

REPÚBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO  
FACULTAD METALURGIA – ELECTROMECAÁNICA  
MOA – HOLGUÍN



# TRABAJO DE DIPLOMA

En opción al título de

## Ingeniero Mecánico

**TÍTULO: Sistema de medición para variables en un Enfriador de mineral a escala piloto.**

**AUTOR:** Pedro Luis Vargas Ramos

**TUTORES:** M.Sc. Ever Góngora Leyva

Ing. Yosvani Rodríguez Rodríguez.

Ing. Maikel Núñez Estenoz.

**MOA 2010**

## DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Pedro Luis Vargas Ramos.

Autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del I.S.M.M. de Moa, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

---

Autor:

Pedro Luis Vargas Ramos

---

Tutor:

Maikel Núñez Estenoz

---

Tutor:

M.Sc. Ever Góngora Leyva

---

Tutor:

Yosvani Rodríguez Rodríguez

## AGRADECIMIENTOS

Hago extensivo y sin temor a equivocarme, mi más abierto reconocimiento a todas aquellas personas, quienes de una forma u otra se vieron implicadas en la realización e impresión de todo este trabajo de diploma, a ellos que con su modesto apoyo y preocupación fueron capaces de incentivar en mí, la fuerza y perseverancia necesarias durante todo este período de arduo trabajo, y a esta **Revolución Cubana** mi más sincero y profundo agradecimiento.

También son dignos de este agradecimiento y, de forma muy especial:

Mis dos hijos por los momentos de espera y sacrificio.

Mis compañeros de computación por su ayuda incondicional.

Mi familia por su apoyo.

Mi tutor Ever, que me ofreció su ayuda y dedicó parte de su apreciado tiempo.

A todos, mi eterno agradecimiento.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo, en primer lugar, al colectivo de profesores del Instituto Superior Minero Metalúrgico, que me han posibilitado una serie de conocimientos elementales para mi desarrollo y para mi cultura profesional en general, al Ministerio de Educación Superior y en especial a nuestra Revolución; a mi esposa, que en todo momento me ha apoyado para alcanzar este objetivo; a mis hijos, hermanos, amigos y a todos los que me dieron su apoyo en la realización del mismo.

## **PENSAMIENTO**

“La más hermosa y noble de todas las labores humanas es la del sembrador que en cualquiera de sus aplicaciones, suponga utilidad para sus semejantes (...)”

A. L. Casillas.

## **RESUMEN**

En el presente trabajo, se implementa un sistema de medición para variables termohidráulica, aplicado a un enfriador de mineral reducido a escala piloto. Se medirán todas las variables relacionadas con el enfriamiento del mineral.

Como SCADA se empleó el EROS el cual ha probado su confiabilidad en varios sistemas tecnológicos. Este sistema supervisor permite la medición continua de las magnitudes, de esta forma los operadores del enfriador de mineral reciben las informaciones oportunas. Además de un conjunto de sensores para la medición de temperaturas y caudal se logró el enlace de los mismos con la computadora mediante el autómatas Modicon. Se realizaron todas las configuraciones correspondientes de hardware y de software, comprobándose el estado del sistema por varios días continuos. De esta forma se comprobó el comportamiento de las variables ante los cambios en el proceso de enfriamiento del mineral.

Con las facilidades de experimentación que se tienen con esta aplicación, se pueden identificar los modelos matemáticos de los sistemas. Los resultados obtenidos con esta implementación servirán de apoyo a otras investigaciones referidas al comportamiento energético de los accionamientos implicados, de conjunto con las perturbaciones incidentes y las diferentes condiciones operacionales.

## **ABSTRACT**

In this work an Measurement System for thermo hydraulics variables is implemented a cooler of reduced mineral to scale steers. All the related variables with the cooling of the mineral will be measured.

Like SCADA the EROS was employed the who you/he/she/it have proven their dependability in several systems technologists. This system supervisor permits the direct mensuration of the magnitudes, in this way the operators of the cooler of mineral receive the opportune information's. Besides a group of sensors for the mensuration of temperatures and [caudal] was achieved the connection of the same with the computer by means of the Modicon robot. They were carried out all the corresponding configurations of hardware and of software, checking the state of the system for several days continuous. In this way the behaviour of the variables in front of the change in the process of cooling the mineral was checked.

With the eases of experimentation that are had with this application, one could identify the mathematical models of the systems. The outputs gotten with this implementation will be used as support to other investigations referred to the energy behaviour of the implicated accionamientos, of group with the incident interferences and the several conditions operationally.

<b>INDICE</b>		<b>Pág.</b>
	INTRODUCCIÓN	1
	<b>CAPÍTULO I</b>	5
	MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.1	Introducción.	5
1.2	Trabajos precedentes.	5
1.3	Proceso Tecnológico de la industria.	9
1.3.1	Complejo minero metalúrgico de nuestra empresa.	10
1.3.2	Descripción del proceso tecnológico de la planta de hornos de reducción.	11
1.3.3	Estado actual de la planta de hornos.	11
1.3.4	Descripción de la instalación de estudio.	13
1.4	Estado actual de la instrumentación del proceso de enfriamiento del mineral.	15
1.4.1	Principales insuficiencias en el monitoreo y control del sistema de enfriamiento del mineral reducido.	16
1.5	Marco conceptual de las características de las variables y de los sensores correspondientes.	17
1.5.1	Sensores y transmisores empleados para las variables de temperatura.	18
1.5.2	Principio de funcionamiento de la termoresistencia.	18
1.5.3	Construcción.	19
1.5.4	Componentes principales.	19
1.6.	Principio de funcionamiento del termopar tipo K.	20
1.6.1.	Construcción.	20
1.6.2	Componentes principales.	21
1.7	Principio de funcionamiento del convertidor de temperatura para termoresistencias.	21
1.7.1	Construcción mecánica.	22
1.8	Principio de funcionamiento del convertidor de temperatura para termopar tipo K.	22
1.9	Funcionamiento del transmisor diferencial.	23

1.9.1	Construcción.	23
1.9.2	Principio funcionamiento del plato de orificio.	24
1.10	Estructura del Software Supervisor EROS 5.8 para la aplicación específica.	26
1.11	Conclusiones.	28
	<b>CAPÍTULO 2</b>	29
	Materiales y métodos para el Sistema de Medición propuesto.	29
2.1	Introducción.	29
2.2	Reseña histórica del Sistema Automático de Medición de la planta de hornos de reducción.	29
2.2.1	Descripción de los sistemas de control.	29
2.2.2	Sistema de control y operación de los distintos parámetros de la planta de hornos.	30
2.2.3	Sistema de control y operación de los distintos parámetros de los enfriadores.	31
2.2.4	Nuevos criterios de selección de las variables para la propuesta de medición.	31
2.2.5	Características de las variables seleccionadas.	32
2.4	Estructura del hardware.	34
2.5	Tareas que se ejecutaron para el montaje físico de la instrumentación.	35
2.6	Autómata utilizado.	35
2.6.1	Base de entrada analógica 170 AAI 140 00.	35
2.6.2	Características del módulo.	36
2.6.3	Módulo de procesadores M1 171 CCC 960 30 IEC.	37
2.7	Configuración en el Software de programación del Hardware.	37
2.7.1	Selección de un procesador M1.	38
2.7.2	Requerimientos técnicos.	45
2.8	Conclusiones del capítulo.	46
	<b>CAPITULO 3</b>	47
	Generalidades de la aplicación SCADA EROS y valoración técnica económica del sistema.	47
3.1	Introducción.	47
3.2	Procesamiento de datos en el Software Supervisor EROS 5.8.	47
3.3	Protocolo de comunicación ETHERNET.	48

3.4	Formato data.	49
3.5	El registrador de variables.	49
3.5.1	Características del registrador de variables.	50
3.5.2	Información en las etiquetas.	51
3.6	Pie de gráfico.	53
3.6.1	Barra de desplazamiento.	54
3.7	Resolución para la visualización de las variables medidas en el registrador.	55
3.8	Exportar datos del registrador a Excel.	56
3.9	Configuración del SCADA.	57
3.9.1	Configuración del driver de comunicación.	59
3.9.2	Configuración de los dispositivos.	61
3.9.3	Configuración de variables.	63
3.9.4	Generales variables analógicas.	64
3.9.5	Linealización de la variable analógica.	65
3.9.6	Enlace en el dispositivo de la variable analógica.	67
3.4	Ventanas específicas de la aplicación.	69
3.4.1	Frecuencia de muestreo del sistema.	69
3.4.2	Verificación del funcionamiento del monitoreo del sistema del enfriador de mineral.	70
3.5	Valoración técnico económica e impacto ambiental del sistema.	71
3.6	Conclusiones del capítulo.	75
	CONCLUSIONES	76
	RECOMENDACIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	



## **INTRODUCCIÓN**

En Cuba la Industria del Níquel desempeña un papel importante dentro de la economía nacional, por ser una de las principales fuentes de ingreso de divisa al país. Insertada en esta rama, está la planta de níquel “Cmdte. René Ramos Latour”, exigiendo cada día más de la realización de investigaciones para lograr una elevada producción y disminuir la contaminación ambiental.

Siendo la empresa “Comandante René Ramos Latour” de Nicaro, la pionera en la producción de níquel, la cual inició sus operaciones en 1943, a instancia de una compañía norteamericana y motivada por la necesidad del níquel como material estratégico durante la Segunda Guerra Mundial. Ubicada en el nordeste de la provincia de Holguín; la cual fue diseñada para el tratamiento de los minerales lateríticos por el método de la lixiviación amoniacal basada en el proceso CARON.

La fábrica metalúrgica consta de varias plantas de producción y yacimientos mineros aislados topográficamente, agrupados en dos minas fundamentales: Mina Martí, la cual quedó en franco agotamiento y se encuentra actualmente en la reforestación y Mina Pinares encargada de suministrar el mineral a la fábrica mediante un transportador de bandas, situado en Pinares de Mayarí y que tiene como objetivo central, garantizar la continuidad operativa, a través de un sistema de transporte de mineral que permite abastecer el material necesario a la fábrica, según los planes previstos.

Por el complejo sistema de instalaciones que componen esta industria, se ha venido trabajando para incrementar la eficiencia de los equipos que se encargan de ejecutar el proceso de obtención del níquel metálico, para hacerla más productiva y competitiva en el mercado internacional. Dentro de la entidad, se pueden encontrar los enfriadores de mineral de la planta de hornos de reducción; que cumplen como función fundamental enfriar el mineral reducido que proviene de los hornos a una temperatura entre los 500 y 770° C hasta una temperatura, aproximadamente entre 150 y 170° C donde requiere que el mineral llegue al proceso de lixiviación.



El proceso de enfriamiento de mineral reducido ha sido objeto de estudio para profundizar en los fenómenos que intervienen en él. Varios son los estudios realizados por Góngora (2004), (2007), (2009) y Lamorú (2008); pero todavía no se ha resuelto la problemática en estos equipos de intercambio de calor, de ahí la importancia de la presente investigación.

Luego de varios años de explotación los enfriadores de mineral comenzaron a presentar problemas de agrietamiento y rajadura, esto conllevó a que se hicieran varias investigaciones buscando soluciones adecuadas a la problemática en cuestión. Dentro de algunas de las alternativas propuestas estuvieron la eliminación del primer tramo de raspadores, el cambio del ángulo de inclinación y el peso de los carros, por solo mencionar algunas, pero aún continúan los agrietamientos, las rajaduras y no se resuelve el problema de la elevada temperatura del mineral a la salida del enfriador, no se conoce el tiempo de retención, la velocidad del mineral dentro del cilindro, el flujo de mineral con que la tolva alimenta el enfriador, se desconocen los flujos de agua con los cuales debe trabajar la instalación, que garantice el nivel de flotación del cilindro y la temperatura requerida para el agua en la piscina; no se conoce la incidencia del tipo de carros raspadores (peso, inclinación y ángulo) en la velocidad y el tiempo de retención del mineral.

Debido a la complejidad de operación en la que intervienen los enfriadores de mineral, la situación actual del proceso de enfriamiento en los cilindros rotatorios se caracteriza por las siguientes deficiencias:

- limitaciones de los métodos existentes para la selección y cálculo de los parámetros racionales del proceso.
- baja eficiencia térmica del proceso de transferencia de calor presente en los enfriadores.
- elevadas temperaturas del mineral a la salida del enfriador (mayores de 240°C).
- limitaciones para realizar las mediciones de las variables a escala industrial, que imposibilita emitir criterios certeros sobre su funcionamiento.



Las causas que originan estas dificultades se encuentran latentes en el proceso industrial, lo cual conduce a la inexactitud de los proyectos acerca de los enfriadores, derivado de la ausencia de investigaciones científicas sobre este tema. Por ello se plantea la tarea de construir un enfriador de mineral a escala piloto, que contribuirá a conocer más de cerca las variables a medir, mediante un sistema de instrumentación y control, ya que en la industria, algunas de estas variables no se tienen en cuenta y afectan la productividad del equipo, que contribuirá a reducir los gastos anuales de la industria y aportará otros beneficios a la sociedad.

Tomando en consideración lo anteriormente expuesto, se plantea la siguiente problemática:

A partir de las deficiencias expresadas se define como **problema de investigación:**

No se tienen criterios acerca de, si la instalación a escala piloto para el enfriamiento del mineral reducido, cumple con los requerimientos de operación, mediante un sistema de medición de variables.

Teniendo en cuenta la problemática planteada y el problema de la investigación se define como **objeto de estudio:**

El enfriador de mineral reducido a escala piloto.

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis científica:**

Con un sistema de medición se puede realizar un reconocimiento exhaustivo de las variables del proceso, presentes en el enfriador de mineral a escala piloto, como base de nuevas estrategias de operación en función de garantizar la experimentación del enfriador de mineral.

En correspondencia con la hipótesis planteada se define como **objetivo general del trabajo:**

Implementar un sistema de medición en el enfriador de mineral reducido a escala piloto, que garanticen la explotación segura y eficiente de la instalación.



Para dar cumplimiento al objetivo general de la investigación se definen los siguientes **objetivos** específicos:

- Identificar las variables a medir durante el proceso y su posición en la instalación.
- Seleccionar e instalar los instrumentos de medición para la adquisición de las variables del proceso.

Para garantizar el desarrollo exitoso de la investigación se proponen las siguientes **tareas a realizar**:

1. Establecer el estado del arte sobre la temática tratada.
2. Realizar la caracterización del objeto de estudio.
3. Selección de las variables que identifiquen el proceso y sus puntos de medición.
4. Implementación de un control programable desde la PC, que permita el estudio de la dinámica de las variables que caracterizan el enfriamiento de mineral reducido.
5. Programar el autómata y el supervisor.
6. Puesta a punto del sistema
7. Obtener la valoración técnico-económica de la instalación.

En el desarrollo de la investigación **se aplican los siguientes métodos**:

- Método de investigación documental y bibliográfica para la sistematización del conjunto de conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
- Método de programación del PLC software Concept v.2.6.
- Método de programación del sistema SCADA EROS 58.
- Método de configuración de los elementos de campo.
- Método de calibración de los instrumentos de campo.
- Técnicas computacionales existentes para la validación del modelo.



## CAPITULO I

### MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Introducción

En el presente capítulo se realiza un análisis de las diferentes publicaciones expuestas en la bibliografía especializada que tienen relación con la temática estudiada, con el fin de tener presente los elementos básicos esenciales para el desarrollo de la investigación. Además se abordan temas relacionados con el proceso de enfriamiento del mineral laterítico reducido y en particular de los enfriadores de mineral, de los cuales depende en gran medida la eficiencia del proceso de lixiviación y lavado, en tal sentido el **objetivo** del capítulo es: establecer el estado del arte del proceso de enfriamiento del mineral a escala experimental, mediante el desarrollo del marco teórico de la investigación

En este capítulo se resaltan además, algunas especificaciones de los instrumentos de medición utilizados y los objetivos de su empleo mediante la interacción con los sistemas. Se aborda la estructura del SCADA a utilizar en la investigación. En este caso se emplea el sistema de supervisión de procesos EROS v.58. Se hace referencia a los aspectos teóricos de cada uno de los elementos que forman la instalación objeto de estudio.

#### 1.2 Trabajos precedentes

En marzo de 1942 se inició la construcción de la empresa “Cmdte. René Ramos Latour” con tecnología carbonato amoniacal, arrojando sus primeros resultados el 21 de diciembre 1943, cuando se envió de Cuba a los Estados Unidos una cantidad pequeña de Óxido de Níquel. Años más tarde, en 1988, estabiliza su producción la empresa “Cmdte. Ernesto Che Guevara” segunda de su tipo en Cuba con tecnología carbonato amoniacal. Destacando que ambas empresas constan en su esquema tecnológico con los enfriadores de mineral que son objeto de estudio en esta investigación.

Desde los inicios de la industria del Níquel en Cuba, los enfriadores de mineral laterítico reducido han presentado dificultades durante su funcionamiento, destacando las



elevadas temperaturas del mineral a su descarga por sobre los 200°C, dificultando así el proceso de lixiviación. Según **Presillas** (1977), esta dificultad se encuentra en los enfriadores de mineral desde su puesta en marcha en 1942, confirma además que en el período de 1943 a 1946 debido a que los enfriadores de mineral no garantizaban la temperatura requerida para el mineral a la descarga, se hicieron varias modificaciones: instalación de vibradores, se les puso cadena en los extremos interiores, y por último se le instalaron vigas Z. Ninguna de las opciones mejoró notablemente la eficiencia.

La primera parte de la revisión bibliográfica estuvo dirigida a los trabajos que guardan relación con el objeto de estudio y que desde el punto de vista científico, técnico y práctico se han efectuado en la empresa:

- “**Cmdte. René Ramos Latour**”

**Rodríguez** (1970, 1978) y **Gándara** (1980), estudiaron los mecanismos de transferencia de calor que provocan el enfriamiento del mineral reducido cuando se introduce vapor de agua en la atmósfera del enfriador. Se analizaron los mecanismos de absorción de calor sensible por el vapor de agua, el calor de reacción de oxidación del hierro y la variación en la transferencia de calor por convección y radiación. Concluyendo que el enfriamiento es causado fundamentalmente por un aumento en el flujo de calor transferido por radiación.

**Alonso** (1973) y **Alepuz** (1977), evaluaron experimentalmente las características del movimiento del mineral laterítico reducido caliente dentro del cilindro. Los resultados arrojaron que el ángulo formado por la superficie del mineral con la horizontal oscilaba entre los 20 y 25°, según el primero y según el segundo se formaba un ángulo de 22 a 26° con respecto a la horizontal, observando además que el mineral se desplazaba en el interior formando una masa estática.

**Rodríguez** (1977), **Rosell** (1986) y **Medina** (1995), evaluaron la influencia de los raspadores interiores de los enfriadores de mineral reducido sobre la velocidad de transferencia de calor, y la importancia de trabajar con películas finas de mineral reducido en la capa estática a través de la cual se transfiere el calor por conducción desde la masa de mineral hasta la plancha de acero de la pared. Plantearon que las



causas del enfriamiento deficiente del mineral, están relacionadas con la cantidad de carros raspadores, además que son detalles interiores que en conjunto contribuyen a una mejor movilidad del mineral, facilitando la disminución de la temperatura del mineral.

**Chacón** (1982), expuso que los raspadores exteriores impedían la formación de costras en el exterior del cuerpo del enfriador, favoreciendo el enfriamiento, y que no se tiene constancia que respalde su eliminación.

