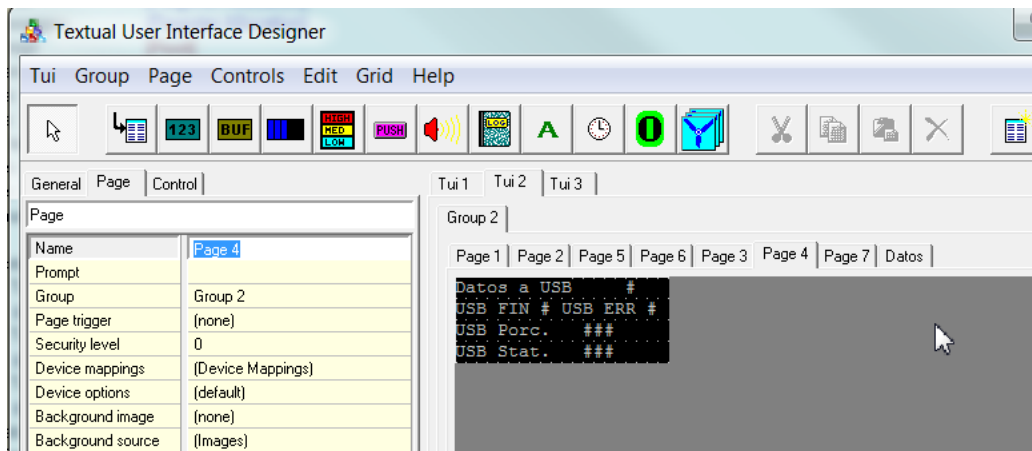


Figura 11. Configuración de la pantalla HMI para la transferencia de archivos.

IV.3 Configuración puertos de comunicación

En la aplicación se utilizan dos puertos de comunicación, el 2 y 5. El puerto 2 es un puerto RS485 con terminación de tornillo que se encuentra en la bornera de la UTR. El puerto 5 es un

puerto RS232 cuya conexión es mediante un conector RJ 45, la configuración de pines de este conector es similar al usado en los equipos SCADAPack de Schneider Electric.

El puerto 2 es usado para la comunicación MODBUS maestro con el árnes de parámetros eléctricos y los sensores de presión. La configuración del puerto es 9600-8-n-1 (Fig. 12). Con MODBUS maestro la UTR solicita la información a los equipos antes mencionados.

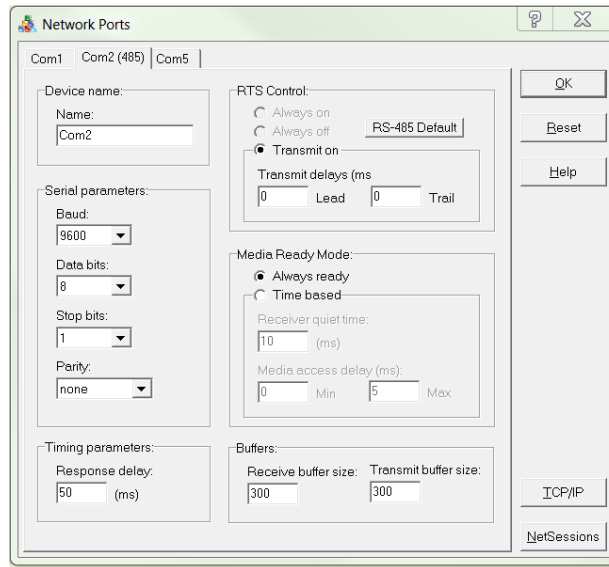


Figura 12. Configuración del puerto de comunicación 2.

El puerto 5 es un puerto RS232 el cual se utiliza en la comunicación con el medidor de gasto Panametrics. Los parámetros de configuración del puerto 5 (Fig. 13) son 9600-8-N-1.

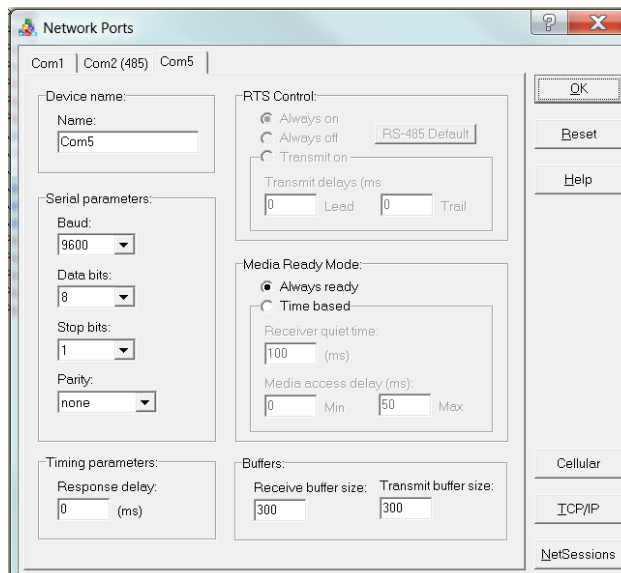


Figura 13. Parámetros de configuración del puerto de comunicación 5.

Como se mencionó anteriormente el puerto 2 se utiliza la comunicación MODBUS maestro. Para esto es necesario configurar una sesión de comunicación. El tipo de protocolo a usar es "MODBUS RTU Master" y el puerto usado 2. En la ventana de Registros "Register" de la sección de comunicación se especifica el formato de los datos: Modo de registro ("Register Mode") "AUTO"; tipo de entero ("Integer cast type") signo ("Signed"); índice del mensaje ("Message Index") directo ("direct"); Contador de Mensajes("Message Count") estándar ("estándar") (Fig. 14).