- “**Cmdte. Ernesto Che Guevara**”

En esta industria la mayoría de los trabajos revisados estaban dirigidos al estudio de los mecanismos de transferencia de calor y la incidencia del agua de enfriamiento en la temperatura del mineral a la salida de los enfriadores.

Se han desarrollado un grupo de trabajos de tesis relacionados con los enfriadores de mineral dentro de los que se destacan:

**TUNRA** (1998); encargada para la investigación de las propiedades del mineral concluyó que la conductividad térmica del mineral es deficiente y se reduce con la disminución de la temperatura, de modo que solamente el mineral más próximo al shell es enfriado. Sus recomendaciones son encaminadas a incrementar el área efectiva de los enfriadores o asegurar un buen mezclado de mineral en su interior para obtener 150 °C a 38 t/h reducidas.

**Valle** (2000 a, b), quien realizó la evaluación de los procesos de transferencia de calor que se ponen de manifiesto en los enfriadores de mineral, concluyendo que el mecanismo predominante es la conducción de calor desde el mineral a la pared interior del cilindro y que la mayor cantidad de calor se le transfiere al agua a través de la zona sumergida.

**Retirado** (2004), quien estableció las ecuaciones para la modelación matemática del proceso de transferencia de calor durante el enfriamiento del mineral laterítico reducido, por su parte **Londres** (2007), modeló y simuló dicho proceso con ayuda del método de elementos finitos auxiliado por el Software profesional ANSYS, luego De **Valle** (2008),



programó con ayuda del Software Matlab las ecuaciones de enlace para determinar los coeficientes de transferencia de calor por unidad de longitud que caracterizan el proceso de enfriamiento de mineral.

**Tabera y García** (2006), desarrollan un procedimiento de cálculo para la determinación de los coeficientes de transferencia de calor por unidad de longitud basado en el análisis térmico del proceso de enfriamiento del mineral a escala piloto. Estos autores omiten la transferencia de calor por radiación en el interior del cilindro, realizan algunas suposiciones que resultan importantes en el análisis térmico del proceso, no determinan la eficiencia térmica del mismo y asumen el aire como agente de enfriamiento y no el agua como realmente ocurre en el proceso, estos elementos hacen que el procedimiento expuesto por ellos no tenga el grado de exactitud requerido para la evaluación sistemática de la instalación.

Por otro lado **Cala** (2005), **Sotto** (2007), se dedicaron a evaluar el proceso de transferencia de calor durante el enfriamiento del mineral laterítico reducido, donde se establecieron los comportamientos de los principales parámetros que caracterizan el proceso, y la incidencia de las elevadas temperaturas del mineral a la descarga en el proceso de lixiviación y su efecto económico en la empresa.

Por su parte **Puyol** (2007), se dedicó al estudio del proceso de enfriamiento de mineral reducido a escala piloto para el cual hicieron importantes consideraciones que permitieron llegar a conclusiones acertadas acerca del comportamiento del mismo.

También aportaron información valiosa acerca del proceso, las tesis de maestrías realizadas por: **Góngora** (2004), quien estableció las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales que caracterizan el comportamiento dinámico del proceso de enfriamiento del mineral laterítico reducido y las ecuaciones de enlace para la estimación de los coeficientes de transferencia de calor por unidad de longitud; **Lamorú** (2008), quien evaluó el proceso de transferencia de calor de en el enfriador a escala piloto del centro de investigaciones de la laterita, permitiendo un ahorro considerable del agua para enfriamiento; por último **Spencer** (2010) estableció la identificación del proceso de enfriamiento con ayuda de las Redes Neuronales Artificiales, logrando un



coeficiente de correlación de un 99 % para flujos de mineral menores de 38 t/h y de 92 % para flujos mayores de ese valor.

En estos trabajos se explica que las principales limitaciones para el desarrollo de la investigación estuvieron dadas por la escasez de instrumentos de medición y la necesidad de registrar el comportamiento de algunas variables de proceso que no son incluidas en el sistema de supervisión y control en la empresa.

En general la literatura recoge pocos intentos de estudios experimentales de los cilindros rotatorios al parecer por la dificultad de realizar mediciones en dicho agregado, particularmente en condiciones industriales. Las más relevantes de éstas han involucrado a hornos tubulares rotatorios de amplia escala, pero debido a lo mencionado anteriormente carecen de una data de flujo de calor preciso y adecuado.

Por tal motivo resultan de gran interés para este trabajo la tesis de grado defendida por Quintero (2008), quien estableció los procedimientos de cálculos para establecer los criterios y números de semejanzas para la construcción de un enfriador horizontal a escala de laboratorio, de 3 m de largo por 0.3 m de diámetro, que cumple con los criterios de semejanza geométrica. Justificándose así la realización de este trabajo que garantizará las condiciones instrumentales necesarias que faciliten la adquisición de la base de datos para la evolución, modelación y simulación del proceso de enfriamiento del mineral laterítico reducido a escala piloto.

### **1.3 Proceso tecnológico de la industria.**

En diciembre de 1972 se acordó entre los gobiernos de la URSS y la República de Cuba la colaboración técnica para la rehabilitación de la fábrica niquelífera de Nicaro.

El esquema tecnológico de la fábrica de Nicaro está basado en el esquema de Lixiviación Carbonato – Amoniacal del mineral reducido o proceso Carón.

Esta tecnología estudiada y probada en la práctica durante muchos años en Cuba, ha funcionado según dicho esquema con resultados satisfactorios en nuestra empresa fundada en los años de la Segunda Guerra Mundial.



En Australia funciona actualmente una fábrica cuyo esquema tecnológico está basado en el método Carbonato – Amoniacal de la elaboración de los minerales oxidados.

Es un proceso continuo que se realiza en las condiciones de presión atmosféricas. El equipamiento tecnológico del proceso se distingue por su sencillez y amplia utilización de los aparatos conocidos (hornos de soleras múltiples, espesadores, columnas de destilación, etc.). Estas características favorecen la creación de una producción con alto nivel de mecanización y automatización. El esquema amoniacal admite la elaboración de las mezclas de los minerales lateríticos y serpentínicos procedentes de mina Martí y mina Pinares de Mayarí, mientras que otro esquema por ejemplo utilizado en la “Cdte. Pedro Soto Alba” de Moa está basado en la lixiviación de ácido sulfúrico, permitiendo la separación de la parte laterítica.

El producto final de la planta de recuperación y sinter en forma de óxido y polvillo es un producto estable de exportación en el mercado mundial y consumo nacional.

Se ha perfeccionado gradualmente en la tecnología amoniacal de acuerdo con los resultados prácticos obtenidos en la fábrica. Se contempla la extracción complementaria del cobalto en el concentrado de licor y la elaboración de otros productos.

La aplicación de esta tecnología permitirá aumentar grandemente el % de extracción de cobalto y níquel de nuestra empresa.

### **1.3.1 Complejo minero metalúrgico de nuestra empresa:**

1. Minas
2. Planta de Preparación de Mineral
3. Planta de Hornos de Reducción
4. Planta de Lixiviación y Cobalto
5. Planta Recuperación y Sinter
6. Termoeléctrica



7. Puerto con el sistema de recepción y almacenaje de petróleo y amoniaco
8. Planta de Tratamiento de Agua
9. Dique de Cola
10. Laboratorio central y otras secciones auxiliares.

### **1.3.2 Descripción del proceso tecnológico de la planta de hornos de reducción.**

La reducción selectiva del níquel y cobalto en el mineral, se realiza en los hornos de soleras múltiples (17 hogares) con gases obtenidos en las cámaras de combustión incompleta más el petróleo que se adiciona en el mineral en el hogar # 7

Los 11 hornos de la planta están divididos 6 en planta vieja y 5 en planta nueva. Los mismos son identificados cada uno con su línea para una mejor operatividad comenzando por la línea # 1 hasta la # 11.

El mineral secado y molido se transporta neumáticamente desde los silos hasta las tolvas de recepción de los hornos de múltiples hogares y luego se dosifica a los mismos.

El mineral reducido se traslada mediante el transportador rotatorio hacia los enfriadores. Después de enfriarse, el mineral reducido se mezcla con el licor amoniacal que circula por la canal donde pasa a los tanques de contacto.

### **1.3.3 Estado actual de la planta de hornos**

A partir de la segunda mitad de la década del 90 comienza un proceso de modernización y nuevas inversiones que han tenido como premisa fundamental el mejoramiento de las condiciones de trabajo y la protección del medio ambiente. Actualmente la planta de Hornos de Reducción de la empresa “Cmdte. René Ramos Latour” se encuentra en una etapa de modernización de sus instalaciones desde el punto de vista de su automatización y un nuevo sistema de combustión PRIOR, lo que ha permitido su continuidad productiva con el menor consumo de recursos energéticos. En su etapa primaria sólo se contempla la medición y registro de algunos parámetros



del proceso. El sistema de control de la planta de hornos de reducción está formado por 2 paneles de control, distribuidos uno para cada planta. Para ello se utiliza el sistema de supervisión y control de procesos EROS. Versión 5. 8. 1. 21. (Ver Anexo 1).

Cada panel está compuesto por controles que le permiten al operador controlar y dirigir cada operación mediante una computadora con un sistema de control informativo, que es la encargada de realizar los reportes por turnos así como de registrar el comportamiento de las distintas variables del proceso entre las que se encuentra la presión y temperatura de los hornos entre otros. A continuación se muestran los parámetros que se registran con sus correspondientes instrumentos de medición y las características técnicas de los mismos.

- PARÁMETRO: Flujo de mineral alimentado al enfriador.
- EQUIPO: Báscula de pesaje continuo, tipo WESTERDAM.
- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:
  - Alimentación 220 V AC
  - Entrada 0 a 18 t/h
  - Salida 4 a 20 mA

PARÁMETRO: Temperatura del mineral a la salida del enfriador.

- EQUIPO: Termómetro de resistencia Pt-100 con vaina y cabezal de conexión de roscado con convertidor de señal programable mediante PC alojado en el cabezal.
- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:
  - Temperatura de servicio hasta 873 K
  - Cabezal de conexión tipo B, construido de material ligero, para alojar un convertidor.
  - Convertidor de señal programable con rango ajustado.

PARÁMETRO: Temperatura del agua en la piscina.



- EQUIPO: Termómetro de resistencia Pt-100 con vaina y cabezal de conexión de roscado con convertidor de señal programable mediante PC alojado en el cabezal.

- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- Longitud de inmersión 250 mm
- Convertidor de señal programable con rango ajustado. 273 a 393 K

PARÁMETRO: Velocidad de rotación del enfriador

- EQUIPO: Tacogenerador.

- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- 0 a 8,0 rev/min 0 a 10 V

El sistema de control se realiza mediante la medición de cada uno de estos parámetros por su equipo correspondiente, luego envían la señal a la PC donde se registra la información y se muestra la interrelación entre los parámetros antes mencionados.

#### **1.3.4 Descripción de la instalación de estudio.**

Después que el mineral sale del horno es transportado por el tambor rotatorio (Jacoby) cuya función es transportar el mineral reducido de los hornos hasta el enfriador.

El transportador rotatorio consiste en un eje de acero sobre él, que está sujeto a una espiral, por un borde o nervio, con movimiento rotatorio dentro de una canal, cuyas paredes no rozan provocando el avance del material a lo largo del mismo.

El mineral después de pasar por el transportador rotatorio se descarga en el enfriador rotatorio horizontal (Cooler) el cual tiene como función enfriar el mineral reducido procedente de los hornos hasta una temperatura inferior a 250° C para luego enviarlo al proceso de lixiviación. El enfriador consiste en un cilindro rotatorio dividido en tres secciones en el que el mineral al caer se traslada por las secciones con la ayuda de carros que se encuentran en su interior. Cada sección del enfriador posee un separador



circular en todo el diámetro del equipo, que viabiliza el tiempo de retención preciso para que el mineral se enfríe adecuadamente.

El enfriador de mineral está diseñado básicamente para enfriar el mineral reducido que contiene níquel y una parte de hierro oxidado con vapor en el proceso de tratamiento del mineral niquelífero por tecnología amoniaca.

Para alcanzar un enfriamiento apropiado del mineral en el interior del cilindro existe una estructura donde cuelgan los rastrillos pendulares que transportan el mineral que va a ser enfriado, una vez que el rastrillo sigue el movimiento del tambor y logra una determinada altura, por su propio peso cae y revuelve la masa caliente a través de superposición de capas, empujando la capa caliente adyacente al cuerpo y transportando la capa fría.

#### **Características técnicas del enfriador de mineral.**

✓ Productividad (t/h)	19,4
✓ Densidad del mineral enfriado (t/m <sup>3</sup> )	3,3 a 3,5
✓ Granulometría (%)	83
✓ Temperatura del mineral a la entrada (°C)	750
✓ Temperatura del mineral a la salida (°C)	280
✓ Presión operativa (kPa)	0,01 a 0,02
✓ Consumo de agua en la piscina (m <sup>3</sup> /h)	107
✓ Temperatura del agua en la entrada (°C)	21
✓ Consumo del agua en las Chumaceras (m <sup>3</sup> /h)	1
✓ Potencia del motor principal (kW)	1200
✓ Velocidad de rotación del motor principal (rev/min)	1200



✓ Dimensiones del tambor en:	✓ planta nueva:	✓ en planta vieja:
- Largo (m)	- 27	- 19
- Diámetro exterior (m)	- 3,08	- 2.99
- Espesor de pared (mm)	- 15,875	- 15,875

#### **1.4. Estado actual de la instrumentación del proceso de enfriamiento del mineral.**

Actualmente el proceso de enfriamiento del mineral en la empresa “Cmdte. René Ramos Latour” se encuentra desde el punto de vista de su automatización y control, en una etapa primaria, pues sólo contempla la medición y registro de algunos parámetros del proceso, para ello se utiliza el sistema de supervisión y control de procesos EROS. Versión 5. 8. 1. 21.

El sistema de control de la planta de hornos de reducción está formado por 2 paneles de control, distribuidos uno para cada planta, en cada panel de control el operador controla y dirige la operación, en dicho panel están los controles donde se ubican todas las romanas para la dosificación a los hornos, los reguladores de la presión en h-16 y h-0 la temperatura del hogar h-4, h-6, h-9, h-11, h-15, temperatura de las cámaras de combustión, presión de entrada y retorno del petróleo, balanceo de los ventiladores de aire primario, parada en emergencia de los equipos fundamentales (horno, jacoby, Cooler), regulación del amperaje de los ventiladores post combustión, ventilador de tiro y desconexión de las máquinas colectoras de los electrofiltros ante cualquier avería.

Además en cada panel, el operador tiene una computadora con un sistema de control informativo que es la encargada de realizar los reportes por turnos así como de registrar el comportamiento de las distintas variables del proceso.

Mediante una revisión de la literatura referida a los procesos industriales no existe un procedimiento único que indique la manera de implementar la supervisión y el control. Es por tanto que cualquier acción que implique el mejor conocimiento de las magnitudes permitirá realizar propuestas de mejoras en la explotación de los sistemas y la consecuente disminución del consumo energético.



Se ha demostrado a través de los diferentes trabajos consultados, la incidencia de la instrumentación en la evaluación de los procesos térmicos y en el uso racional de la energía.

En la actualidad existe desconocimiento de la interrelación entre las variables inherentes al trabajo de los enfriadores. Esto impide la realización de trabajos de investigación que permitan enfocar estos sistemas desde la óptica multivariable. Además impide que se pueda generalizar el empleo de los variadores de velocidad en estos accionamientos con procedimientos acordes a toda una dinámica de las variables que participan. Un reconocimiento exhaustivo de estas magnitudes permitirá utilizar técnicas de investigación avanzada en busca de un comportamiento energético óptimo.

#### **1.4.1 Principales insuficiencias en el monitoreo y control del sistema de enfriamiento del mineral reducido.**

En ocasiones no se hace un análisis exhaustivo de la necesidad de incorporar determinada instrumentación. Se plantea que el alto costo de los instrumentos es una variable de decisión importante a la hora de las inversiones, pero las potencialidades en cuanto a su incidencia a la hora de mejorar la eficiencia energética en los sistemas, se aborda de forma superficial.

Para poder conocer el estado de los sistemas tecnológicos se necesitan estudios minuciosos en los que juegan un papel fundamental la instrumentación. Un caso específico de alto costo en materia de mediciones de variables no eléctrica, lo constituye la temperatura. Esta variable en el objeto de estudio es realmente significativa debido a que representa la caracterización fundamental del proceso de trabajo.

Después de realizar una revisión del objeto de estudio y compararlo con sistemas similares se concluye: que las variables a las que se le dedica mayor importancia son las temperaturas, las cuales reflejan una idea del compartimiento térmico de las sustancias que intervienen en el proceso de enfriamiento del mineral reducido. Un aspecto en que se debe mejorar es en la medición del flujo, que como se mencionó anteriormente no está implementada su aplicación.



Realizando un compendio de los sistemas de monitoreo y control existentes, se observa que las variables incorporadas a estos sistemas SCADA son las relacionadas con el proceso metalúrgico y no sucediendo así con las variables propias de trabajo de los enfriadores de mineral.

### **1.5 Marco conceptual de las características de las variables y de los sensores correspondientes**

En el libro Instrumentación Industrial, Tomo 1, Capítulo 3 hasta Capítulo 6, se describen las características de las magnitudes a medir.

Todos estos instrumentos con sus características constructivas y principio de funcionamiento fueron tomados del Catálogo FI 01 2006. Instrumentación de campo para la automatización de procesos de SIEMENS.

#### **a) Medición de temperatura**

La medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, la velocidad de captación de la temperatura, la distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesarios.

Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran:

- Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases).
- Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia).
- Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).
- f.e.m. (Fuerza electromotriz con que se mueven los electrones) creada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).



- Otros fenómenos utilizados en laboratorios (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal.)

## **b) Medición de caudal**

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales y en las efectuadas en el laboratorio y en plantas pilotos es muy importante la medición de los caudales de líquidos o de gases.

Medidores volumétricos:

Los medidores volumétricos determinan el caudal en volumen del fluido, bien sea directamente (desplazamiento), bien indirectamente por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino).

La medida de caudal volumétrico en la industria se efectúa principalmente con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso fluido. Entre estos elementos se encuentran las placas – orificios o diafragma, la tobera y el tubo de Venturi.

### **1.5 1 Sensores y transmisores empleados para las variables de temperatura.**

Para la medición de esta variable se emplearon termoresistencias Pt 100 con convertidor en el cabezal, rango de medición: 0 a 300°C, longitud de inmersión: 50 mm, toma de proceso: 1/2 npt, con racor deslizante y termopozo de 10 mm de diámetro incorporado, salida: 4 - 20 mA. Se utilizó además, termopares tipo K con rango de medición de 0 a 1200°C con longitud de inmersión de 70 mm toma de proceso: 1/2 npt, con racor deslizante y termopozo de 20 mm de diámetro incorporado.

### **1.5.2 Principio de funcionamiento de la termoresistencia.**

La corriente que circula por el termómetro los calienta con respecto al fluido a medir. El error de calentamiento provocado decrece con el cuadrado de la corriente y de forma lineal con el valor óhmico de la correspondiente resistencia de medida. Además de la dimensión de la corriente, el error depende también de la construcción de la termoresistencia y de la transferencia de calor entre la vaina de protección y el medio a medir. Los instrumentos indicadores que operan por galvanómetro y aguja requieren

una gran potencia. En este caso, la corriente por el termómetro no deberá superar 10 mA para mantener el error por calentamiento dentro de los límites admisibles. Al medir la temperatura de gases con una velocidad de flujo muy baja, el error por calentamiento resultará considerablemente mayor que si se mide la temperatura en gases o fluidos que circulan a gran velocidad. El error por calentamiento puede desatenderse en caso de velocidades de flujo muy grandes.

### 1.5.3 Construcción.

La resistencia de los cables internos está indicada en la unidad de medida, siempre que sea mayor que  $0,2 \Omega$ . Las unidades de medida están rellenas de un polvo aislante térmico el que cubre tanto la resistencia de medida como los cables internos y proporciona una alta resistencia a las vibraciones (para temperaturas hasta  $600^{\circ}\text{C}$ ). El arrollamiento está encapsulado en un cuerpo cerámico. Si las vibraciones en el punto de montaje superan los valores habituales, entonces convendrá utilizar las unidades de medida con la especial resistencia a las vibraciones (para temperaturas hasta  $450^{\circ}\text{C}$ ). En éstas, la resistencia está encapsulada en un cuerpo de vidrio fundido y homogéneo. En la figura 1.1 se muestra una imagen física de una termoresistencia.

### 1.5.4 Componentes principales:

- Unidad de medida con resistencia de medida.
- Tubo con placa soporte.
- ♦ Zócalo de conexión con resortes y 2 ó 3 cables internos de alambre revestido de Cu-Ni por cada resistencia de medida Pt100.



**Figura 1.1** Termoresistencia.

## 1.6 Principio de funcionamiento del termopar tipo K.

El termopar recto con vaina de protección metálica es idóneo para temperaturas de 0 a 1250°C. Presenta el convertidor de temperatura integrado.

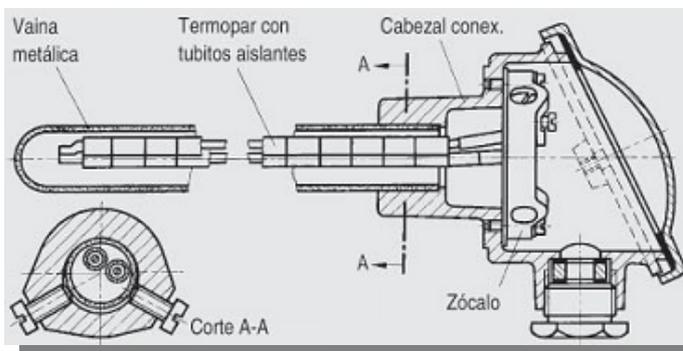
El termopar consiste en dos hilos de diferentes materiales o de aleaciones de metal, los cuales están soldados en uno de sus extremos, es decir, en el punto de medida:

Si el punto de medida se somete a una temperatura diferente a la de los extremos libres del termopar, entonces entre éstos se produce una tensión denominada f.e.m. (*efecto Seebeck*). El valor de esta tensión depende de la diferencia entre la temperatura del punto de medida y la temperatura de los extremos libres y además de los materiales combinados del termopar. Debido a que con un termopar se mide siempre una diferencia de temperatura, para determinar la temperatura absoluta en el punto de medida hay que mantener los extremos libres en un punto de referencia a una temperatura conocida y constante. En las figuras 1.2 a y b se muestran el esquema y la imagen física de un termopar tipo K y en la tabla 1.1 se relacionan sus principales datos técnicos.

### 1.6.1 Construcción.

Un termopar está compuesto de los siguientes elementos:

- El termopar propiamente dicho (la sonda de medida)
- Los elementos de montaje y de conexión necesarios en cada caso.



a) Esquema



b) Imagen

**Figura.1.2** Termopar tipo K

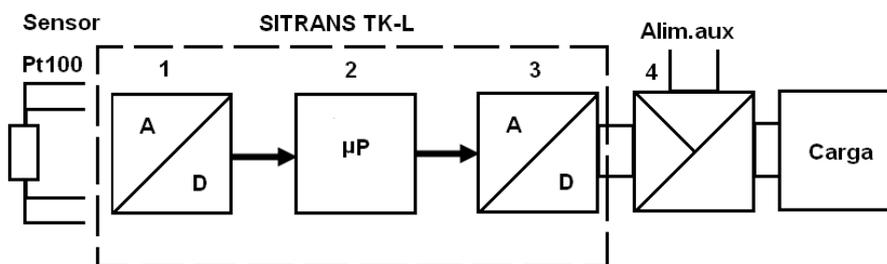
**1.6.2 Componentes principales:**

**Tabla.1.1** Datos técnicos del Termopar tipo K

Termopares Ni Cr/Ni, tipo K	
Número	2
Diámetro de los hilos	2 a 3 mm (0,08 a 0,12 pulgadas)
Aislamiento de los hilos	Tubo aislante
Vaina de protección	Metálica
Cabezal de conexión	Forma A, DIN 43729; en fundición de metal ligera, con una entrada de cable

**1.7 Principio de funcionamiento del convertidor de temperatura para termoresistencias.**

La señal suministrada por la termoresistencia Pt100 (sensor de temperatura) (conexión a 3 hilos) se amplifica en la etapa de entrada. La tensión proporcional a la magnitud de entrada se digitaliza a continuación en el convertidor analógico-digital (1) (figura 1.3), el microprocesador (2) se encarga de convertir las señales en función de la característica del sensor y de otros parámetros (amortiguación, resistencia del cable, etc.). En el convertidor digital-analógico (3), la señal preparada se transforma en una corriente continua de 4 a 20 mA independiente de la carga. La fuente de alimentación auxiliar (4) se encuentra en el circuito de salida.



**Figura 1.3.** Esquema del convertidor de temperatura.

1. Convertidor analógico digital

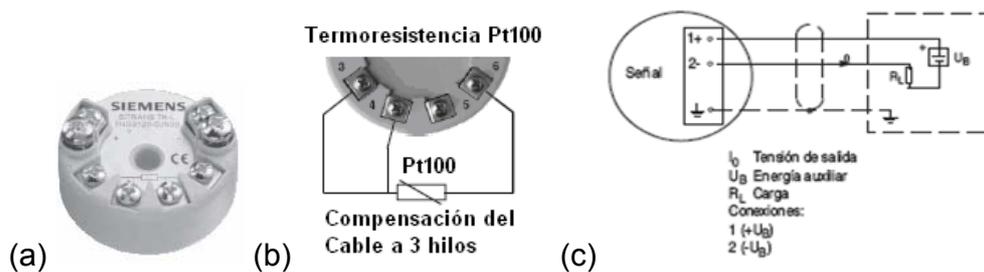
2. Microprocesador
3. Convertidor digital analógico
4. Fuente de alimentación auxiliar

### 1.7.1 Construcción mecánica

Su peso es de 50 g y están contruidos de material plástico, encapsulado. En la figura 1.4. (a) se muestra una imagen física del convertidor (a) y sus respectivas conexiones (b y c).

Grado de protección

- Caja IP40.
- Bornes IP00.



**Figura 1.4.** (a) Convertidor de temperatura, (b) Conexión del sensor al convertidor, (c) Conexión del convertidor.

### 1.8 Principio de funcionamiento del convertidor de temperatura para termopar tipo K.

El convertidor utilizado para la medida de temperatura con termopar es de la serie SITRANS TK a dos hilos (4 a 20 mA) programables con aislamiento galvánico para termoresistencias y termopares. Este se utilizó para la medición de temperatura a la entrada del mineral con un rango de 0 a 1200°C ya que la variable a medir está en el rango de 700 a 800°C y el rango máximo de las sondas de termoresistencia es de 600°C.



## **1.9 Funcionamiento del transmisor diferencial.**

A través de la membrana separadora y el líquido de relleno, la presión se transmite al sensor de presión de silicio. La presión actuante provoca la deflexión de la membrana de medida. En consecuencia, las cuatro piezoresistencias implantadas en la membrana, conectadas en puente, modifican su valor de resistencia. Esta variación de resistencia origina una tensión de salida del puente proporcional a la presión de entrada, aumentada en un amplificador y convertida directamente en la corriente de salida de 4 a 20 mA. Los transmisores con alcances de medida de  $\leq 63$  bar g miden la presión de entrada contra la atmósfera. El transmisor con el alcance de medida de 160 bar g efectúa la medición contra el vacío.

### **1.9.1 Construcción.**

El transmisor está compuesto de diferentes componentes según las especificaciones del cliente. Las posibilidades de composición se pueden consultar en las instrucciones de pedido. Los componentes especificados a continuación son los mismos en todos los instrumentos. En la parte lateral del transmisor se encuentra, entre otras cosas, la placa de características con la referencia. La referencia indicada lo especificado en las instrucciones de pedido es posible definir tanto los detalles de diseños opcionales como el posible rango de medida (propiedades físicas del elemento sensor incorporado). En el lado contrario se encuentra la placa de homologación. La carcasa es de fundición inyectada de aluminio o de fundición de acero inoxidable. En cada una de las partes frontal y posterior de la caja se encuentra una tapa redonda destornillable. La tapa delantera puede estar dotada de una mirilla que permite la lectura directa de los valores medidos en el indicador digital. Lateralmente, a elección, a la izquierda o a la derecha, se encuentra la entrada de cable para la conexión eléctrica. La abertura no utilizada está cerrada con un tapón ciego en el lado opuesto. En la parte posterior de la carcasa se encuentra el terminal de conexión del conductor de protección. Destornillando la tapa posterior se obtiene acceso a las conexiones eléctricas para la alimentación auxiliar y la pantalla. En la parte inferior de la carcasa se encuentra la célula de medida con la conexión al proceso. La célula de medida está protegida contra giro mediante un tornillo de retención. La estructura modular permite el cambio independiente de la célula de

medida y de la electrónica. Al hacerlo se mantienen los datos de parametrización ajustados. En el lado superior de la carcasa está la tapa de plástico, bajo la cual se encuentran las teclas integradas. La figura 1.5 muestra el transmisor de presión diferencial utilizado.

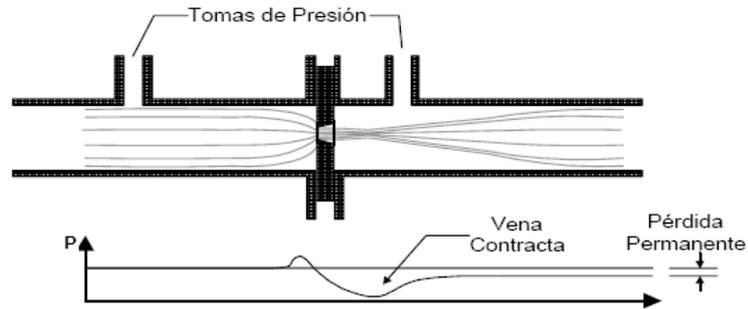


**Figura 1.5** Transmisor de presión diferencial.

### **1.9.2 Principio funcionamiento del Plato de orificio.**

El principio fundamental detrás de un medidor de plato de orificio es la ecuación de energía de Bernoulli para flujo estrangulado, la cual afirma que cuando un flujo es contraído o expandido, la energía total del fluido permanece constante. Por la contracción, la altura de velocidad se incrementa y la altura de presión disminuye, mientras que en la expansión, la altura de presión se incrementa a costo de la altura de la velocidad.

La reducción de la sección transversal al flujo, al pasar por un orificio, incrementa la altura de velocidad a expensas de la altura de presión. La ecuación de Bernoulli está provista de una base para correlacionar el incremento de la altura de la velocidad con la disminución de la altura de presión. Dada la agudeza del orificio, el flujo se divide del fluido aguas arriba y aguas abajo del plato orificio, formando un flujo jet libre, como muestra la figura 1.6.

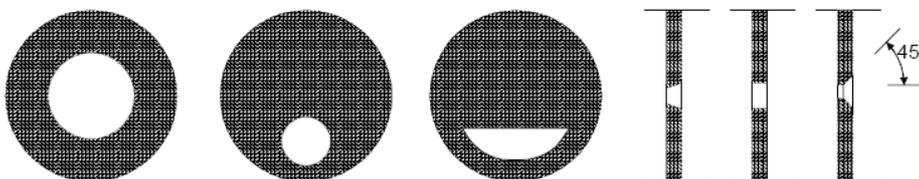


**Figura 1.6** Plato orificio.

La posición del punto de mínima área de flujo, la vena contracta, depende de la velocidad de flujo. Donde se encuentre la vena contracta se tendrá la mínima presión. Las tomas de presión, aguas arriba y aguas abajo, permiten la medición de la presión diferencial del orificio.

Los tipos de orificios pueden ser clasificados por su geometría. Cada uno tiene ventajas, desventajas y aplicaciones, como se muestra en la figura 1.7.

- Concéntrico
- Excéntrico
- Segmentado
- Anular
- Integral



**Figura: 1.7** Tipos de orificios de placas.



### 1.10 Estructura del Software Supervisor EROS 5.8 para la aplicación específica

Antes de definir la estructura del supervisor, es necesario hacer una reseña de su desarrollo. En el año 1973 se introduce por primera vez por el Grupo SAD-PT de la ECRRL, la computación a la supervisión de los procesos tecnológicos, acoplando una minicomputadora a un equipo de adquisición de datos.

Luego en 1993 se crea un grupo de trabajo para la aplicación de los medios superiores de cómputo en la tarea de supervisión de procesos tecnológicos.

A finales de 1993 sale a la luz la primera versión del SCADA EROS, soportada en el sistema operativo DOS, que se instala en la Planta de Lixiviación y Lavado de la Empresa "Comdte. Ernesto Che Guevara". En 1994 se comienza un trabajo conjunto con el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, representado por la figura del Dr.C. Rafael Trujillo Codorniú.

A partir de la instalación de este sistema y pasado un período de evaluación se comenzó a trabajar en la versión 2.0, la cual presentó en lo fundamental mejoras sustanciales en el Software de alto nivel, pues aunque también estaba soportada sobre DOS, se programó en Turbo Pascal, lo que le dio muchas facilidades visuales y nuevas funciones tales como:

- Posibilidad de trabajo en una RED a través de un servidor Novel.
- Posibilidad de almacenamiento de la historia del proceso, sólo limitada por la capacidad del disco duro de la PC.
- Alta capacidad de tratamiento interno de las variables del proceso (estadísticas y determinísticas).

Ya en 1998 surge la versión 3.0 presentando cambios esenciales:

- Estaba soportada sobre Windows95 que acababa de llegar al níquel.



- Se le incorpora un manejador de RED que facilita la conectividad entre estaciones y un procesamiento distribuido de las variables, eliminándose el servidor aprovechando la facilidad de Windows.
- La programación es orientada a objetos.
- Permite la comunicación con autómatas, a través de los cuales comenzaba a controlar y aplicar el mando a distancia desde la computadora.

En el año 2000 surge la versión 4, la cual va a poseer mayor robustez que las anteriores y posee las siguientes mejoras:

- Está soportado en ambiente Windows95/98/NT/2000 lo cual permite utilizar todas las posibilidades del mismo.
- La frecuencia de medición de las variables es versátil y amplia por lo que se puede medir con mayor precisión.
- Los mímicos son configurables por el usuario y usan la herramienta OLE.

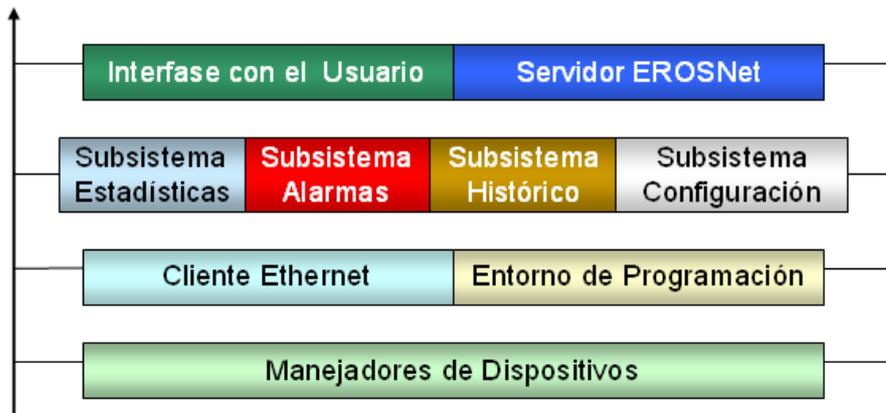
Producto de la experiencia y sugerencias en el año 2002 surge la versión 5 con los siguientes cambios:

- Mejoras sustanciales en la configuración de la aplicación.
- Se introducen los registros internos como un nuevo tipo de variable.
- Cambio total en el diseño y configuración de los mímicos.
- Facilidades para la integración con otras aplicaciones mediante la interfase ErosNet.

Actualmente se trabaja con la versión 5.8 producto de todos los ajustes necesarios, la cual se encuentra instalada en variadas esferas de la economía cubana:

- MINBAS(Cubaníquel, UNE y Geominera, CUPET)
- MINAZ
- CITMA (CENPALAB)
- MINAL (Sorbetos)
- MIP (Crianza de camarones y peces)

Actualmente este SCADA posee la estructura siguiente:



**Figura 1.8** Estructura del SCADA EROS.

Como se aprecia en la figura 1.8, el sistema está organizado en capas. En la capa más cercana al hardware están los manejadores de dispositivos. Los sistemas de supervisión necesitan comunicarse con autómatas e instrumentos de diversos fabricantes. Para añadir flexibilidad, el EROS interacciona con los dispositivos a través de manejadores (drivers). El objeto final del sistema es mostrar y/o controlar los valores de las mediciones que se realizan por los dispositivos físicos de la red industrial.

Esta información fue tomada del manual de operaciones del sistema de supervisión y control de procesos EROS.

### 1.11 Conclusiones

1. En la bibliografía consultada se observa que la problemática del enfriamiento del mineral reducido aún desde la puesta en marcha de la fábrica en 1943, no se resuelve y se han realizado varios estudios sobre el comportamiento de las diferentes variables que caracterizan el proceso a escala industrial, pero aún persisten los problemas.
2. La bibliografía consultada muestra que los principales resultados obtenidos son los expuestos por Góngora (2004), quien expuso el procedimiento de cálculo para la evaluación de la instalación y Lamorú (2008), que logró un ahorro de agua considerable en el proceso a escala piloto.



## **CAPITULO II**

### **Materiales y métodos para el sistema de medición propuesto.**

#### **2.1 Introducción**

En este capítulo aparecen los materiales y métodos para el sistema de medición experimental, implementado en el enfriador de mineral a escala piloto. Se incluyó en este sistema las principales variables que caracterizan el mismo. Se presentan de forma minuciosa los detalles del software de supervisión y sus potencialidades para esta aplicación específica. En el caso del hardware se describen las interacciones entre los elementos del sistema, desde el sensor hasta la validación de las magnitudes.

#### **2.2 Reseña histórica del sistema automático de medición de la planta de hornos de reducción.**

Como regla general la automática siempre contribuye a mejorar los indicadores de eficiencia energética en un sistema. Sin embargo cuando ésta comienza a presentar dificultades en los ajustes y regímenes de funcionamiento, puede traer consigo un incremento de los consumos de energía eléctrica.

##### **2.2.1 Descripción de los sistemas de control.**

El sistema de control está distribuido de la siguiente forma:

- ♦ Cada horno tiene asignado un autómata que es el encargado de procesar toda la información del proceso, es decir, a este, llegan todas las señales de las diferentes variables de proceso que intervienen en un horno.
- ♦ Todos estos PLC ó autómatas intercambian información con un PLC que está ubicado en el panel de control, el cual es el que tiene el control de toda la información y es el encargado de darle al operador toda la información del proceso a través de la computadora y el operador.
- ♦ Las señales correspondientes a los enfriadores llegan al operador a través del PLC correspondiente al horno par de dicha línea.