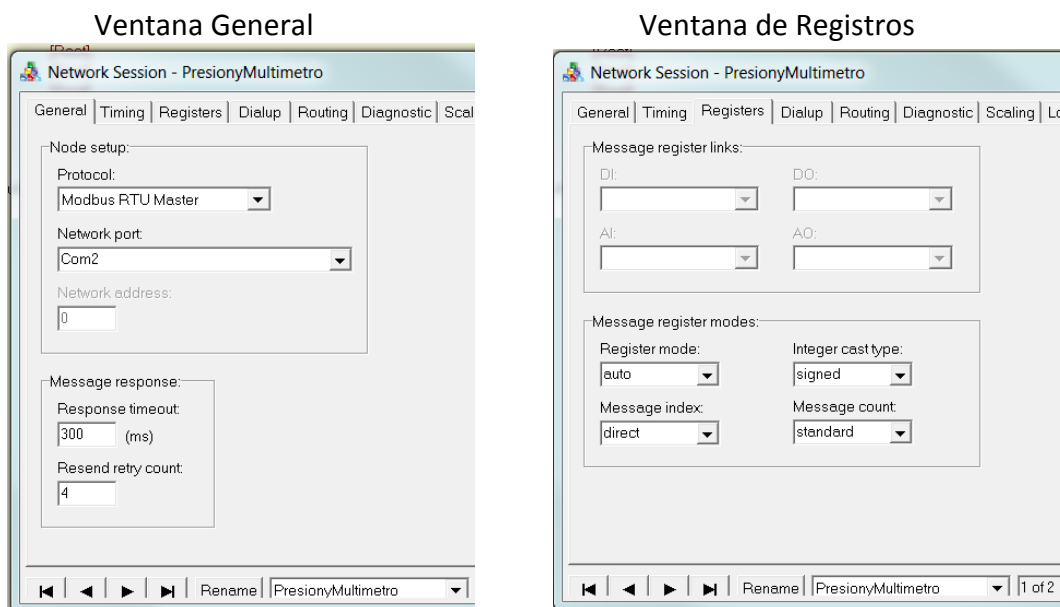


Figura 14. Configuración de la sesión de comunicación MODBUS Maestro

Definida la sesión de comunicación se define el destino de la red ("Network Destination"), es decir se identifican los equipos donde se solicitan los datos. Para el sensor de presión de succión la dirección MODBUS es 1 y la salida digital que indica falla de comunicación es "ComPresionSuccion". Para el sensor de presión de descarga la dirección es 2 y la salida digital es "ComPresionDescarga". Finalmente para el arnés de parámetros eléctricos la dirección es 3 y la salida digital "ComMultimetro" (Fig.15).

Una vez configuradas cada una de las sesiones de comunicación se procede a definir los registros de datos que se solicitan en cada una, esto se conoce como el evento de la red ("Network Event"). En el evento se especifica el tipo de acción a realizar, en este caso lectura ("read"), el tipo de variable a leer 4xxxx ("salidas analógica"), la dirección MODBUS de la variable a leer ("index"), el número de variables a leer ("Block size") y donde se guardan las variables leídas ("Destination"). En la ventana de Activación ("Activation") se indica el timer, frecuencia, ("Trigger") con el cual se leen los datos (5 s en todos los casos) y en la de opciones ("Option") como está ordenada la información en los registros leídos. En los casos analizados, el modo de registro usado es el bit más significativo primero ("MSB first") y el paquete de datos del mensaje es flotante ("Float")

Presión de Succión

Presión de Descarga

Arnés eléctrico

Figura 15 Sesiones de comunicación MODBUS usadas.

En la Fig. 16 se presentan los parámetros del evento de red para el sensor de succión. El registro leído es el F40003. El dato recuperado es almacenado en el registro “PresionSuccionBAR”. Para el evento del sensor de descarga los parámetros son iguales salvo el registro donde se guardan, él cual es “PresionDescargaBAR”.

Para el caso de la arnés los parámetros del evento de red son (Fig. 17): registros leídos F 40257 a F40310, el total de registros a leer es 27 y los datos son almacenados a partir del registro “MulConsumo0KW”. Todos los registros recuperados en el evento de red de arnés se presentan en la Fig. 17.

IV.4 Configuración de interfaces hombre máquina HMI

La unidad Lassen presenta cuatro diferentes tipos de interfases de operación: local; Telnet TCP puerto 23; remota mediante cable USB (alimentada por el puerto) o Ethernet; página WEB. El equipo Lassen cuenta con una pequeña pantalla en su parte inferior derecha de 4 líneas y 20 caracteres por línea, esta interfase es la local. La interfase Telnet TCP puerto 23 está disponible a través del puerto Ethernet de la unidad Lassen. Esta interfase es de 80

caracteres por línea con 25 líneas. La página WEB se obtiene configurándola con las opciones que tiene el programa SCADAbuilder. Los tres tipos de unidades descritos anteriormente fueron usadas en la aplicación desarrollada. El cuarto tipo de interface, remota es la usada en la puerta de gabinetes en instalaciones en campo, para esto se requiere un equipo Viewpoint II.