## 2.2.2 Sistema de control y operación de los distintos parámetros de la planta de hornos.

### Mediciones

- Presión del hogar 0: ésta se realiza a través de un transmisor de presión electrónico que envía la señal a PLC
- Temperatura en los hogares, 4, 6, 7, 9, 11, y 15. éstas se miden con termopares tipo k y su señal llega al PLC.
- Temperatura en las cámaras de combustión: éstas se realizan con termopares tipo b los cuales envían la señal hasta el PLC
- Temperatura del eje central: ésta se mide con una termoresistencia Pt-100 con convertidor incorporado, que este es el que envía la señal hasta el PLC
- Temperatura de los gases antes del ventilador de succión de gases: ésta se realiza con un termopar tipo k con convertidor incorporado el cual envía la señal al PLC.
- Concentración de CO en el horno: ésta se realiza a través de un analizador continuo ubicado en el piso 8 de cada planta y ésta envía una señal al PLC.

### Regulaciones

- Control de presión en el hogar 16: esta regulación se realiza a través de un regulador ubicado en el panel de control, éste recibe la señal de un transmisor de presión electrónico, la evalúa, procesa y envía una señal de control hacia la válvula de regulación ubicada en la salida de los gases del horno, la señal del transmisor llega también al PLC, para poder ser indicada en el monitor de la computadora.
- Control de la temperatura del hogar 4: esta regulación se realiza con un regulador ubicado en el panel de control, éste recibe la señal que le envía un termopar tipo k con convertidor incorporado, la procesa y acciona la válvula de regulación de aire de pos-combustión del hogar 4, la señal del termopar también es llevada al PLC para ser indicada y registrada en la computadora.



### **2.2.3 Sistema de control y operación de los distintos parámetros de los enfriadores.**

#### **Mediciones**

Temperatura de descarga del mineral y del agua en la piscina: ambas se miden con termoresistencia Pt-100 con convertidor incorporado y sus señales llegan al PLC del horno par correspondiente a la línea.

#### **Regulaciones.**

Como se puede apreciar, en el control de las variables en el enfriador es limitado, sólo se miden aquellas variables que son indispensables para el proceso metalúrgico y no se incluyen aquellas que son importantes para la evaluación y caracterización del proceso de enfriamiento del mineral reducido, como son: temperatura del mineral y del agua a la entrada, flujo de agua, temperatura del mineral y del agua en diferentes puntos en el interior del cilindro y en la piscina.

### **2.2.4 Nuevos criterios de selección de las variables para la propuesta de medición.**

Dada la complejidad térmica de este sistema se hace necesario conocer en lo fundamental los siguientes elementos:

- La ganancia de calor de la sustancia de enfriamiento para las distintas condiciones de operación del equipo.
- El comportamiento de la temperatura del agua a la entrada, a la salida y en toda la longitud del enfriador (tres puntos).
- La variación del caudal de agua que se suministra para el enfriamiento del mineral.
- El comportamiento de la temperatura del mineral a la entrada, a la salida y en toda la longitud del enfriador (tres puntos en el interior).
- El comportamiento de la temperatura ambiente como una de las perturbaciones que ocurren en los procesos de transferencia de calor.



Los trabajos precedentes indican que existen interacciones entre las variables y otras incidencias que mediante el conocimiento de sus influencias; se pueden proponer operaciones más racionales de estos sistemas. Por lo general las variables que van a la automática en relación con el equipo, son las temperatura del mineral en la entrada, en la salida del agua de la piscina, tres temperatura dentro de la piscina, tres de ellas dentro del cilindro, la temperatura ambiente, la temperatura de entrada del agua, de la salida y el flujo de agua que entra en la piscina.

### 2.2.5 Características de las variables seleccionadas.

Las variables que caracterizan en su totalidad los procesos de las diferentes temperaturas presentes en el enfriador se relacionan a continuación en la tabla 2.1 y se le dio la ubicación de los instrumentos que serán instalados en el equipo, (ver anexo 7).

**Tabla 2.1.** Principales variables presentes en los sistemas de operaciones del enfriador a escala piloto.

Nº	Nombre de la variable	Símbolo y/o Identificador	Rango
1	Temperatura de entrada del mineral	Tem	700a800°C
2	Temperatura de salida del agua	Tsa	75 a 85°C.
3	Temperatura del agua en la piscina (punto 1)	Ta1	70 a 85°C
4	Temperatura del agua en la piscina (punto 2)	Ta2	70 a 85°C
5	Temperatura del agua en la piscina (punto 3)	Ta3	70 a 85°C
6	Temperatura en el interior del cilindro punto 1	Tm1	150 a 700 °C
7	Temperatura en el interior del cilindro punto 2	Tm2	150 a 700 °C
8	Temperatura en el interior del cilindro punto 3	Tm3	150 a 700 °C
9	Temperatura de salida del mineral	Tsm	150 a 300°C
10	Temperatura de entrada del agua	Tea	26 a 30°C
11	Temperatura ambiente	TempAmb	25 a 30°C
12	Flujo del agua	Fae	0.3 a 0.4 m <sup>3</sup> /h



**Temperatura de entrada de agua de enfriamiento:** Esta variable es considerada una perturbación pues no se puede establecer un valor constante y la misma depende de las condiciones atmosféricas de la región y de la eficiencia de las torres de enfriamiento. La misma oscila en un rango entre 26 y 30°C.

**Temperatura de salida de agua de enfriamiento:** Esta variable es considerada una de las más importantes del proceso, pues la misma nos da una magnitud de la cantidad de calor que es absorbida por el agua y oscila entre los 75 a 85°C.

**Temperatura del agua en la piscina punto 1, 2, 3:** Estas temperaturas se consideran como una variable imprescindible para la evaluación del sistema, porque las mismas permiten establecer el circuito de transferencia de calor desde el mineral en el interior del cilindro hasta el agua, además permite evaluar la influencia de la velocidad del agua en el proceso de transmisión de calor. El rango en que se mueve esta variable está entre los 50 y 85°C.

**Temperatura ambiente:** Esta variable depende fundamentalmente de las condiciones atmosféricas de la región y la estación del año, también incide la eficiencia de las torres de enfriamiento. La misma es considerada una perturbación debido a que tiene un rango de variación entre los 25 y 30°C.

**Temperatura del mineral a la entrada:** Esta variable es considerada una perturbación porque la misma depende de la temperatura de los gases en el último hogar del horno, que es el parámetro que se controla desde el punto de vista metalúrgico. La temperatura de los gases debe oscilar entre los 700 y 800°C, para el caso de la instalación experimental a escala piloto, la temperatura del mineral se registrará a la entrada de alimentador de tornillo sin fin.

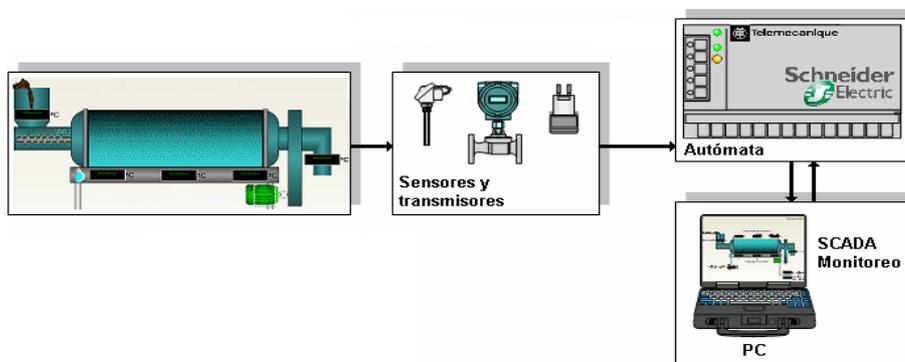
**Temperatura del mineral punto 1, 2, 3:** Estas variables se medirán puntualmente en el interior del cilindro, con el objetivo de establecer el comportamiento de la temperatura del mineral laterítico reducido en toda la longitud del cilindro para su posterior comparación con los resultados obtenidos del modelo matemático. El rango de variación de esta variable está entre 150 y 750°C .

**Temperatura del mineral a la salida:** ésta es considerada la variable de salida o dependiente, la misma es de vital importancia para el proceso de lixiviación y lavado, ya que de ella depende la temperatura y la cantidad de licor a utilizar en los tanques de contacto. También tiene gran incidencia en el índice de extractable y la eficiencia metalúrgica. El rango de variación de la misma oscila entre los 150 y 300°C.

**Caudal de agua de enfriamiento:** es considerada como una variable de entrada porque es la que garantiza la extracción del calor que debe entregar el mineral durante su enfriamiento. También permite establecer el valor de temperatura que se desee para el agua en la piscina. El rango en que oscila esta variable está entre los 0.3 y 0.4 m<sup>3</sup>/h.

## 2.4 Estructura del hardware.

Las pretensiones fundamentales de esta estructura de hardware consisten en lograr las mediciones de las variables reales de implementación en este sistema. Se recuerda que este sistema es de operación piloto. Concretamente se desea medir las variables térmicas e hidráulicas. En la figura 2.1 se aprecia el diagrama de bloques de la aplicación.



**Figura 2.1** Diagrama en bloques del hardware

El sistema está compuesto por un dispositivo controlador Modicon 171 CCC 960 30 de la firma TELEMECANIQUE Schneider Electric; un termopar tipo K, termoresistencias Pt-100 y convertidores SITRANS K para las mediciones de temperaturas; para medir el flujo de agua que entrará al enfriador tendremos un transmisor de presión diferencial SITRANS P. Todos estos transmisores y sensores pertenecientes a la firma SIEMENS.



Las mediciones tomadas por el sistema serán monitoreadas por el SCADA EROS. Este sistema mide las variables antes definidas, las mismas se controlarán constantemente.

## **2.5 Tareas que se ejecutaron para el montaje físico de la instrumentación.**

- Cableado de las señales a medir y controlar.
- Montaje del armario del autómeta.
- Montaje y alambraje de los instrumentos de medición.
- Montaje y alambraje del autómeta Modicon.
- Comprobación del alambraje.
- Conexión de los dispositivos de comunicación del autómeta con la PC.
- Instalación de la PC y de la aplicación diseñada con el SCADA.

## **2.6 Autómeta utilizado.**

El autómeta utilizado en esta aplicación es el Momentum de la firma Schneider Electric. Los productos Momentum son modulares. Para que una base de entradas/salidas sea funcional es preciso que esté equipada con un módulo de comunicación o un módulo procesador. Los módulos de comunicación y los módulos procesadores Momentum están diseñados para funcionar como módulos funcionales cuando están montados sobre una base de entradas/salidas Momentum. Estas bases gestionan los datos procedentes de los sensores de campo y controlan los accionamientos tanto analógicos como digitales.

### **2.6.1 Base de entrada analógica 170 AAI 140 00**

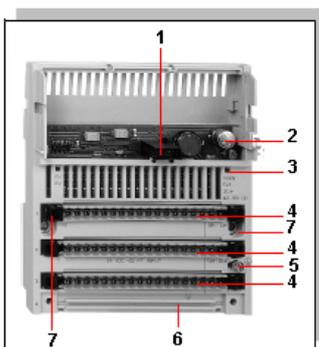
La base de entrada analógica (ver figura 2.2) 170 AAI 140 00 cuenta con 16 canales de entrada analógicos asimétricos no aislados, y puede utilizarse en aplicaciones de vigilancia y medición de procesos continuos. Esta base E/S también cuenta con detección de cables cortados.

**La parte frontal de las bases de entradas/salidas 170 AAI 140 000 incluye:**

1. Un conector de interfase interno para el módulo de comunicación o el módulo procesador.
2. Un contacto de enclavamiento y de tierra para el módulo de comunicación o el módulo procesador.
3. Pilotos de señalización del estado (la cantidad depende del número de vías).
4. Tres conectores desenchufables para los borneros.
5. Un tornillo de conexión a tierra.
6. Un emplazamiento para la barra de potencial.
7. Dos taladros de fijación para montaje sobre panel.

### 2.6.2 Características del módulo.

- Tipo de módulo: 16 entradas analógicas.
- Rango de tensión de entrada +/- 10 V, +/- 5 V.
- Corriente de entrada 4 a 20 mA.

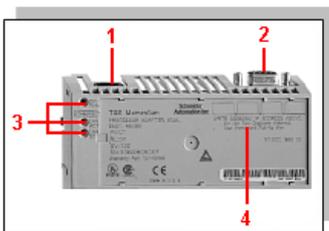


**Figura.2.2 Base de entradas analógicas 170 AAI 140 00**

### 2.6.3 Módulo de procesadores M1 171 CCC 960 30 IEC

El módulo procesador trata de una forma rápida e independiente las operaciones lógicas, controla sus propias entradas/salidas locales y se comunica con otras entidades a través de uno de los módulos opcionales de comunicación Momentum (ver figura 2.3). El módulo procesador transforma una base estándar de entradas/salidas en un autómata PID o en un resolver lógico de gran velocidad. Los módulos procesadores M1 están concebidos para ser montados de forma autónoma sobre una base de entradas/ salidas única, según el tipo, aceptan entradas/salidas a distancia a través del Puerto Bus.

1. Conector RJ45 para conexión Ethernet.
2. Conector SUB-D hembra 9 puntos para conexión de bus de entradas/salidas (Interbus).
3. Pilotos de señalización (LED).
4. Etiqueta de identificación.



**Figura. 2.3** Módulo de procesadores M1 171 CCC 960 30 IEC

### 2.7 Configuración en el Software de programación del Hardware

Software de programación Concept versión 2.6 S SR5, Schneider Automation GMBH permitió asignar las funciones de entradas del sistema. Para esto inicialmente fue necesario asignar a cada variable un identificador o tag. En la tabla (2.1) aparecen cada uno de los identificadores.

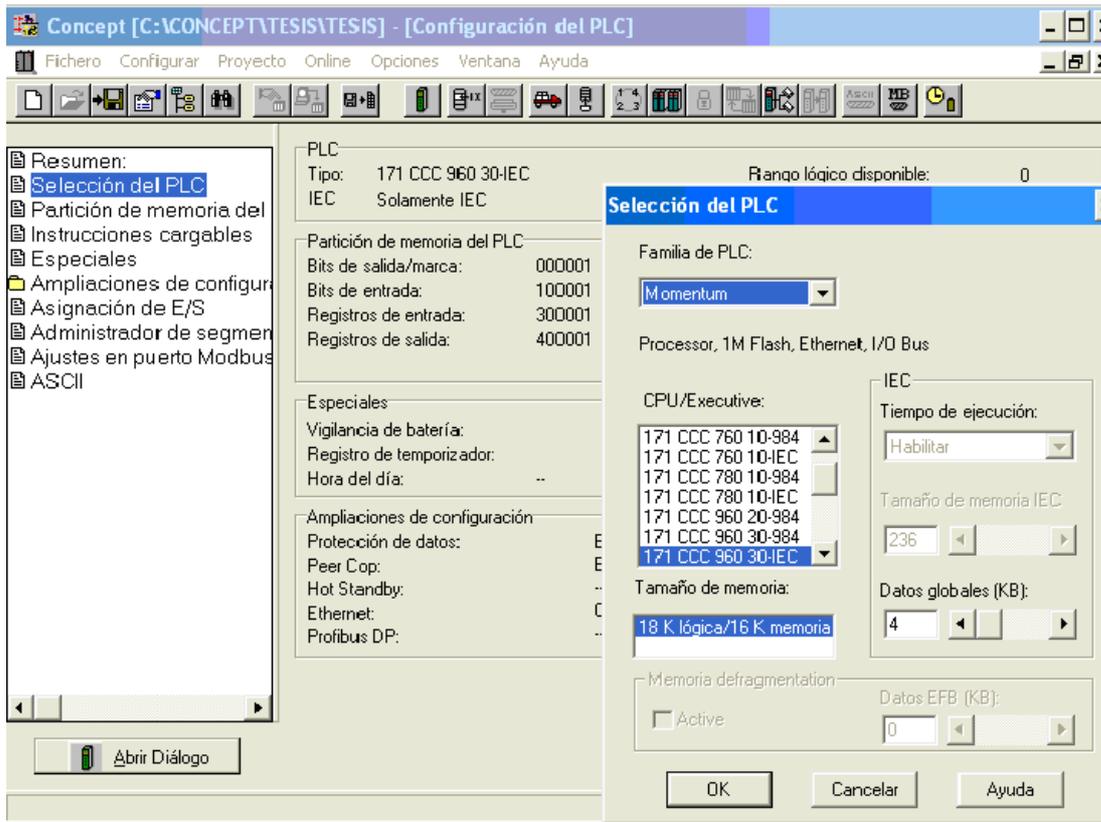


La ejecución óptima de la tarea técnica para la obtención fehaciente de los datos medidos en el proceso presupone la aplicación de herramientas de proyectos de altas prestaciones. Para este proyecto Concept ofrece una plataforma de proyectos unificada bajo las consideraciones de las disposiciones de la norma internacional IEC 1131.

El sistema de ejecución en el controlador lógico programable (PLC) ofrece reacciones rápidas a modificaciones en el proceso (tiempos cortos de ciclo), simulación de sensores, indicaciones online de estados de señales, modificaciones online de parámetros y del programa. Se ha elegido una arquitectura de software abierta, para posibilitar la fusión con sistemas de otros fabricantes a través de interfases Standard.

### **2.7.1 Selección de un procesador M1.**

Para emprender este proyecto fue necesario elaborar una aplicación en el software Concept para el manejo del autómeta a utilizar. Para esto se creó un fichero mediante las opciones del mismo **Fichero - Nuevo proyecto** y después se seleccionó en **Configurador de proyectos**. Al seleccionar estas opciones aparece una ventana de indicación como se muestra en la figura 2.4 que brinda un panorama general de los elementos de configuración. Seleccionando la opción **configurar** del menú principal y la opción **Tipo de PLC** del menú desplegable. Aparecerá la ventana Selección de PLC donde se definió el PLC a utilizar para esta aplicación. El controlador empleado para esta aplicación es de la familia MOMENTUM.