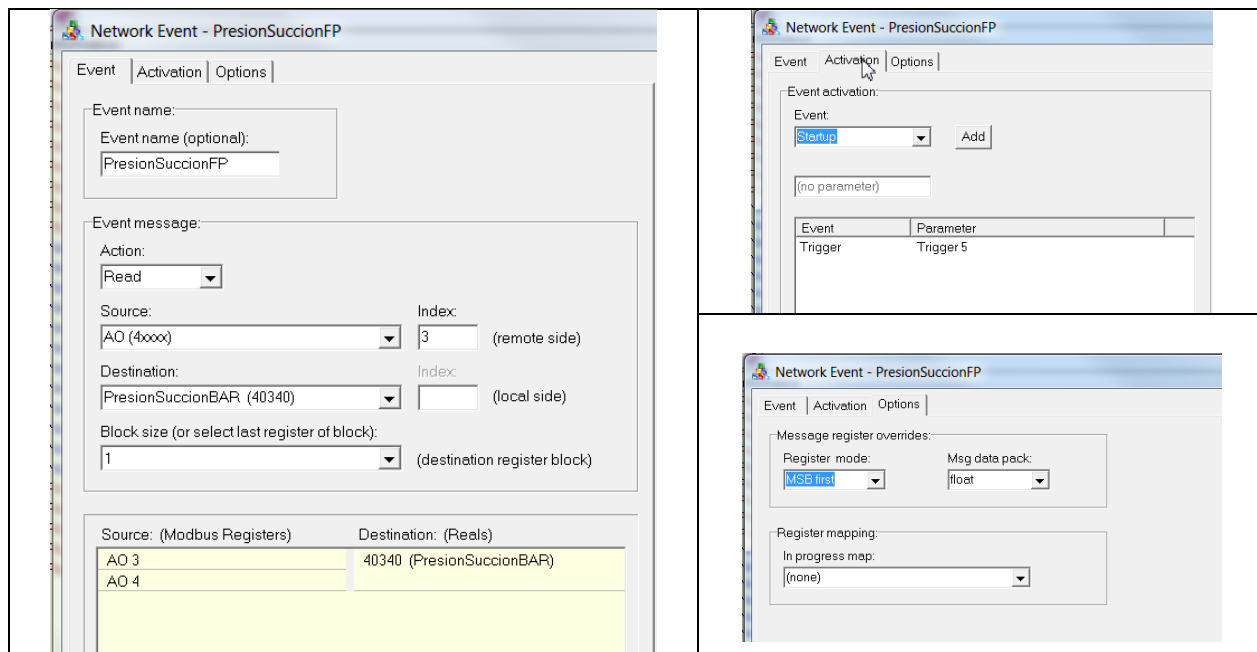
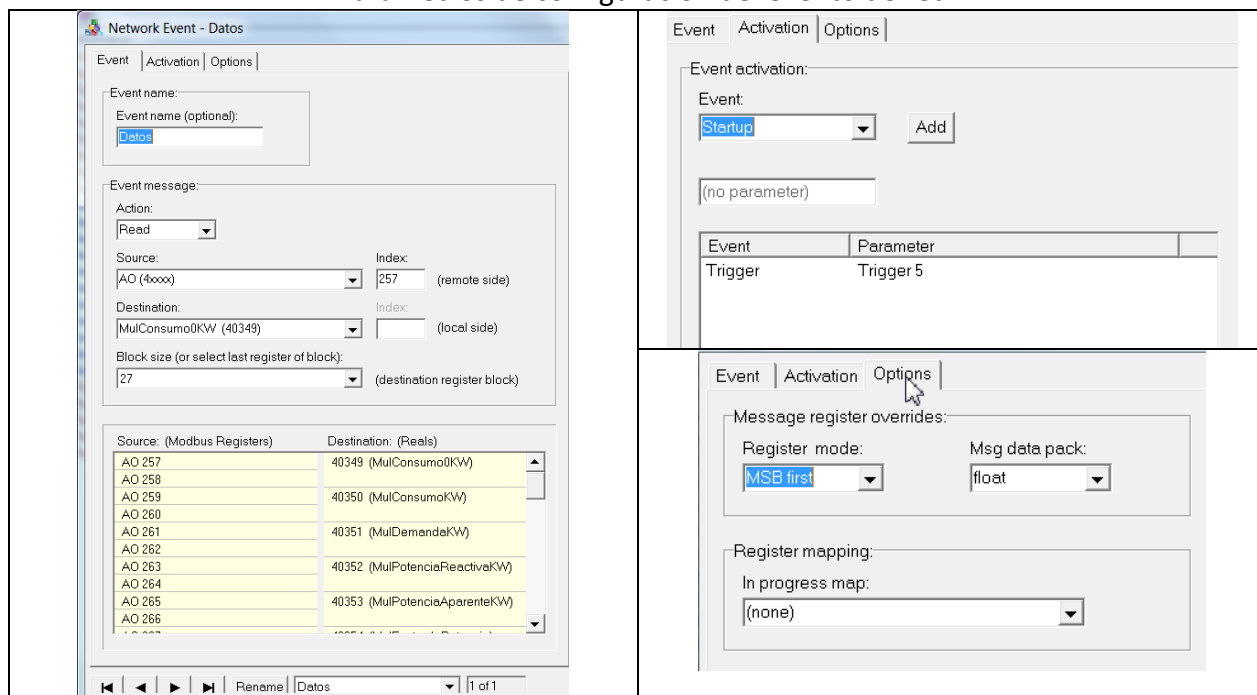


Figura 16 Parámetros del evento de red del sensor de succión.

Parámetros de configuración del evento de red

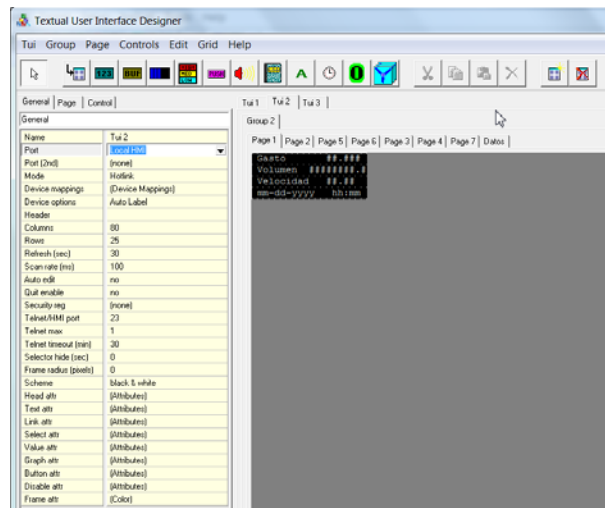


Registros leídos del arnés de parámetros eléctricos

<table border="1"> <thead> <tr> <th>Source: (Modbus Registers)</th> <th>Destination: (Reals)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>AO 257</td><td>40349 (MulConsumo0KW)</td></tr> <tr><td>AO 258</td><td></td></tr> <tr><td>AO 259</td><td>40350 (MulConsumoKW)</td></tr> <tr><td>AO 260</td><td></td></tr> <tr><td>AO 261</td><td>40351 (MulDemandaKW)</td></tr> <tr><td>AO 262</td><td></td></tr> <tr><td>AO 263</td><td>40352 (MulPotenciaReactivaKW)</td></tr> <tr><td>AO 264</td><td></td></tr> <tr><td>AO 265</td><td>40353 (MulPotenciaAparenteKW)</td></tr> <tr><td>AO 266</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Source: (Modbus Registers)	Destination: (Reals)	AO 257	40349 (MulConsumo0KW)	AO 258		AO 259	40350 (MulConsumoKW)	AO 260		AO 261	40351 (MulDemandaKW)	AO 262		AO 263	40352 (MulPotenciaReactivaKW)	AO 264		AO 265	40353 (MulPotenciaAparenteKW)	AO 266		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Source: (Modbus Registers)</th> <th>Destination: (Reals)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>AO 267</td><td>40354 (MulFactordePotencia)</td></tr> <tr><td>AO 268</td><td></td></tr> <tr><td>AO 269</td><td>40355 (MulVoltajeLineaLineaProm)</td></tr> <tr><td>AO 270</td><td></td></tr> <tr><td>AO 271</td><td>40356 (MulVoltajeLineaNeutroProm)</td></tr> <tr><td>AO 272</td><td></td></tr> <tr><td>AO 273</td><td>40357 (MulCorrienteProm)</td></tr> <tr><td>AO 274</td><td></td></tr> <tr><td>AO 275</td><td>40358 (MulDemandaFaseA)</td></tr> <tr><td>AO 276</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Source: (Modbus Registers)	Destination: (Reals)	AO 267	40354 (MulFactordePotencia)	AO 268		AO 269	40355 (MulVoltajeLineaLineaProm)	AO 270		AO 271	40356 (MulVoltajeLineaNeutroProm)	AO 272		AO 273	40357 (MulCorrienteProm)	AO 274		AO 275	40358 (MulDemandaFaseA)	AO 276	
Source: (Modbus Registers)	Destination: (Reals)																																												
AO 257	40349 (MulConsumo0KW)																																												
AO 258																																													
AO 259	40350 (MulConsumoKW)																																												
AO 260																																													
AO 261	40351 (MulDemandaKW)																																												
AO 262																																													
AO 263	40352 (MulPotenciaReactivaKW)																																												
AO 264																																													
AO 265	40353 (MulPotenciaAparenteKW)																																												
AO 266																																													
Source: (Modbus Registers)	Destination: (Reals)																																												
AO 267	40354 (MulFactordePotencia)																																												
AO 268																																													
AO 269	40355 (MulVoltajeLineaLineaProm)																																												
AO 270																																													
AO 271	40356 (MulVoltajeLineaNeutroProm)																																												
AO 272																																													
AO 273	40357 (MulCorrienteProm)																																												
AO 274																																													
AO 275	40358 (MulDemandaFaseA)																																												
AO 276																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Source: (Modbus Registers)</th> <th>Destination: (Reals)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>AO 277</td><td>40359 (MulDemandaFaseB)</td></tr> <tr><td>AO 278</td><td></td></tr> <tr><td>AO 279</td><td>40360 (MulDemandaFaseC)</td></tr> <tr><td>AO 280</td><td></td></tr> <tr><td>AO 281</td><td>40361 (MulFactorPotenciaFaseA)</td></tr> <tr><td>AO 282</td><td></td></tr> <tr><td>AO 283</td><td>40362 (MulFactorPotenciaFaseB)</td></tr> <tr><td>AO 284</td><td></td></tr> <tr><td>AO 285</td><td>40363 (MulFactorPotenciaFaseC)</td></tr> <tr><td>AO 286</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Source: (Modbus Registers)	Destination: (Reals)	AO 277	40359 (MulDemandaFaseB)	AO 278		AO 279	40360 (MulDemandaFaseC)	AO 280		AO 281	40361 (MulFactorPotenciaFaseA)	AO 282		AO 283	40362 (MulFactorPotenciaFaseB)	AO 284		AO 285	40363 (MulFactorPotenciaFaseC)	AO 286		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Source: (Modbus Registers)</th> <th>Destination: (Reals)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>AO 287</td><td>40364 (MulVoltajeFaseAB)</td></tr> <tr><td>AO 288</td><td></td></tr> <tr><td>AO 289</td><td>40365 (MulVoltajeFaseBC)</td></tr> <tr><td>AO 290</td><td></td></tr> <tr><td>AO 291</td><td>40366 (MulVoltajeFaseAC)</td></tr> <tr><td>AO 292</td><td></td></tr> <tr><td>AO 293</td><td>40367 (MulVoltajeFaseAN)</td></tr> <tr><td>AO 294</td><td></td></tr> <tr><td>AO 295</td><td>40368 (MulVoltajeFaseBN)</td></tr> <tr><td>AO 296</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Source: (Modbus Registers)	Destination: (Reals)	AO 287	40364 (MulVoltajeFaseAB)	AO 288		AO 289	40365 (MulVoltajeFaseBC)	AO 290		AO 291	40366 (MulVoltajeFaseAC)	AO 292		AO 293	40367 (MulVoltajeFaseAN)	AO 294		AO 295	40368 (MulVoltajeFaseBN)	AO 296	
Source: (Modbus Registers)	Destination: (Reals)																																												
AO 277	40359 (MulDemandaFaseB)																																												
AO 278																																													
AO 279	40360 (MulDemandaFaseC)																																												
AO 280																																													
AO 281	40361 (MulFactorPotenciaFaseA)																																												
AO 282																																													
AO 283	40362 (MulFactorPotenciaFaseB)																																												
AO 284																																													
AO 285	40363 (MulFactorPotenciaFaseC)																																												
AO 286																																													
Source: (Modbus Registers)	Destination: (Reals)																																												
AO 287	40364 (MulVoltajeFaseAB)																																												
AO 288																																													
AO 289	40365 (MulVoltajeFaseBC)																																												
AO 290																																													
AO 291	40366 (MulVoltajeFaseAC)																																												
AO 292																																													
AO 293	40367 (MulVoltajeFaseAN)																																												
AO 294																																													
AO 295	40368 (MulVoltajeFaseBN)																																												
AO 296																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Source: (Modbus Registers)</th> <th>Destination: (Reals)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>AO 297</td><td>40369 (MulVoltajeFaseCN)</td></tr> <tr><td>AO 298</td><td></td></tr> <tr><td>AO 299</td><td>40370 (MulCorrienteA)</td></tr> <tr><td>AO 300</td><td></td></tr> <tr><td>AO 301</td><td>40371 (MulCorrienteB)</td></tr> <tr><td>AO 302</td><td></td></tr> <tr><td>AO 303</td><td>40372 (MulCorrienteC)</td></tr> <tr><td>AO 304</td><td></td></tr> <tr><td>AO 305</td><td>40373 (MulDemandPromedio)</td></tr> <tr><td>AO 306</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Source: (Modbus Registers)	Destination: (Reals)	AO 297	40369 (MulVoltajeFaseCN)	AO 298		AO 299	40370 (MulCorrienteA)	AO 300		AO 301	40371 (MulCorrienteB)	AO 302		AO 303	40372 (MulCorrienteC)	AO 304		AO 305	40373 (MulDemandPromedio)	AO 306		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Source: (Modbus Registers)</th> <th>Destination: (Reals)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>AO 307</td><td>40374 (MulCorrienteB)</td></tr> <tr><td>AO 308</td><td></td></tr> <tr><td>AO 309</td><td>40375 (MulCorrienteC)</td></tr> <tr><td>AO 310</td><td></td></tr> <tr><td>AO 311</td><td>40376 (MulDemandPromedio)</td></tr> <tr><td>AO 312</td><td></td></tr> <tr><td>AO 313</td><td>40377 (MulDemandMinima)</td></tr> <tr><td>AO 314</td><td></td></tr> <tr><td>AO 315</td><td>40378 (MulDemandMaxima)</td></tr> <tr><td>AO 316</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Source: (Modbus Registers)	Destination: (Reals)	AO 307	40374 (MulCorrienteB)	AO 308		AO 309	40375 (MulCorrienteC)	AO 310		AO 311	40376 (MulDemandPromedio)	AO 312		AO 313	40377 (MulDemandMinima)	AO 314		AO 315	40378 (MulDemandMaxima)	AO 316	
Source: (Modbus Registers)	Destination: (Reals)																																												
AO 297	40369 (MulVoltajeFaseCN)																																												
AO 298																																													
AO 299	40370 (MulCorrienteA)																																												
AO 300																																													
AO 301	40371 (MulCorrienteB)																																												
AO 302																																													
AO 303	40372 (MulCorrienteC)																																												
AO 304																																													
AO 305	40373 (MulDemandPromedio)																																												
AO 306																																													
Source: (Modbus Registers)	Destination: (Reals)																																												
AO 307	40374 (MulCorrienteB)																																												
AO 308																																													
AO 309	40375 (MulCorrienteC)																																												
AO 310																																													
AO 311	40376 (MulDemandPromedio)																																												
AO 312																																													
AO 313	40377 (MulDemandMinima)																																												
AO 314																																													
AO 315	40378 (MulDemandMaxima)																																												
AO 316																																													