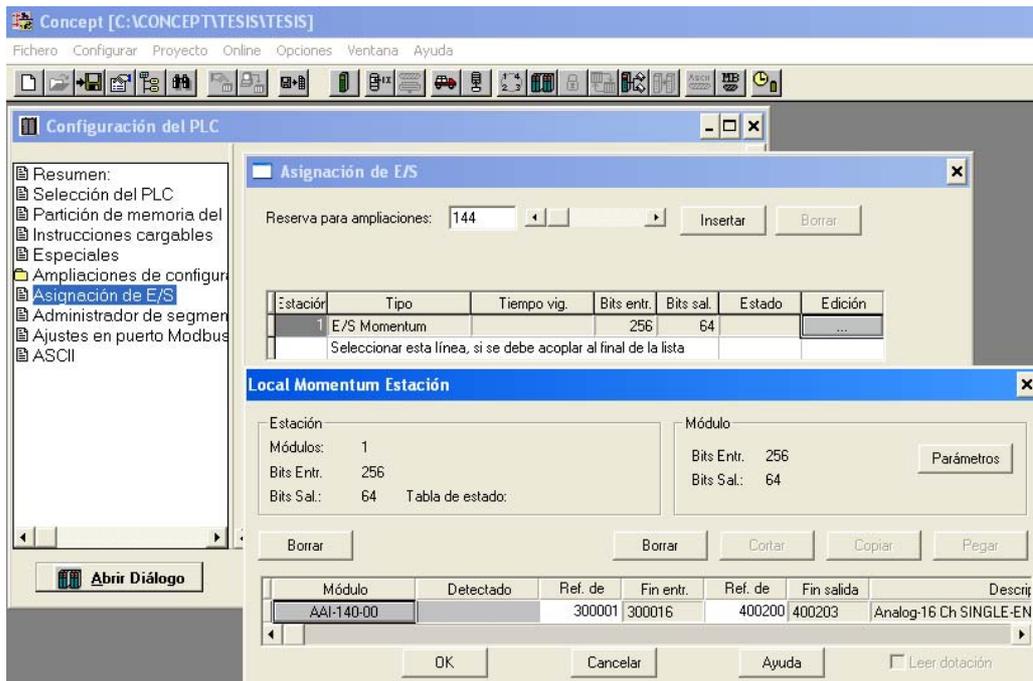
**Figura. 2.4** Selección del procesador a utilizar.

El software posee los datos del tipo de controlador de lógica programable, del tamaño de memoria del tipo seleccionado. Estos números se refieren a la cantidad de memoria de usuario del controlador de lógica programable. La memoria de usuario es la parte de la memoria RAM en la que se almacenan los diagnósticos de suma de verificación, valores de configuración, datos de mapa de E/S, programas cargables, la tabla de bloques STAT y el programa de la aplicación de usuario.

### Mapa de entradas y salidas (E/S)

Mediante la opción **configurar** del menú principal (ver figura 2.5) se obtiene acceso a la pantalla Mapa de E/S. Aparecerá un cuadro de diálogo Mapa de E/S. El rótulo del campo tipo de la pantalla lo identifica como tipo: E/S MOMENTUM.

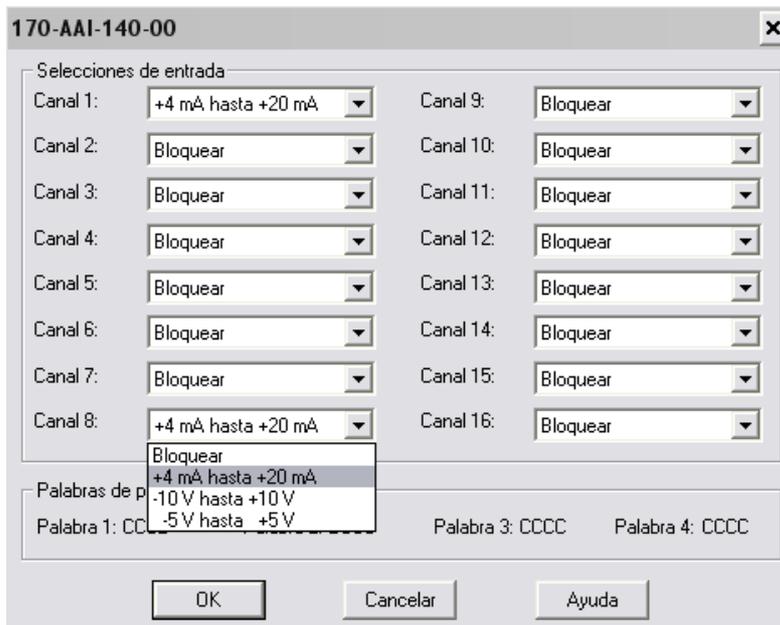
Esta pantalla siempre se utiliza para asignar la E/S sólo a la base de E/S local. No es posible asignar la E/S de ninguna otra base de E/S en esta primera pantalla.



**Figura. 2.5** Configuración del mapa E/S

Los puntos de E/S locales son aquellos que residen en la base de E/S sobre la que se monta el adaptador de procesador M1. Como parte del proceso de configuración, se creó un mapa de E/S para la E/S local. El mapa de E/S asigna el rango y tipo de valor de referencia correspondiente (0x, 1x, 3x o 4x) del RAM de estado de la CPU a los puntos de entrada y/o salida de la base local.

Para parametrizar la E/S aparecerá el cuadro de diálogo donde se habilitan los canales y se selecciona el formato de la señal (ver figura 2.6)



**Figura. 2.6** Parametrización de las E/S

### **Declaración de variables.**

Mediante la opción **proyecto** del menú principal o simplemente por el icono que se muestra en la figura 2.7 se accede a la ventana de declaración de variables donde las variables a medir son configuradas dentro del software en un editor de variables en forma de tabla. El editor de variables presenta un determinado número de campos para introducir:

- El nombre simbólico (como se conoce la variable en el Concept)
- El tipo de datos (si es una variable o una constante).
- La dirección directa (es la dirección del canal autorizado en el autómata).
- El comentario (breve características técnicas de la variable).
- La identificación como variable de interfase Hombre/Máquina (IHM), para los intercambios de datos.

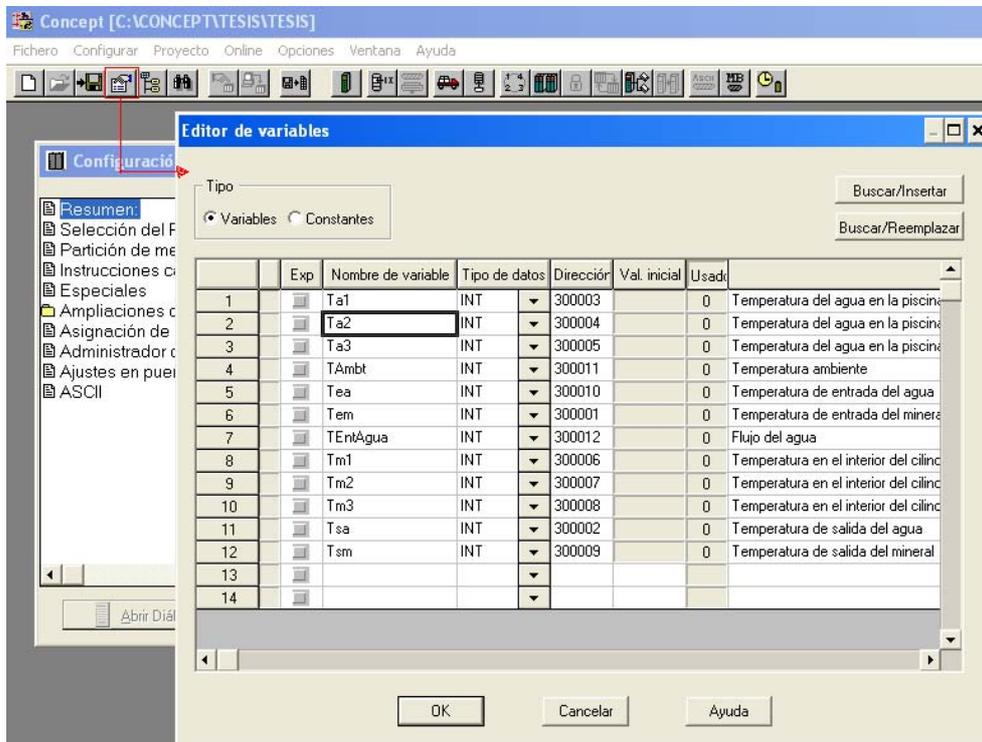
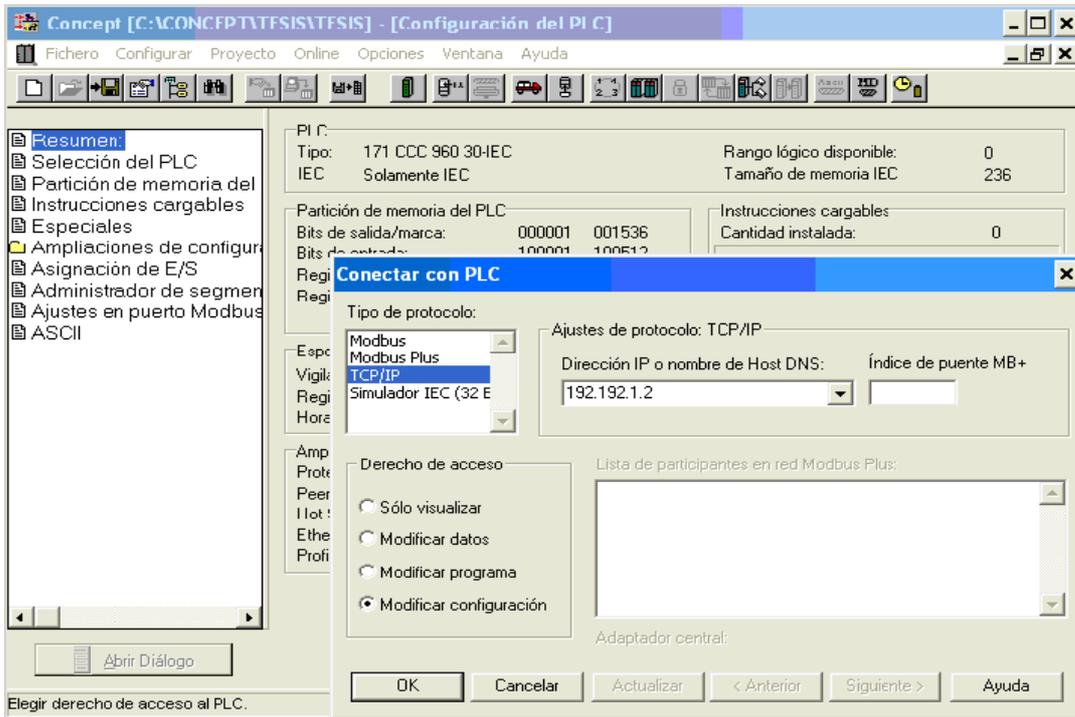


Figura. 2.7 Declaración de variables

### Conexión con el PLC.

Con la opción **online** del menú principal se accede a la ventana que posibilita realizar la conexión con el PLC (ver figura 2.8) y cargar/leer los datos en memoria. Para la conexión del autómata con la PC de Ingeniería se le define la dirección IP del PLC dentro del protocolo TCP/IP como se muestra en la figura y ya de esta forma queda el PLC listo para operar.



**Figura. 2.8 Conexión con el PLC**

Para comenzar la instalación del sistema fue necesario tener en cuenta varios aspectos. Para ello se elaboró la tabla 2.2 en la cual se describe el canal asignado a la variable a medir así como la localización de los instrumentos de medida en el campo, y el tipo de sensor.

**Tabla.2.2** Características de las mediciones de entradas analógicas.

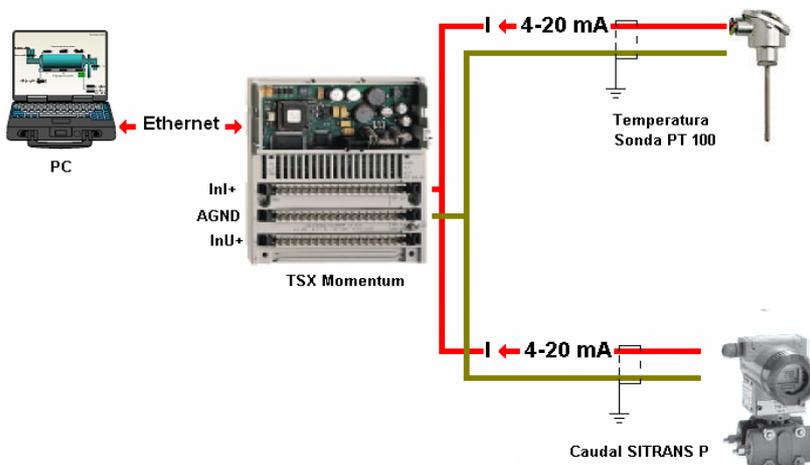
Canal	Tipo	Variable	Sensor	Canal	Tipo	Variable	Sensor
1	TT	Tem	Termoresistencia	7	TT	Tm2	Termoresistencia
2	TT	Tsa	Termoresistencia	8	TT	Tm3	Termoresistencia
3	TT	Ta1	Termoresistencia	9	TT	Tsm	Termoresistencia
4	TT	Ta2	Termoresistencia	10	TT	Tea	Termoresistencia
5	TT	Ta3	Termoresistencia	11	TT	TempAmb	Termoresistencia
6	TT	Tm1	Termoresistencia	12	FT	Fae	Presión absoluta

Las señales provenientes de los instrumentos de medición que se encuentran emplazados en el campo llegan a los bornes de conexión donde este está enumerado, cada número marcado le toca el canal correspondiente en el módulo del PLC y además

la conexión con el instrumento asignado así como un borne de alimentación positiva (ver Anexo 2).

La información suministrada por los sensores es tomada por los convertidores transformándola en una señal de corriente de 4-20 mA que es la que llega al autómata para ser medida como muestra la figura 2.9.

El autómata, conectado a la computadora a través de Ethernet, envía las mediciones de las señales las cuales son registradas y monitoreadas por el SCADA instalado para esta función.



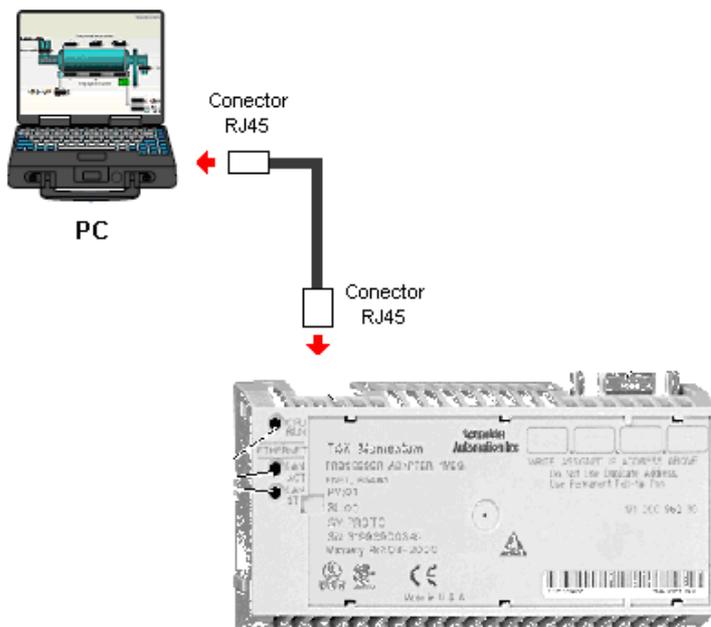
**Figura. 2.9.** Comunicación y formato de las señales.

El autómata TSX Momentum instalado consta con un sólo módulo E/S AAI 140 00, de 16 entradas analógicas. De este fueron cableadas 12 variables del proceso. Los canales 17 y 18 de la bornera común son para la alimentación.

El adaptador de procesador 171 CCC 960 30 suministra funciones de maestro del BUS E/S en forma de un solo conector en D de 9 contactos hembras. La CPU principal intercambia datos con el maestro I/OBus una vez por ciclo lógico. I/OBus permite a la CPU asumir funciones de maestro de bus, hasta 256 dispositivos esclavos a través de un cable Interbus.

### Método de funcionamiento:

El conector de puerto Ethernet tiene un aspecto similar al del conector de puerto Modbus. No intente utilizar un adaptador Ethernet como unidad Modbus. No intente acoplar un conector Modbus a un conector Ethernet.



**Figura. 2.10.** Conexión del módulo del PLC

Este adaptador de procesador dispone de tres indicadores LED: RUN, LAN ACT (IVE) y LAN ST (ATUS). Sus funciones y características se describen en (ver anexos. 3 y 4).

### 2.7.2 Requerimientos técnicos.

El sistema de medición y control instalado requiere de las siguientes características técnicas:

#### Hardware del PC:

1. Microprocesador Pentium III o superior (>1 GHz recomendado).
2. Memoria RAM 128 Mb (256 Mb o mayor recomendado).



3. Adaptador de vídeo SVGA.
4. El espacio del disco duro depende de la cantidad de información histórica que se quiera guardar en él (> 1 Gb recomendado).
5. Mouse PS/2, USB.
6. Torre de CD o puertos USB para la instalación.
7. Tarjeta de Red si va a trabajar conectado a una red de Eros.
8. Protocolo de red: TCP/IP si va a trabajar multiusuario.
9. Sistema Operativo: Windows NT/2000/XP/Vista (2000/XP recomendado).

### **Autómata**

Se puede utilizar cualquier tipo de autómata siempre y cuando se tenga el manejador o driver, el software de programación, y utilice las entradas y salidas analógicas.

### **Instrumentos de medición**

Para el caso de los instrumentos de medición no se necesita un procedimiento específico, teniendo en cuenta que debe ser un instrumento analógico.

Para el montaje de los instrumentos de medición, se seleccionaron termoresistencias con longitud de inmersión de 100 mm ya que es la medida que se ajusta al proceso, se calibraron y verificaron por el DPTO de metrología de RRL, los convertidores de temperaturas para rangos de 0 a 1200°C, 0 a 500 °C, 0 a y 300 °C y 0 a 100°C.

### **2.8 Conclusiones del capítulo.**

1. En el presente capítulo quedó establecido el procedimiento de instalación del hardware para el proceso de enfriamiento de mineral.
2. Para la realización de la instalación se tuvieron en cuenta los rangos de medición realizados, de acuerdo al tipo de instrumento a utilizar.



### 3. CAPÍTULO 3

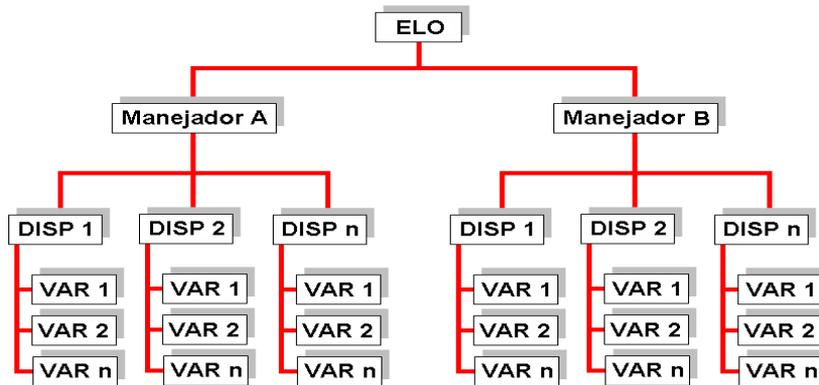
## Generalidades de la aplicación SCADA EROS y valoración técnica económica del sistema

### 3.1 Introducción.

En este epígrafe se explica las generalidades del SCADA utilizado. Este sistema de supervisión y control EROS tiene una difusión exitosa a nivel del país caracterizado por varias empresas productoras en las que se automatizan tareas complejas. Se abunda sobre el tratamiento de las variables, configuración de las mismas para el respectivo enlace con el hardware. Se abunda sobre el registro de los datos de vital importancia para las investigaciones que se realizan en estos sistemas. Se presentan las ventanas originales del sistema que brindan una idea de las especificaciones de la aplicación. Finalmente se exponen resultados del monitoreo real de las variables y breve valoración técnico económica.

### 3.2 Procesamiento de datos en el Software Supervisor EROS 5.8.

Cada variable pertenece a un **dispositivo** que en el caso de las variables externas pueden asociarse al autómatas o tarjeta de medición que, acoplado a la red industrial, es el encargado de informar a la PC su valor. Los dispositivos se comunican con la PC a través de un protocolo que depende del fabricante y por ello necesitan un manejador o driver que implemente ese protocolo en la PC. De esta manera el SCADA EROS asume el sistema como una estructura jerárquica en el que el nodo superior es la estación local de operación (la PC) y los nodos inferiores son los dispositivos que manejan directamente las variables externas tal como lo muestra la figura: 3.1, que a continuación reflejamos:



**Figura. 3.1** Esquema de procesamiento de datos del SCADA EROS.

**Variables de entrada analógica:** Son señales que se miden en los dispositivos y su magnitud puede variar de forma continua en el tiempo y tomar cualquier valor dentro del rango definido (ej. Flujos, Temperaturas, Presiones, etc.).

Para la aplicación específica en el enfriador de mineral a escala piloto sólo se usaron las variables analógicas de entrada. En las variables analógicas de entrada se agrupan las diferentes temperaturas y caudales de la impulsión del agua.

### 3.3 Protocolo de comunicación *ETHERNET*

- Desarrollado por Xerox Corporation en 1976 para la comunicación entre PLC's.
- Es una tecnología bastante madura por lo que resulta económica y fácil de instalar pero por sus modestas prestaciones no es adecuada para redes que deban soportar tráfico de información voluminosa
- Trabaja en una topología de bus (red en forma lineal en la cual los nodos se unen a un cable principal denominado bus, mediante tramos cortos) o de estrella en la cual los nodos están conectados por *cable coaxial*, *fibra óptica* o cable *CAT5 RJ-45*.
- El protocolo establece como los mensajes se intercambian en forma ordenada y la detección de errores.

### 3.4 Formato data.

Las mediciones realizadas son guardadas en los ficheros históricos, de manera encriptada con el fin de proteger la data y evitar modificaciones y violaciones como se observa en la figura 3.2: Es un fichero que contiene la información de todas las variables durante el día de operación que está delimitado por la hora de inicio del día definida en la configuración y esta información está estructurada de la siguiente manera como se observa en la figura 3.3



Figura. 3.2 Imagen del fichero histórico

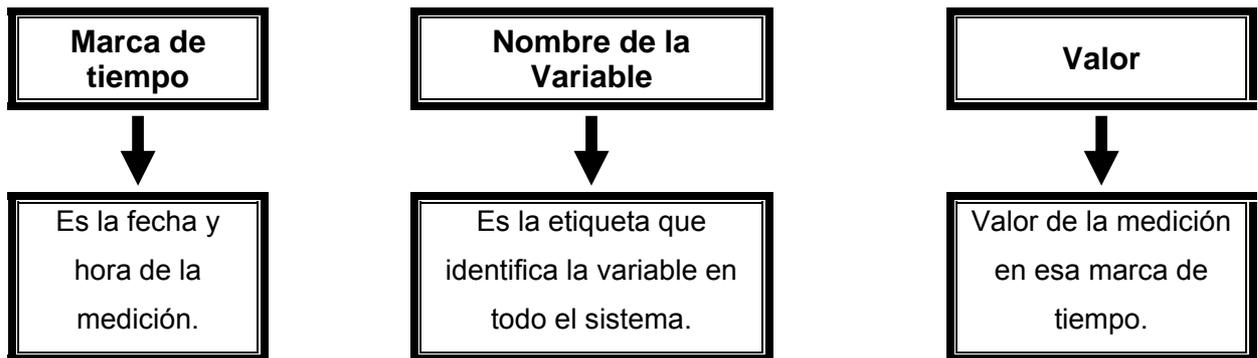


Figura. 3.3 Características del formato data.

### 3.5 El registrador de variables.

El sistema EROS brinda un registrador que va mostrando el comportamiento y tendencia en tiempo real de 8 variables (un grupo) al mismo tiempo, así como la historia de las mismas, se muestra de la siguiente forma. Figura: 3.4



Figura. 3.4 Registrador de variables

### 3.5.1 Características del registrador de variables.

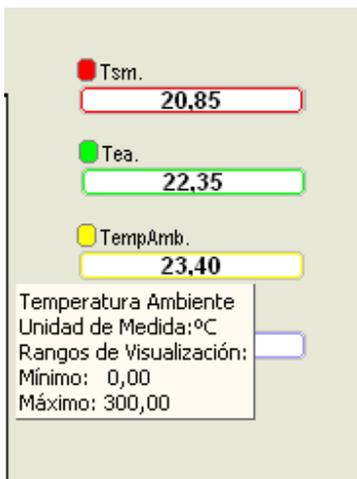
- El color de las líneas que representan el valor de las variables en el tiempo se asocia con sus etiquetas (a la derecha), es decir la variable que se representa en la etiqueta cuyo marco es rojo, se corresponde con la que está representándose con la línea roja, y así sucesivamente.
- Combina variables de diferentes tipos, es decir, mediciones, variables internas, de teclado etc. en grupos configurables por el usuario.
- Permite mostrar los valores de las mediciones en el tiempo (registro histórico).
- Permite cambiar la resolución de la carta, lo que facilita percibir con más claridad la tendencia de la señal.
- Brinda datos estadísticos de las variables en diferentes períodos de tiempo que se seleccionen en el gráfico del registrador.

- ❑ Además posee otras funciones como la naturaleza del valor a mostrar, visible, línea gruesa y cambiar la señal por otra, lo cual se explica más adelante.

### 3.5.2 Información en las etiquetas.

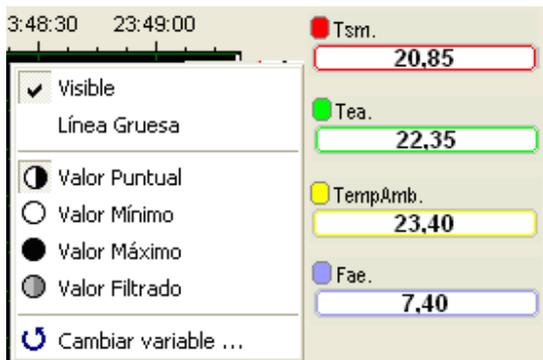
Al acercar el cursor a cada etiqueta aparece una información que muestra algunos datos de la configuración de la variable como se observa en la figura 3.5:

- ❑ Descripción de la variable.
- ❑ Unidad de medida.
- ❑ Rangos de visualización.



**Figura. 3.5** Información de las etiquetas de las variables.

Cada etiqueta posee delante un cuadrado pequeño para indicar el modo de representarse, lo cual se cambia haciendo clic derecho sobre ella, y entonces brinda las opciones que se muestran en la siguiente figura: 3.6



**Figura. 3.6** Privilegios de las variables

- Visible: Permite mostrar o no el gráfico correspondiente a la variable, es decir la muestra o no en el registrador aunque se sigue midiendo; esto nos permite analizar la interacción entre las variables que se decida, desactivando la visualización del resto. Cuando una variable está invisible el cuadrado muestra una cruz ✖.
- Línea gruesa: Para distinguir una variable de otra o para mejor nitidez en la impresión.
- Valor puntual: Muestra el valor que posee la señal en cada punto, según la resolución que tenga configurada, es decir si está en la resolución 1 segundo representa los valores medidos cada un segundo, si está en 30 segundos muestra el valor que se mide en el segundo 30, en el segundo 60 etc., sin filtrar ni promediar, simplemente el valor que posee en cada momento cada vez que transcurren 30 segundos. Por omisión esta es la forma en que se muestra y el cuadrado que está delante de la etiqueta se mostrará solamente con el color, sin símbolo alguno ◻.
- Valor mínimo: Representa el valor mínimo del intervalo según la resolución, por ejemplo si se encuentra en la resolución 30 segundos muestra el mínimo valor que se haya medido en el transcurso de esos 30 segundos, etc. En este caso el cuadrado que está delante de la etiqueta mostrará un signo menos ◻.
- Valor máximo: Representa el valor máximo del intervalo según la resolución, por ejemplo si se encuentra en la resolución 1 minuto muestra en cada punto el máximo valor entre las 60 mediciones realizadas en ese intervalo( si se mide cada 1



segundo). En este caso el cuadrado que está delante de la etiqueta mostrará un signo más +

- Valor filtrado: Posibilita filtrar la señal es decir visualizar el promedio de los valores que tomó dicha variable durante el período de la resolución escogida (Ej. Promedio de 10 valores en 10 segundos si se mide cada un segundo), el efecto visual en pantalla será la tendencia de la señal. Esta operación está relacionada con la resolución de la carta ya que realiza una visualización de los valores medios de la señal que se obtienen promediando los valores de la misma en ese tiempo, por lo que para una resolución igual o menor al cuanto de medición (Tiempo entre una medición y otra), no tendrá efecto, ej. Si se está midiendo una señal cada 5 segundos y se selecciona como resolución de la carta 5, 3 ó 1 segundo, el filtrado no tendrá ningún efecto. Con esta opción podemos observar más claramente la tendencia de una señal que oscile mucho. Cuando una variable está filtrada se representa en el cuadro con una **F**.
- Cambiar variable: Da la posibilidad de cambiar una señal por otra, la cual se escoge de una lista que posee todas las variables activas del sistema, esto permite realizar una comparación inmediata con alguna variable que no esté en el registro, este cambio se mantendrá si usted elige fijar ambiente en el menú **Grupos**.

### 3.6 Pie de gráfico

En la parte inferior del registro aparece una barra informativa con los datos relativos al tiempo que se está registrando (Ver figura 3.4).

<b>Fecha</b>	Fecha relacionada con la posición del cursor, ya que en un mismo registro pueden coexistir dos fechas diferentes, dependiendo de la hora de inicio del día definida en la configuración.
<b>Hora de Inicio</b>	Es la hora en que se inicia el segmento que se está mostrando, ésta cambia en dependencia de la resolución y del movimiento del cursor.
<b>Contenido</b>	Es el tiempo total que está mostrando la pantalla activa, que depende de la resolución del registro.
<b>Cursor</b>	Hora, minuto y segundo donde está posicionado el cursor.
<b>Resolución</b>	Tiempo que representa cada píxel del registro que provoca que podamos ver en una misma pantalla la tendencia de la señal en un período mayor o menor. Esto se modifica con la opción Herramientas o la Configuración del Grupo que se explicarán más adelante.
<b>Fecha de Producción</b>	Es la fecha oficial a la que pertenece el registro. Los días de producción en los procesos por turno, comienzan en un día y finalizan al siguiente pero la información oficial corresponde al día que se indica en esta barra.

### 3.6.1 Barra de desplazamiento

El registrador posee una barra de desplazamiento para su manipulación como se observa en la siguiente figura 3.7.



**Figura. 3.7** Barra de desplazamiento

Esta barra le permite:

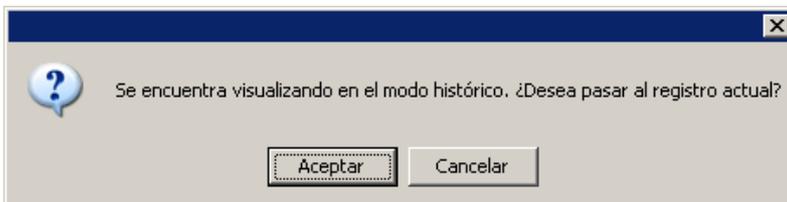
Desplazarse a la izquierda

Haga clic en la flecha de desplazamiento izquierda

Desplazarse a la derecha	Haga clic en la flecha de desplazamiento derecha
Desplazarse a una	Arrastre el cuadro de desplazamiento posición específica.
Desplazarse al día anterior	Haga clic en la doble flecha de desplazamiento izquierda.
Desplazarse al día siguiente	Haga clic en la doble flecha de desplazamiento derecha

Inmediatamente que se comience a desplazar por esta barra aparece en la parte superior izquierda del registro esta imagen , indicando que está en el histórico, y si se da clic sobre ella provoca que se visualicen los valores actuales.

Debe señalarse también que si se está en la parte histórica del registrador durante más de 2 minutos, el sistema le advertirá que se encuentra en el modo histórico y éste le sugerirá si desea pasar al registro actual con el fin de continuar visualizando el comportamiento de las variables en tiempo real, la pantalla que aparece es la siguiente:(Ver figura 3.8).



**Figura. 3.8** Advertencia del sistema

### **3.7 Resolución para la visualización de las variables medidas en el registrador.**

Es el tiempo que simboliza cada píxel en la pantalla del registrador como se muestra en la figura 3.9. Al modificarlo, permite mostrar diferente cantidad de información en una misma pantalla. En la tabla 3.1 se muestra el tiempo que se refleja en el registro cuando se selecciona cada resolución:



**Figura. 3.9** Resolución de la visualización de la variable

**Tabla.3.1** Contenido según cada resolución.

Resolución	Contenido en pantalla en horas	Resolución	Contenido en pantalla en horas
1 segundo	00:04:39	30 segundos	02:19:45
2 segundos	00:13:58	1 minuto	04:39:30
5 segundos	00:23:17	3 minutos	13:58:30
10 segundos	00:46:35	6 minutos	24:00:00

### 3.8 Exportar datos del registrador a Excel.

El registrador de variables permite exportar su contenido (tiempo, nombre de las variables y valores de estas) al portapapeles de Windows y desde éste a cualquier editor o aplicación de Office, más comúnmente a Excel, para ello inicialmente deberá seleccionar el intervalo que desea exportar de una de las siguientes formas:

- Arrastrando el cursor con el botón derecho del Mouse apretado sobre el fragmento del gráfico que se desea exportar, con ello se marca en gris esa porción del registrador.
- En el menú del registrador ir a la opción **Editar/Seleccionar Intervalo** marca una porción del registro delimitada en horas específicas.
- En el menú del registrador ir a la opción **Editar/Seleccionar Todo** con ello marca en gris todo el registrador.



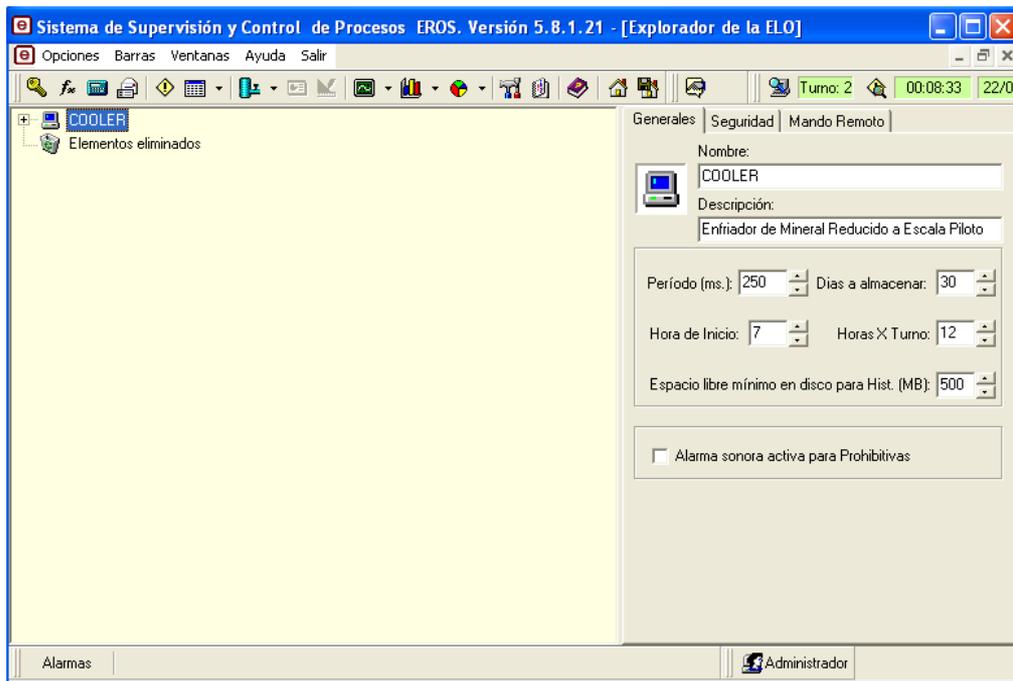
Después de realizada la selección deberá volver al menú a la opción **Editar/ Copiar selección como texto**, con ellos se coloca la información en el portapapeles y ya está en condiciones de pegarlo en un documento de Excel.

Hay que destacar que la data que se exportará se mostrará con la resolución que se encuentra configurada en ese momento en el registrador, es decir que si tiene la resolución de 1 seg., en el documento se reflejará cada valor cada 1 segundos (ver anexo 5).

### **3.9 Configuración del SCADA.**

Después de realizada la instalación de los ficheros del sistema se procede a la configuración. Mediante las opciones que brinda el Sistema se podrán definir las características generales del mismo, el conjunto de dispositivos que entregarán información a la Estación Local de Operación (ELO) y la configuración de estos, además informar las características de las variables que él va a manipular, el enlace que tienen con el dispositivo, así como la forma, contenido y estructura de los mímicos a mostrar.

Para comenzar esta configuración en primer lugar se definieron todos los parámetros de las variables que intervendrían en el sistema y se introdujeron en la configuración del SCADA. Inicialmente se va a la opción Configurar el Sistema , donde aparecerá la pantalla del Explorador de la Estación Local de Operación (ELO), en la cual se brinda la siguiente ventana para que se realice la configuración de los parámetros generales de la ELO. (Ver figura 3.10).



**Figura. 3.10** Configuración de la ELO (Estación Local de Operación)

En esta pantalla se configura:

**Nombre:** El nombre de la ELO. En esta aplicación se escogió **COOLER**

**Planta:** El nombre del área donde se instalará la aplicación (opcional). En este caso sería **Enfriador de mineral reducido a escala piloto.**

**Período de muestreo:** Define el tiempo entre dos solicitudes sucesivas al dispositivo, será el “tic de reloj” del sistema. Los períodos de muestro de los dispositivos y variables se configurarán a un múltiplo de éste. El sistema EROS v 5.8 trae por omisión 250 ms y se recomienda no modificar este valor por ser el que más se ajusta a la mayoría de los dispositivos que se usan generalmente.

**Días a almacenar:** Define el tiempo en días, que se desea almacenar en el disco tanto de ficheros históricos como de estadísticas. Para esta aplicación se definieron 30 días ya que periódicamente se realizan salvadas de los ficheros históricos.

**Hora de Inicio:** Se le define al sistema la hora de inicio y fin del día para los datos estadísticos en el centro donde será instalada esta aplicación. Como en esta unidad se



opera en el horario de 7:00 a.m. a 7:00 p.m., entonces corresponde poner 7 en este parámetro.

**Horas x Turno:** Se le define al sistema las horas de trabajo en cada turno. En este caso serían 12 horas por turno.

**Espacio libre en disco para Hist. (Mb):** Permite que el usuario indique cuanto espacio libre en disco deberá chequear el EROS para comenzar a borrar archivos viejos. Por omisión el EROS trae 500 Mb.

**Alarma sonora activa para prohibitivas:** Permite activar o no el sonido cuando ocurre una alarma prohibitiva. No está marcado este parámetro pues no hay alarmas configuradas.

Dentro de esta ventana también se encuentran las pestañas Seguridad y Mando Remoto pero no se usaron en esta aplicación.

### 3.9.1 Configuración del driver de comunicación.

Después de configurada la ELO se configuran los dispositivos de medición que se conectarán a la misma (ver figura 3.11), haciendo doble clic sobre el icono de la ELO se desplegarán los diferentes manejadores o drivers **internos** que ya posee el sistema por omisión que son los de las variables Internas, Remotas, de Teclado y Scripts. Para adicionar los drivers de los dispositivos **externos** de medición que se van a conectar, se ubica el cursor sobre el ícono de la ELO y haciendo clic con el botón derecho del mouse aparece el menú contextual, con la opción adicionar, al seleccionarla aparecerá la lista de los drivers instalados y se elegirá el que corresponda, en esta aplicación seleccionamos el Modbus\_Máster\_XX.