Figura 17 Parámetros del evento de red del arnés de parámetros eléctricos.

Como primer paso se describe la interfase local desarrollada. En la Fig. 18 se presenta la ventana de configuración de la pantalla HMI, en este se selecciona HMI Local. En la misma figura se muestran las 8 ventanas desarrolladas para la HMI local. Para pasar de una ventana a otra, moverse a través de las variables o cambiar el valor de una de ellas se usa el botón joystick localizado a la derecha de la pantalla en la unidad Lassen.



Ventanas de datos configuradas

Gasto ###.### Volumen #####.# Velocidad ##.## mm-dd-yyyy hh:mm	P. Suc. Bar ###.## P. Des. Bar ###.## Tem C ###.## Volt Alim ####.##	VAC Prom ###.## AAC Prom ###.## FacbPot #.### Demanda KW ###.###	Carga Hidra. ###.## Pot. Hidra. #####.# Pot. Elec. #####.# Eficiencia ##.##
C. Med Q (1) # # # Com P. Suc (0) # Com P. Desc (0) # Com Mul. (0) #	Datos a USB # USB FIN # USB ERR # USB Porc. ### USB Stat. ###	Relacion m3/kw Inicia # Calcula # ###.### #####.# Relacion ###.###	Datos correos # Gasto ###.### Volumen #####.# Nivel ##.##

Figura 18 Parámetros de la HMI local.

La segunda HMI configurada es la Telnet Ethernet TCP puerto 23. En la Fig. 19 se muestra los parámetros de configuración de esta interfase, seleccionándose la opción Telnet. Para pasar de un dato a otro se utiliza el ratón o las flechas del teclado, para ingresar datos se usa el teclado.

Finalmente se tiene la opción de la página WEB. En la Fig. 20 se muestran las dos páginas WEB desarrolladas. En la primera se presentan los datos básicos y los resultados del cálculo de eficiencia, en la segunda se presentan todos los datos hidráulicos y eléctricos obtenidos de los sensores.

IV.5 Programación de la Unidad Terminal Remota Lassen

Los equipos Lassen se programan usando el estándar de medición y control ISaGRaf IEE 61131. ISaGRAF permite programa el equipo en cualquiera de los siguientes lenguajes: diagrama de flujo; diagrama de funciones secuenciales, texto estructurado, lógica de escalera, diagrama de bloques de funciona; lista de instrucciones.

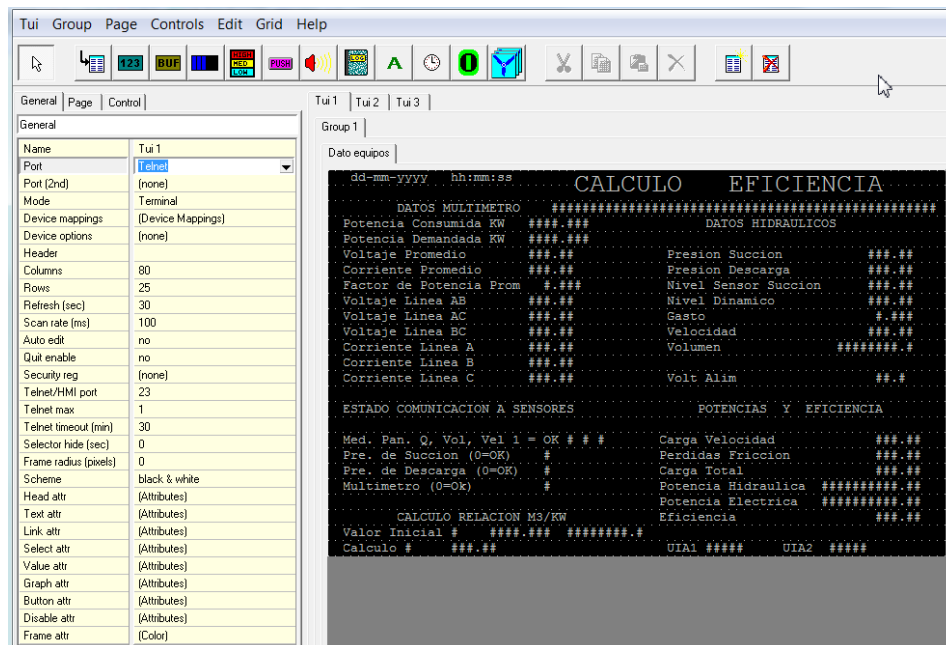


Figura 19 Parámetros del HMI Telnet.