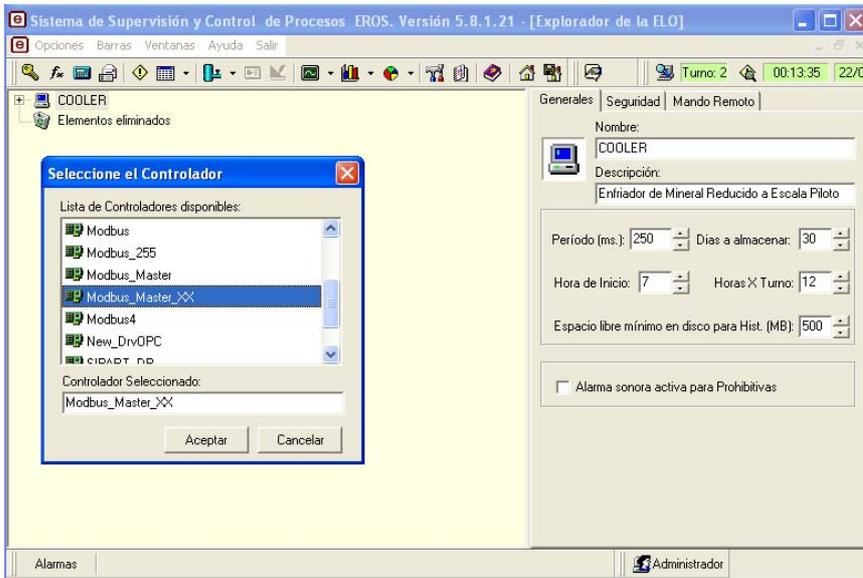


Figura. 3.11 Configuración del driver de comunicación

Cuando ya se ha definido el driver externo adecuado, ubicando el cursor sobre él, podrá verse en la pestaña generales, algunos datos relativos al driver, así como un botón para definir los parámetros que se usan para la comunicación con los dispositivos, como se muestra en la figura 3.12.

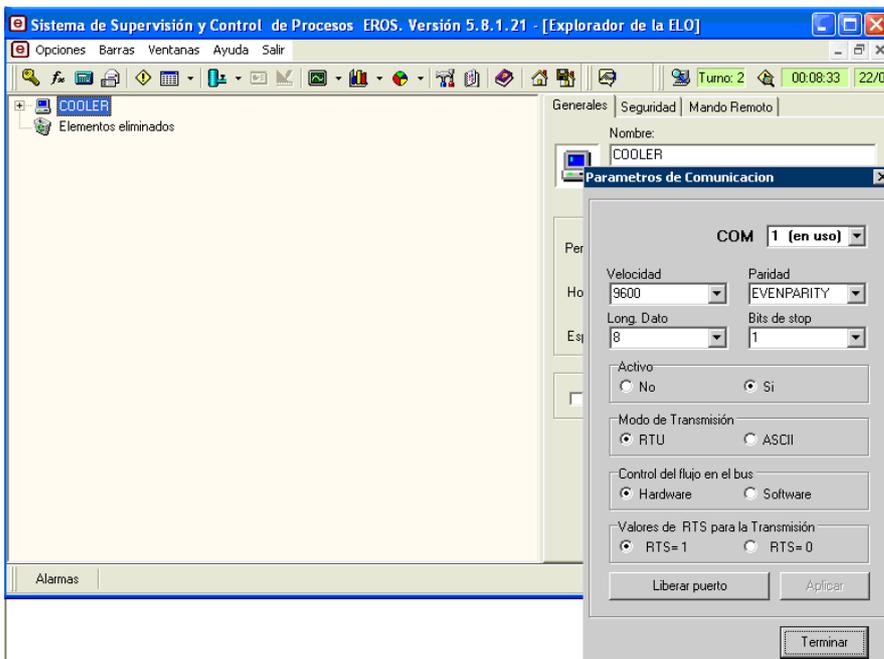


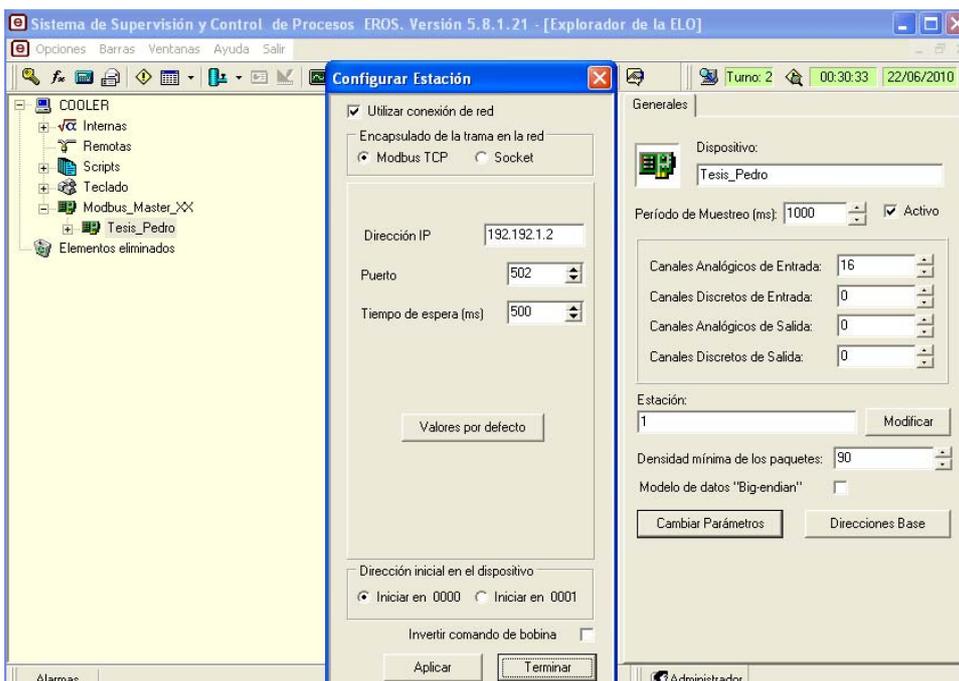
Figura. 3.12 Parametrización de la comunicación

En esta pantalla se configuran los datos de comunicación con los dispositivos tales como, el número del puerto de comunicación por el que se realizará la comunicación (COM), la velocidad de comunicación, el tipo de paridad, la longitud del dato, los bits de stop, si se activa el puerto para comenzar a recibir datos, el modo de transmisión, control del flujo, el valor RTS y además permite liberar el puerto para que sea usado por otra aplicación si ésta no lo está usando.

### 3.9.2 Configuración de los dispositivos.

Luego de adicionar el driver, haciendo clic con el botón derecho del Mouse sobre el nombre del mismo, aparecerá el menú contextual, que le permitirá adicionar, eliminar y/o modificar los dispositivos que se comunican con él.

Al poner el cursor encima del dispositivo que adicionamos, se presenta la siguiente pantalla para facilitarle su configuración (ver figura 3.13)



**Figura. 3.13** Configuración de los dispositivos

En esta ventana se configuran los siguientes parámetros:



**Nombre del dispositivo:** Generalmente se asocia al tipo de dispositivo, nombre del driver o lugar donde está ubicado físicamente. En este caso se asoció al tipo de dispositivo: Modicon

**Período de muestreo:** Especifica el tiempo entre dos solicitudes sucesivas al driver. Esta aplicación se configuró con 1000 ms.

**Activo:** Permite activar y desactivar la solicitud a un dispositivo es decir que las mediciones provenientes de éste se visualizarán o no.

**Cantidad de canales por tipo:** Establece los canales que se van a medir en cada dispositivo por tipo de variable, en este caso 12 canales analógicos de entrada.

**Estación:** Define la dirección del dispositivo en la red industrial, en este caso es el 1.

**Densidad mínima de los paquetes:** Se refiere al nivel de compactación que posee el paquete de comunicación que envía el dispositivo. El sistema EROS posee el valor 90 por omisión que es el que usan la mayoría de los dispositivos.

**Modelo de datos “Big-endian”:** Determina la orientación de los bits dentro de la trama de datos que maneja el dispositivo. El protocolo que estamos usando es el Ethernet que usa el modelo “Little-endian”, es decir que ubica los bytes más significativos del número en las direcciones más bajas de la memoria.

**Cambiar parámetros:** En este diálogo se definen los parámetros de comunicación del dispositivo, tales como los tiempos base máximos, mínimos y en uso, los intervalos máximos, mínimos y en uso, así como los intentos de comunicación o sea cuantas veces se va a repetir la solicitud en caso de falla de comunicación.

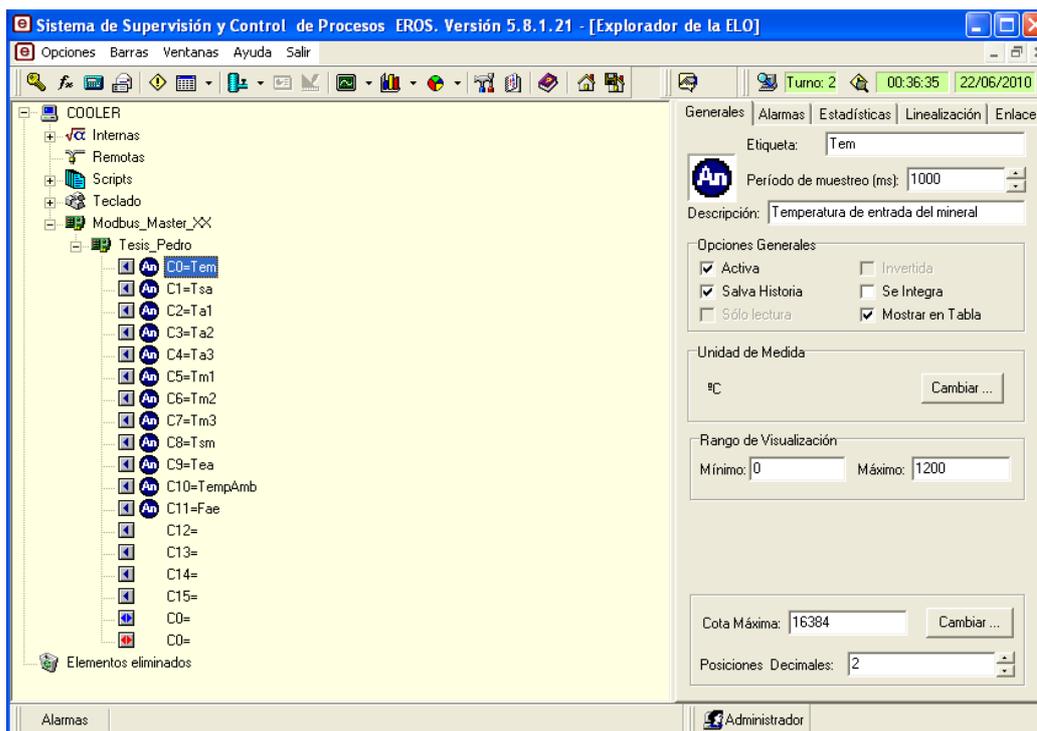
**Direcciones base:** Si la dirección de las categorías de las variables no comienza en 0, en esta opción le permite reconfigurarlas para que el sistema las localice correctamente. En esta aplicación no hay que modificarlas.

### 3.9.3 Configuración de variables.

Cuando ya están creados y configurados todos los dispositivos se procede a la configuración de las variables en cada uno de ellos como se muestra en la figura 3.14.

Cuando se definió la cantidad de canales por tipo, en el dispositivo, el sistema creó los espacios donde adicionar las variables, por tanto haciendo doble clic sobre el dispositivo o clic sobre el signo + asociado a él, aparecen los canales para introducir las propiedades de las variables que se van a configurar en cada uno de ellos, entonces, haga clic con el botón derecho del Mouse sobre el número de canal que se corresponda con el canal físico del dispositivo y aparecerá un menú contextual con la opciones:

**Adicionar, Editar Nombre, Salvar Configuración y Cancelar** y con ellas puede adicionar la variable y además salvar mientras trabaja. (Ver figura 3.14).



**Figura. 3.14 Configuración de las variables analógicas**

En cada página según corresponda se configuran los siguientes parámetros:



### 3.9.4 Generales variables analógicas

**Etiqueta:** Nombre corto de hasta 12 caracteres

**Período de muestreo:** Tiempo entre dos solicitudes de la señal desde la ELO al dispositivo. Todas las variables en esta aplicación poseen el mismo período de muestreo que el dispositivo es decir 1000 ms.

**Descripción:** Nombre largo de la variable.

**Activa:** Fija cuando la variable está disponible para su manipulación en el sistema o no, si no se activa no se mide y se registra como desactivada. Por supuesto en esta configuración todas las variables están activas.

**Salva Historia:** Define si se salva la información de la variable en el disco. En este caso todas las variables salvan los datos al histórico.

**Se integra:** Define si a la variable se le calcula la integración o no. En esta aplicación no se utiliza esta propiedad de las variables.

**Unidad de medida:** Se brinda un botón “Cambiar” que le permite buscar en una lista la unidad de medida que va utilizar, o incluir una nueva si no existe en dicha lista.

**Rango de visualización:** Es el rango con el cual se visualizará la variable en el registrador.

**Jerarquía mínima de escritura:** Permite asignar los derechos a cada variable. En este caso no se concede jerarquía a ningún usuario, por lo cual tienen la que está por omisión, es decir 255.

**Cota:** Valor que manipula internamente el sistema para realizar los cálculos con mayor rapidez y precisión. La mayoría de las variables tienen la que está por omisión, es decir 16384.

**Posiciones decimales:** Define los lugares decimales con que se mostrará el valor en todas las opciones del sistema.



### 3.9.5 Linealización de la variable analógica.

Los valores de las variables externas que se muestran en los sistemas de supervisión no siempre coinciden con los valores que se almacenan en el dispositivo y que le corresponden de acuerdo a su enlace. Esto ocurre por dos razones: en primer término los PLC tienen usualmente mucha menos memoria RAM que las PC y por ello los programadores de los PLC, generalmente, almacenan valores reales (analógicos) en formatos que ocupen menos memoria (más compactos) como los enteros de 32, 16 bits o incluso de 8 bits. Por ejemplo, si se sabe que un valor real es no mayor que 10 y la precisión con que nos interesa almacenarlo es de una cifra después del punto decimal, se puede optar por almacenar ese valor en un entero de 8 bits. En este caso a cada valor entero almacenado en el registro de 8 bits se le haría corresponder el valor real que se obtiene de dividir ese valor entero por 10. De esta manera al valor entero 86 le correspondería el valor real 8,6. Es fácil ver que de esta forma se logra un almacenamiento más compacto en el PLC aunque a costa de pérdida de precisión. La segunda razón por la que puede no haber coincidencia es cuando trabajamos con variables de entrada, cuyos valores se obtienen a través de convertidores análogo-digitales. Los valores del conversor son siempre enteros y deben transformarse a unidades de ingeniería. A ese proceso se le llama **linealización** porque generalmente la relación entre las unidades del conversor y las unidades de ingeniería es una relación lineal. Si el valor almacenado en el PLC ya se encuentra en unidades de ingeniería diremos que esa variable está **linealizada en el dispositivo** y por tanto coincide el valor que muestra el sistema con el almacenado en el PLC.

**Linealizada en el dispositivo:** Esta opción se marca si el valor de la variable las envía el dispositivo en unidades de ingeniería.

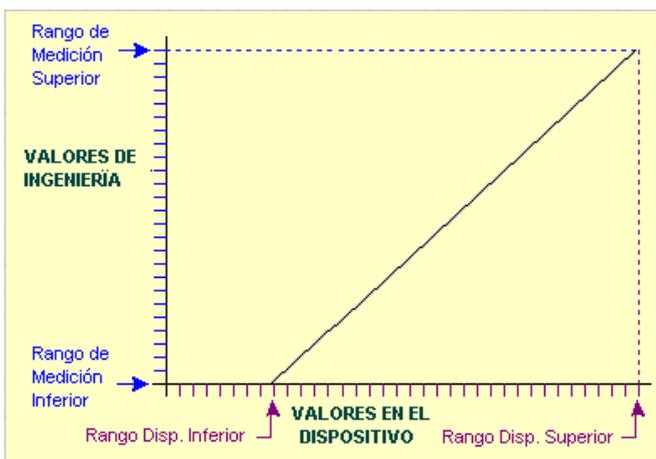
**Rangos del dispositivo:** La dependencia entre los valores en el dispositivo y los valores en el SCADA EROS puede ser lineal, cuadrática o a partir de una tabla. Esta última variante se usa cuando la relación entre las dos magnitudes es tan compleja que no puede ser aproximada con la precisión necesaria mediante una relación lineal o cuadrática. En los dos primeros casos basta con definir los rangos mínimos y máximos en el dispositivo y en el SCADA EROS.

El rango en el dispositivo puede reflejar el rango del convertidor análogo digital o sencillamente los valores extremos que puede tomar el registro interno del PLC asociado a la variable de acuerdo a la programación del mismo.

**Rangos de medición:** En él se definen los rangos de trabajo del instrumento en unidades de ingeniería.

**Tipos de linealización:** Aquí se especifica el tipo de dependencia existente entre los valores en el dispositivo y los valores en el EROS. Tal y como se explicó anteriormente esta dependencia puede ser **lineal**, **cuadrática** o **por tabla**.

Si la dependencia es lineal, como en esta aplicación, el EROS escala, los valores de acuerdo al diagrama representado en la figura: 3.15



**Figura. 3.15** Linealización lineal

**Canal de compensación:** Algunos dispositivos de medición de temperatura requieren la corrección de su medición con la temperatura ambiente (que se mide independiente), en este diálogo se declara el número del canal por el cual se está midiendo la temperatura ambiente, este número debe ser menor que el del canal que se va a compensar para que el cálculo se realice correctamente.

La figura 3.16 muestra los parámetros de linealización de variables analógicas.