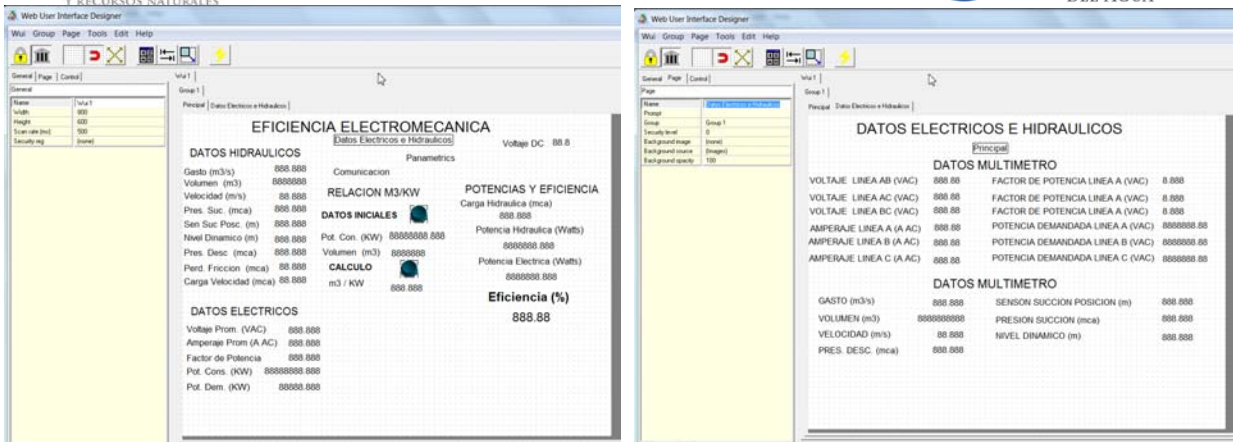


Figura 20 Parámetros de las páginas WEB.

La programación en ISaGRAF presente tres componente, el programa principal, funciones y bloques de funciones. Cualquiera de las tres componentes antes mencionada se puede programar en cualquiera de los lenguajes disponibles en ISaGRAF.

En la aplicación desarrollada se tiene un programa principal y dos funciones de bloque. Las funciones de bloque son "Calculoeficienciayarchivos" y "Panamtrics". En la primera función de bloque se realiza las operaciones necesarias para la determinación de la energía hidráulica proporcionada al agua por la bomba y la eficiencia electromecánica. En la segunda función se implemento el protocolo de comunicación del medidor de gasto usado Panametrics.

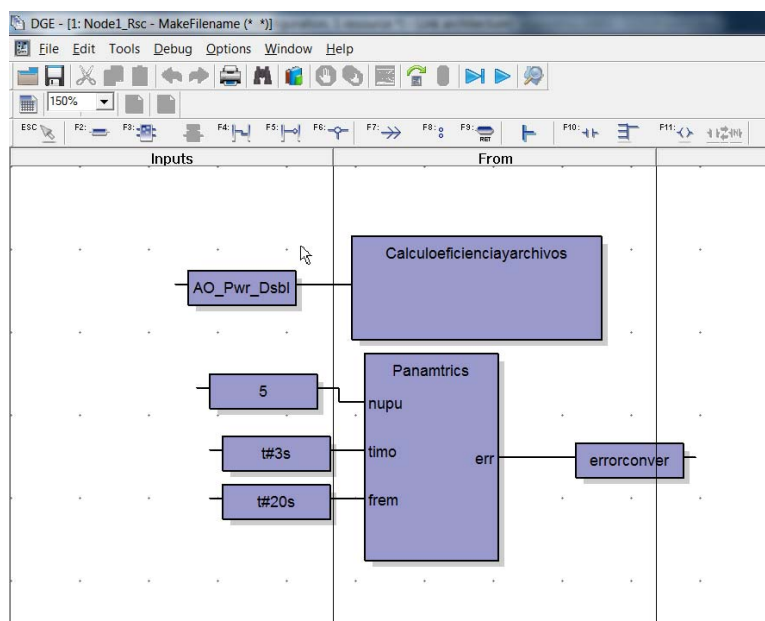


Figura 21 Programa principal de ISaGRAF.

El programa principal fue realizado en diagrama de función de bloques. En este programa se utilizan cuatro funciones de bloques (Fig 21). Las primeras dos llaman a las dos funciones de

bloque desarrolladas en el proyecto “Calculoeficienciayarchivos” y “Panamtrics”. Para la primera función el parámetro del bloque es solo de formato, no se usa en las operaciones presentes en esta. En el caso de la función Panamtrics, los parámetros son el número de puerto 5 (“nupu”), timeout 3s (“timo”), frecuencia de muestreo 20 s(“frem”) y error de conversión (“err”). Las otras dos funciones usadas se encargan del manejo de la transferencia del archivo de datos de la memoria IDE a la memoria USB y fueron descritos en la sección IV.2.

En la función de bloques “Calculoeficienciayarchivos” se hace el ajuste de unidades del voltaje de alimentación de entero en décimas de VCD a flotante en VCD, la conversión de unidades de los sensores de presión de BAR a MCA, el cálculo de la carga de velocidad, la potencia hidráulica y la potencia eléctrica, determinación de la eficiencia y obtención de la relación m3/potencia. A continuación aparece el programa de la función desarrollado en texto estructurado.

```
(* Archivos *)

(* Voltaje de alimentación *)
    Voltajealimentacion := ANY_TO_REAL(Input_Voltage) / 10.0;

(* Calculo de eficiencia *)

(* conversion presion de bar a metros de columna de agua*)

    if ComPresionSuccion = FALSE Then
        PresionSuccionMCA := 10.2 * PresionSuccionBAR;
    end_if;

    if ComPresionDescarga = False Then
        PresionDescargaMCA := 10.2 * PresionDescargaBAR;
    end_if;

(* Calculo de Carga Hidráulica *)
    EFCargaVelocidad := (Velocidad1 * Velocidad1) / 19.6133 ;
    EFCargaHidraulica := PresionDescargaMCA + EFNivelSensorSuc -
    PresionSuccionMCA + EFPerdidasFriccion + EFCargaVelocidad;
    EFNivelDinamico := EFNivelSensorSuc - PresionSuccionMCA ;

(* Potencia Hidráulica *)
    EFPotenciaHidraulica := EFCargaHidraulica * Gasto * 9806.6504;

(* Potencia Electrica *)
    EFPotenciaElectrica := 1.7320 * MulVoltajeLineaLineaProm *
    MulCorrienteProm * MulFactordePotencia;

(* Eficiencia *)
    If EFPotenciaElectrica = 0.0 then
```

```

EFEficiencia := 0.0;

else

    EFEficiencia := EFPotenciaHidraulica / EFPotenciaElectrica * 100.0 ;

end_if;

(* calculo de relacion m3/potencia *)

    if inicialm3kwm = true then

        M3kWpotenciaInicial := MulConsumoKW ;
        M3kWVolumenInicial := Volumen ;

    end_if;

    if (calculam3kwm = FALSE) or ((MulConsumoKW - M3kWpotenciaInicial) =
0.0) then

        m3kWrelacion := 0.0;

    else

        m3kWrelacion := (Volumen - M3kWVolumenInicial) / (MulConsumoKW -
M3kWpotenciaInicial);

    end_if;

```

Finalmente, en la función de bloques “Panamtrics” se presenta la implementación del protocolo de comunicación del medidor de gasto usado para recuperar los datos de gasto, velocidad y volumen acumulado. El programa desarrollado en texto estructurado es el siguiente:

```

(* PROTOCOLO DE COMUNICARON PANAMETRICS *)
(* PROPUESTA IMTA VICTOR RUIZ REPORTE INTERNO*)

CASE State OF

    0:          (* Lectura 3 datos de Panametrics, gasto, volumen y
velocidad *)

                (* abri el puerto en 9600-8-n-1, tamaño Buffer recepcion y
tamaño buffer escritura 255 *)

                if Resul = 0 then

                    (* temp1 := 'inicio puerto OK'; *)
                    (* Resul := ComWrStr( NumPuerto , 'inicio puerto OK error
= 1'); *)

                    Error := 1;
                    State := 1;

```

```

end_if;

(*inicializa todos las variables de lectura INFORMACIÓN RESERVADA *)

(* datos globales*)
DatosTotalLeido:= 3;
iniciacontador := TRUE;
P16 := 16#8005;

(* Resul := ComWrStr( NumPuerto , 'datos iniciales
recuperados'); *)

1:      (* tiempo trasncurrido, inicio lectura de datos y borra puerto*)
        ContadorFrecuenciaDatos(iniciacontador, FrecuenciaDatos);
        iniciacontador := FALSE;

        If ContadorFrecuenciaDatos.Q = FALSE then
            NumDato :=1;
            (* Resul := ComWrStr( NumPuerto , 'trasncurrido
lectura inicio'); *)
            iniciacontador := TRUE;
        end_if;

2:      (* limpia buffer , inicia lectura de datos *)

        If NumDato <= DatosTotalLeido then
            intentos := 0 ;
            State := 3 ;
        else
            State := 1 ;
            iniciatimeout := false ;
            iniciacontador := true ;
        end_if;

3:      (* inicia timeout, intentos y inicia timerout *)

        (* solicitud de datos para Risonic hexadecimal inicio 20 OA 80
47 02 DATO SOLICITADO 00 00 MENOS SIGNIFICATIVO CRC MAS SIGNIFICATIVO CRC
*)
        (* El CRC es la suma hexadecimal de todos los bytes del mensaje
el bits mas significativo del mensaje es 00 *)
        (* Q $00, h $0A, Vol $01, Velocidad $03 *)

        (* inicia timerout*)

        ContadorTimerOut( False, TimeOut);
        ContadorTimerOut( True, TimeOut);
        ContadorTimerOut( True, TimeOut);

        If ContadorTimerOut.Q = True Then

            Resul:= ComClRcv( NumPuerto ); (* se borra el buffer
para no tener datos de la solicitud anterior*)

```

```
temp := '$10' + '$02' + Datossecuencia [NumDato] +
DatosNumeroEquipo [NumDato] + '$50' + '$01' + DatosCanal [NumDato] +
DatosCodigo [NumDato] + DatosMSCRC [NumDato] + DatosLSCRC [NumDato] + '$10' +
'$03';
```

```
State := 4;
end_if;
```

```
else (* si paso de los 4 intentos de comunicación cambia de
dato y reinicia en estado 2 con el nuevo dato *)
```

```
NumDato := NumDato + 1;
State := 2;
```

```
end_if;
```

```
4: (* Se inicie el contador, se verifica que tenga un dato en el
puerto y se le verificandose que sea el inicio de paquete de lectura $20 *)
```

```
ContadorTimerOut ( False , TimeOut);
```

```
auxtemp3 := ANY_TO_STRING (ContadorTimerOut.Q);
```

```
DatosBuffer := ComRCnt ( NumPuerto );
```

```
(* indicando en que etapa se encuentra de vueltas *)
```

```
(* auxtemp := ANY_TO_STRING (NumDato);
auxtemp2 := ANY_TO_STRING (intentos);
```

```
Resul := ComWrStr( NumPuerto , ' RDR ' + auxtemp + ' ' +
auxtemp2 + ' ' + auxtemp3 + ' ' ); *)
```

```
If DatosBuffer >= 1 then
```

```
(* Resul := ComWrStr( NumPuerto , ' LEI '+ auxtemp);
*)
```

```
if DatoByte = 16#10 then
PaqueteByte [1] := DatoByte ; (* se recibe el
primer elemento del paquete *)
```

```
contadorlecturapaquete := 2 ;
```

```
State := 5;
```

```
end_if;
```

```
end_if;
```

```
else (* transcurrio el tiempo y no se tienen datos *)
```

```

intentos := intentos +1 ;

(*      auxtemp := ANY_TO_STRING (NumDato);
      auxtemp2 := ANY_TO_STRING (intentos);

      Resul := ComWrStr( NumPuerto , ' RDRnc ' + auxtemp + ' ' +
auxtemp2 + ' ' + auxtemp3 + ' ' ); *)

ContadorTimerOut( False, TimeOut);

end_if;

5:      (* se recibio el primer elemento del paquete *)
ContadorTimerOut( False , TimeOut);
if ContadorTimerOut.Q then

      DatosBuffer := ComRCnt( NumPuerto );

      DatoByte := ANY_TO_INT (ComRdBt( NumPuerto));
      auxtemp := ANY_TO_STRING (DatoByte);

      (*      Resul := ComWrStr( NumPuerto , ' LEE ' +
auxtemp); *)

      PaqueteByte[contadorlecturapaquete] := DatoByte
;

      contadorlecturapaquete := contadorlecturapaquete + 1
;

      End_For;

      If contadorlecturapaquete > 14 and
PaqueteByte[contadorlecturapaquete -1] = 16#03 then (* se tiene el paquete
completo *)

      State := 6;
      (*      Resul := ComWrStr( NumPuerto , ' PC ' ); *)

      (* error en protocolo panametrics el panametric en
algunos casos repite el bit 10 en el 11, en estos casos
el paquete no es de 14 datos es de 15 datos ojo
se corrige con este cambio *)

      IF contadorlecturapaquete = 16 then

      PaqueteByte[11] := PaqueteByte[12];
      PaqueteByte[13] := PaqueteByte[14];
      PaqueteByte[14] := PaqueteByte[15];

      end_if;

end_if ;

```

```

else
    (* transcurrido el tiempo y no se completo el paquete *)
    intentos := intentos +1 ;
end_if;
6:  (* Se recibio el paquete completo de datos se verifica el CRC *)
ContadorTimerOut( False , TimeOut);
if ContadorTimerOut.Q then
    (* Se verifica el mensaje se calcula el CRC reservado *)
    (* Resul := ComWrStr( NumPuerto , ' CRC ' ); *)

    CRC := 0;

    dataux2 := ANY_TO_DINT (Paquetebyte[12]) + shl (
ANY_TO_DINT (Paquetebyte[11]), 8) ;

    auxtemp := ANY_TO_STRING(CRC) + ' ' +
ANY_TO_STRING(dataux2);

    (* Resul := ComWrStr( NumPuerto , ' CRCRES '+ auxtemp + ' '
); *)

    If CRC = dataux2 then

    (* Resul := ComWrStr( NumPuerto , ' CRC OK ' ); *)

    (* Si pasa el CRC *)

        dataux1 := ANY_to_Dint (paquetebyte[ 10]);
        dataux2 := ANY_to_Dint (paquetebyte[ 9]);
        dataux3 := ANY_to_Dint (paquetebyte[ 8]);
        dataux4 := ANY_to_Dint (paquetebyte[ 7]);
        datoacomodado := dataux1 + shl(dataux2,8)+
shl(dataux3,16) + shl(dataux4,24);

        IF Numdato = 1 then
            datoacomodadoreal :=
ANY_TO_REAL(datoacomodado) / 1000.0 ; (* gasto con 3 decimales litros/seg *)
            end_if;

        IF Numdato = 2 then
            datoacomodadoreal :=

        end_if;

        IF Numdato = 3 then
            datoacomodadoreal :=
ANY_TO_REAL(datoacomodado) / 100.0 ; (* velocidad con 2 decimales cm/seg *)
            end_if;

            (* el volumen esta en m3/s *)

```

```

                                auxtemp := ANY_TO_STRING (datoacomodado) ;
                                auxtemp2 := ANY_TO_STRING(resul)+'
'+ANY_TO_STRING(Numdato);
                                (* Resul := ComWrStr( NumPuerto , ' DAT '+
auxtemp + ' ' + auxtemp2 + ' ' ); *)

                                resul:= BooWr(Datoscomestmemoria[NumDato] , TRUE );
                                State:= 2; (* se termina la lectura de datos y se
pasa al siguiente dato a leer *)

                                else

                                (* el CRC no es correcto, se solicita nuevo paquete y se
borra el buffer *)

                                Resul:= ComClRcv( NumPuerto ); (* se borra el buffer para
no tener datos de la solicitud anterior*)

                                end_if;

                                else

                                (* transcurrio el tiempo y no se compelto el paquete *)

                                intentos := intentos +1 ;
                                iniciatimeout := true ;

                                end_if;

END_CASE;

```

V. PRUEBA DEL EQUIPO DESARROLLADO

El equipo desarrollado se probó en una bomba de 50 HP instalada en el laboratorio de Hidráulica Enzo Levi del IMTA. Esta bomba es usada en la prueba del sistema de medición y control para equipos de bombeo.

Durante la prueba la prueba se registro el funcionamiento del equipo la potencia eléctrica medida fue en promedio de 26 KW, la energía proporcionada el agua de 13.5 KW en promedio y la eficiencia de 52%.



Figura 22. Equipo de prueba.

VI. REFERENCIAS

NOM-001-ENER-2000, Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical. Límites y métodos de prueba

NOM-004-ENER-2008 Eficiencia energética de bombas y conjunto motor-bomba para bombeo de agua-limpia, en potencias de 0,187 KW a 0,746 KW. Límite, métodos de prueba y etiquetado.

NOM-006-ENER-1995. Eficiencia energética electromecánica de sistemas de bombeo para pozos profundo en operación.-Límites y método de prueba.

NOM-010-ENER-2004 Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo. Límites y método de prueba.