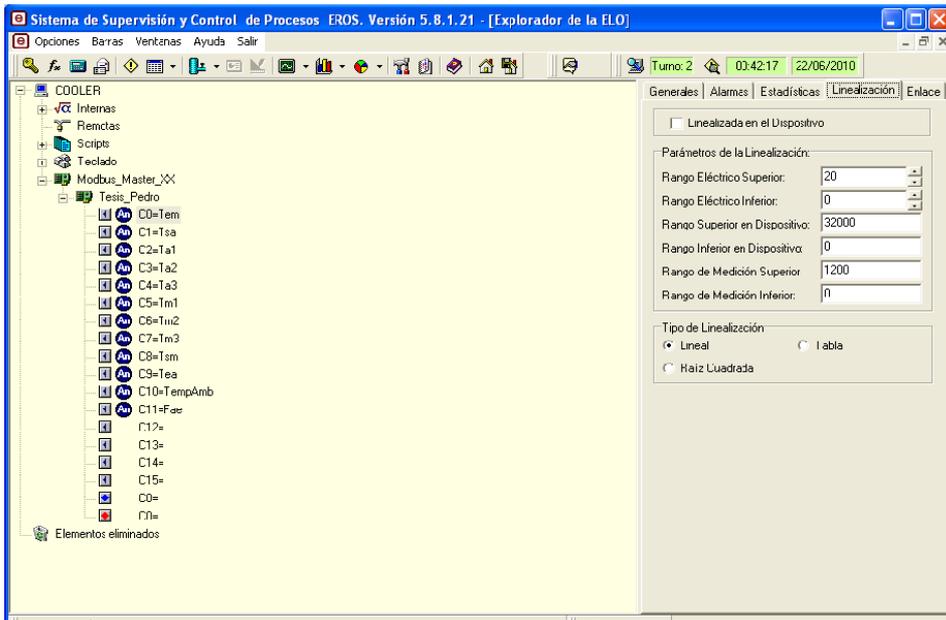
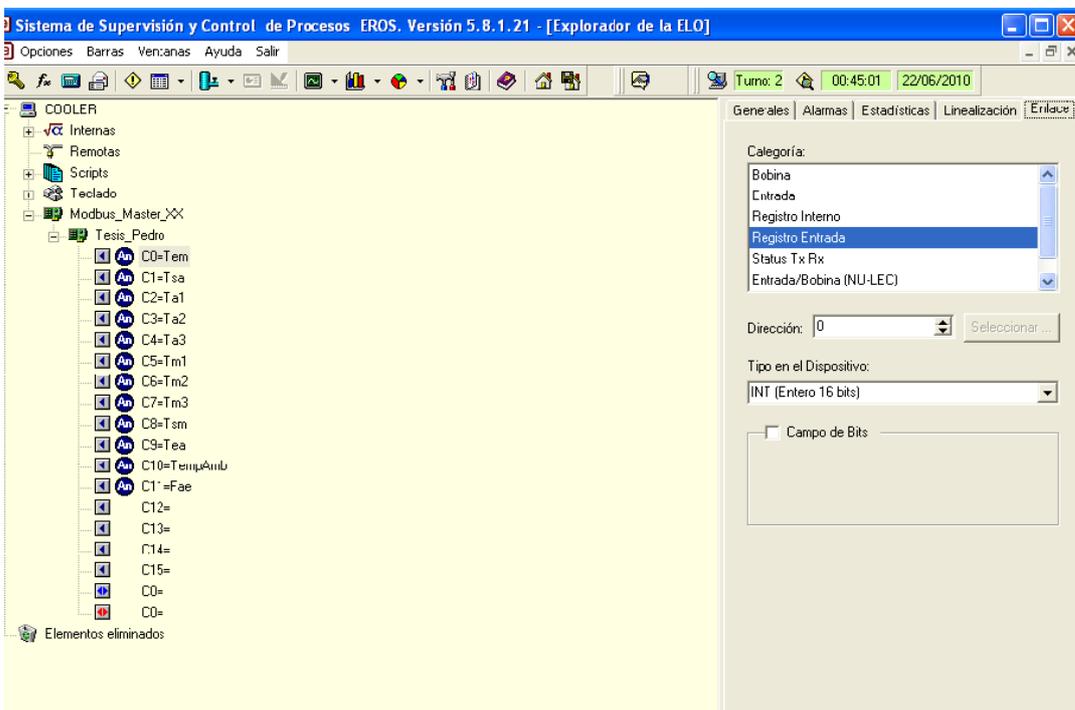


Figura. 3.16 Linealización de las variables analógicas

### 3.9.6 Enlace en el dispositivo de la variable analógica.

En la siguiente pestaña figura 3.17 se definen las características de la variable en el dispositivo y para ello tienen los siguientes parámetros:





**Figura. 3.17 Enlace de las variables analógicas**

- **Categoría:** Según las características de la variable en el ETHERNET se van a ubicar en una de estas cuatro categorías.
- **Bobina:** Señal discreta de salida o registro interno discreto.
- **Entrada:** Señal discreta de entrada o registro interno discreto.
- **Registro interno:** Señal analógica de salida o registro interno analógico.
- **Registro de entrada:** Señal analógica de entrada o registro interno analógico.
- **Status Tx Rx:** Registro interno que se usa para informar la estadística de las comunicaciones de los dispositivos.

**Dirección:** Es el número del registro donde se almacena el dato en el dispositivo.

**Tipo de dato en el dispositivo:** Se definen los tipos de datos según los maneja el dispositivo, para que el sistema los interprete correctamente como lo muestra la tabla 3.2.

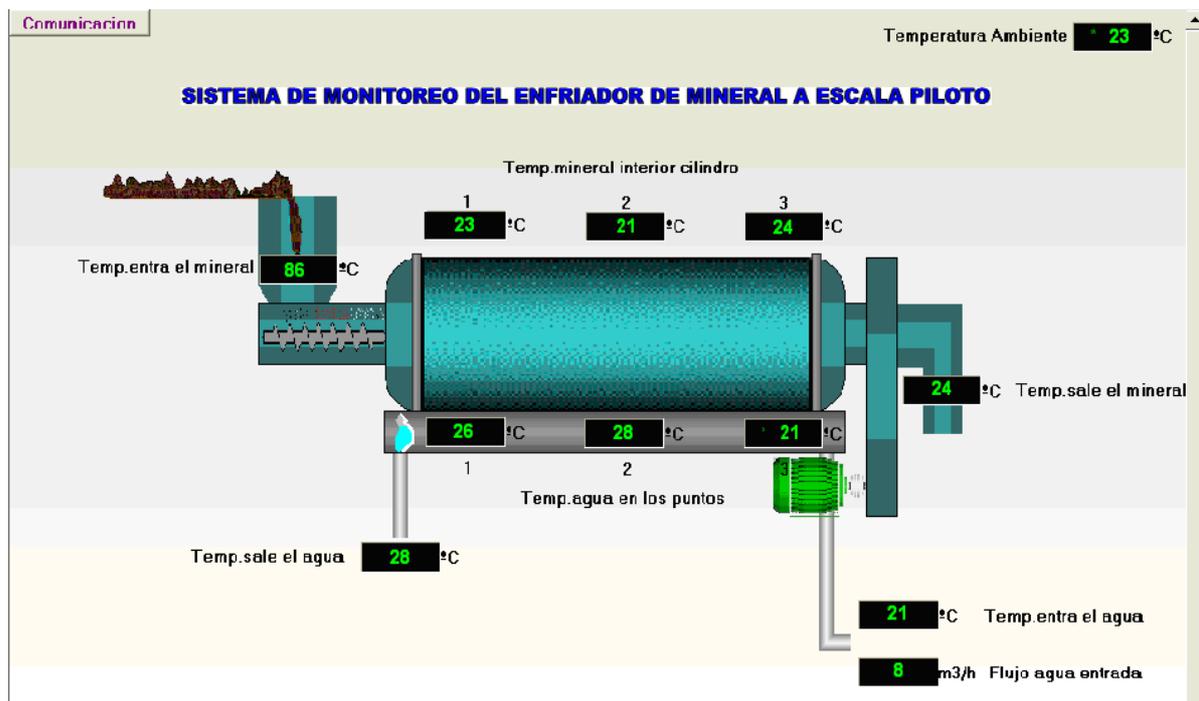
**Tabla.3.2** Tipo de datos

<b>Palabra Clave</b>	<b>Tipo de Dato</b>	<b>bits</b>	<b>Rango</b>
<b>BOOL</b>	Booleano	1	0 (falso) 1 (verdadero)
<b>SINT</b>	Entero corto con signo	8	-128 a 127
<b>USINT</b>	Entero corto sin signo.	8	0 a 255
<b>INT</b>	<b>Entero con signo</b>	<b>16</b>	<b>-32768 a 32767</b>
<b>UINT</b>	Entero sin signo	16	0 a 65535
<b>DINT</b>	Entero doble con signo	32	-2147483648 a 2147483647.
<b>UDINT</b>	Entero doble sin signo	32	0 a 4294967295
<b>LINT</b>	Entero largo	64	$-2^{63} + 1$ a $2^{63}$
<b>REAL</b>	Real	32	$1.5 \times 10^{-45}$ a $2.4 \times 10^{38}$
<b>LREAL</b>	Real largo	64	$5.0^{-324}$ a $1.7^{308}$

**Campo de Bits:** Si una variable se deposita en parte de un registro, aquí se define en que bit comenzará y cuántos la componen.

### 3.4 Ventanas específicas de la aplicación.

Para la operación de este sistema se diseñó una ventana que muestra el flujo tecnológico de la instalación y al mismo tiempo se representan las variables que se miden en cada ubicación, tal como lo muestra Figura 3.18



**Figura. 3.18** Ventana de operación de SCADA EROS

#### 3.4.1 Frecuencia de muestreo del sistema.

Especifica el tiempo entre dos solicitudes sucesivas al driver en cuestión, el mínimo está limitado por el período de muestreo principal del sistema y por supuesto está relacionado con las posibilidades del dispositivo y/o del bus.

En este sistema se ha definido una frecuencia de muestreo de 1 segundo (1000 ms) para realizar las mediciones de todas las variables que se encuentran en la configuración ya que con esta frecuencia se garantiza lograr la trazabilidad en los datos necesarios.

### 3.4.2 Verificación del funcionamiento del monitoreo del Sistema del enfriador de mineral.

Este epígrafe muestra a modo de monitoreo algunas de las variables implementadas en el Enfriador de Mineral, donde se muestra el comportamiento de las mismas, reflejando la dependencia entre ellas.

En la gráfica siguiente se observa (Ver figura 3.19) el comportamiento de las variables que influyen en él. Mostrando características acordes a los rangos de operatividad, donde se aprecia la relación existente entre la temperatura de entrada del mineral con respecto a la salida.



Figura. 3.19 Ventana de registro de las variables del enfriador



### **3.5 Valoración técnico económica e impacto ambiental del sistema.**

#### **Introducción**

En la actualidad resulta generalmente admitido que los ingresos presentes y futuros de la sociedad, así como la producción continuada de bienes y servicios dependen de la disponibilidad, no sólo de capital y fuerza laboral, sino también de recursos naturales y del medio ambiente. Si no se toma adecuadamente el costo y valor del medio ambiente, puede llegarse a una visión errónea de la riqueza y los ingresos de la sociedad y de su auténtico potencial de desarrollo sostenible.

En la actualidad existen procesos a los cuales es necesario realizar diferentes mediciones, las cuales son imprescindibles a la hora de hacer un diagnóstico de los mismos. En las instalaciones industriales se dificulta en cierta medida, la medición y registro de ciertas variables que describen el comportamiento de un proceso específico, como puede ser el enfriamiento del mineral reducido, debido a las dimensiones del mismo, que se requiere para ello mayor número de instrumentos de medición, mayor longitud de cables, y se pondría en riesgo el cumplimiento de los planes de producción al trabajar con flujos de agua y mineral tan grandes. Es por ello que se impone la idea de trabajar con instalaciones experimentales como la que se estudia en este trabajo.

#### **Valoración económica.**

Para realizar la valoración económica se tuvieron en cuenta los gastos que se producen en la instalación de la instrumentación, para llevar a cabo la total investigación sobre las mediciones de las variables que serán registradas por el sistema de supervisión en el enfriador de mineral, se valoró el costo de instalación del programa EROS, así como el personal especializado en el montaje.

El costo de implementación del sistema de control es alrededor de **5562.66 CUC** (ver anexo 6), debido a que esta tecnología es bastante costosa en el mercado internacional. No es recomendable aplicar este sistema a un enfriador de mineral a escala industrial, sin antes tener definido lo ocurrido en el proceso a escala piloto, debido a la cantidad de instrumentación a utilizar.



### **Impacto ambiental.**

La empresa del Níquel "Cmdte. René Ramos Latour" y en especial la planta de Hornos de Reducción desprenden al medio ambiente una gran cantidad de gases tóxicos que son dañinos para la salud humana. Se debe trabajar con el objetivo de disminuir la contaminación ambiental y esto se logrará creando una conciencia ambiental sólida en la empresa, para así garantizar una vida sana y agradable a las generaciones venideras ya que este es uno de los factores que incide sobre el nivel de vida de la población del municipio de Mayarí.

En la industria se violan muchas regulaciones internacionales del medio ambiente y deben tratar de cumplirse porque hay una gran cantidad de población del municipio que vive cerca de la zona industrial, como es el caso de las localidades de Levisa, Nicaro y otras zonas aledañas a la industria.

En dicha, planta la contaminación es provocada por salideros de mineral, en romanas, alimentadores, sinfines de polvo, etc. El derrame de mineral cae a los pisos inferiores y éste es eliminado mediante el soplado con aire, provocando contaminación en el área y en el exterior de la planta.

El derrame y salideros de mineral en la planta por los sellos de los transportadores, cae a la planta baja, este mineral se somete a la limpieza con agua y es trasladado por canales hacia los distintos desagües, mediante bombas la pulpa se envía hacia la canalización de la fábrica, que lo descarga a la presa de cola ubicada en el mar (este residual contiene gran cantidad de sólidos y grasas) sin tratamiento previo.

Otro foco de contaminación es provocado por los salideros de grasas (escotillas, mirillas, cámaras, sellos de los transportadores), estos gases contienen  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CO$  y son expulsados a la atmósfera y al área de trabajo.

El agua en la piscina de los enfriadores se contamina con polvo y grasa por los salideros de los sellos del enfriador del mineral y por las grasas de la transmisión del mismo que necesita para su movimiento. También puede ser afectada por las rajaduras del shell lo cual permite la entrada de agua al interior del mismo y esto provoca la



contaminación de la misma. Otra afectación que provoca este equipo es la salida del mineral a una temperatura por encima de 200° C que trae consigo la evaporación del licor fresco hacia la atmósfera en la sección de contacto.

En la planta la contaminación del aire por el polvo reduce la visibilidad resultante de absorción y dispersión de la luz por los materiales líquidos y sólidos arrastrados por el aire. La visibilidad se altera por las partículas que se forman en la atmósfera, por las reacciones en las partes gaseosas. Su reducción no sólo resulta desagradable para el individuo, sino que puede sufrir fuertes efectos psicológicos. Además se presentan algunos peligros que afectan la seguridad.

Otro contaminante es el amoniaco, tanto el líquido como el vapor, que se encuentra a la descarga de los enfriadores de mineral y que cada vez que se abre uno de ellos convierte a los trabajadores en sus víctimas pues es fuertemente irritante para la piel, los ojos y las vías respiratorias. Éste es muy tóxico y la exposición a altas concentraciones puede producir quemaduras, cegueras y hasta la muerte.

Cuando el amoniaco líquido se pone en contacto con la piel, produce congelaciones rápidas e intensas en la zona afectada. La ingestión del amoniaco líquido origina una severa acción corrosiva en la boca, la garganta y el estómago.

El amoniaco gaseoso tiene una gran acción irritante en cualquier parte húmeda de los tejidos, da taquicardia (agitación de la respiración y los latidos del corazón respectivamente), son algunos de los efectos originados por la irritación de la vías respiratorias, pudiendo llegar hasta detener la respiración.

Este inhalado produce efectos de los tejidos superficiales ya que no es absorbido por el organismo. Debido a su alta solubilidad del amoniaco con el agua, éste tiene gran facilidad de disolverse en el sudor del cuerpo humano.



### Impactos ambientales generados por la planta Hornos de Reducción.

1. Afectaciones a la estética laboral durante el montaje y desmontaje de los equipos y componentes de la planta.
2. Altos ruidos producto a los equipos dinámicos de la operación.
3. Elevadas temperaturas en las zonas de trabajo.
4. Generación de polvo y gases fugitivos calientes por sistema de alimentación y descarga de los hornos.
5. Generación de polvo y gases fugitivos calientes por sistema de alimentación y descarga de los alimentadores Yacoby.
6. Arrastre de mineral crudo a las canalizaciones.

### Caracterización de los impactos

El proceso de caracterización de los impactos ambientales es de gran importancia, pues posibilita la comprensión de la dimensión exacta del análisis desarrollado, determinando cómo repercuten sobre el medio ambiente cada uno de los impactos ambientales que tienen lugar tanto en el objeto como en los elementos externos a este. En la Tabla (3.3) se muestran los impactos ambientales en la planta de hornos de reducción, la misma servirá como base para el establecimiento de los impactos para el objeto de estudio.

Acciones o Actividades	Factores ambientales	Impactos Ambientales
Derrame de mineral	Económico	Pérdidas por concepto económico
Escape de gases contaminantes	Aire	Disminución de la calidad del aire
Escape de gases contaminantes	Hombre	Aumento de enfermedades respiratorias
Escape de gases contaminantes	Económico	Pérdidas por concepto económico
Emisiones de polvo	Hombre	Aumento de enfermedades respiratorias
Emisiones de ruido continuo	Hombre	Pérdidas de la sensibilidad auditiva

**Tabla 3.3** Identificación de los impactos ambientales en la planta hornos de reducción.



### **3.6- Conclusiones del capítulo.**

- En este capítulo se reflejan los resultados obtenidos en la instalación empleada, lo cual nos permite conocer el comportamiento de las variables que se van a utilizar para la medición de temperaturas y caudal de agua en los enfriadores rotatorios a escala piloto, así como trabajar directamente en los parámetros que se quieran variar para garantizar un mejor funcionamiento del equipo.
- Se hace un análisis económico donde se pudo determinar que el costo de la inversión para el montaje del sistema de supervisión asciende aproximadamente a **5562.66 CUC**.
- Se hace énfasis en los principales contaminantes del medio ambiente y que afectan la salud humana en la planta de Hornos de Reducción y en los enfriadores de mineral específicamente.



## **CONCLUSIONES**

- La bibliografía consultada no aborda el problema de la instrumentación y el control del proceso de enfriamiento de mineral reducido a escala industrial o piloto.
- Se seleccionaron cuatro termopares tipo K para la medición de la temperatura del mineral reducido a la entrada y en tres puntos diferentes en el interior del cilindro, para la temperatura de salida del mineral y la del agua a la entrada y en diferentes puntos de la piscina se seleccionaron termo resistencias Pt 100 por las ventajas y la precisión que las mismas ofrecen.
- Se utilizó como sistema de adquisición de datos el programa Eros por las bondades que el mismo brinda y la experiencia que existe en la región sobre el trabajo de supervisión.
- Se demostró que las variables al ser registradas por el sistema de supervisión instalado están censadas correctamente por los instrumentos de medición y listos para su puesta en operación.
- La instalación de variadores de frecuencia, para la variación de la velocidad de rotación del cilindro facilitará la experimentación y disminuirá el tiempo de realización de los experimentos, incidiendo directamente en los costos de los mismos.



## **RECOMENDACIONES**

- Continuar con el estudio de la temática aquí estudiada con el fin de perfeccionar el sistema de supervisión y llegar a conclusiones que garanticen la mejora en el proceso de enfriamiento de mineral.
- Implementar un lazo de control entre un variador de velocidad y aquellas variables que demuestren ser las de mayor incidencia en la temperatura de salida del mineral.
- Capacitar a los trabajadores que interactúen directamente con el sistema, utilizando como referencia este trabajo que está elaborado con el objetivo de servir como manual de operaciones.



# ANEXOS



## BIBLIOGRAFÍA

1. ALEPUZ, H. Mejora en el proceso de enfriamiento de mineral reducido con el enfriamiento actual. Nicaro: empresa Comandante "René Ramos Latour", 1977. 38p. Informe técnico.
2. ALONSO, C. Características del movimiento del mineral reducido caliente dentro de los enfriadores de mineral. Nicaro: empresa Comandante "René Ramos Latour", 1973. 27p. Informe técnico.
3. CALA, E Estudio del proceso de enfriamiento de mineral en cilindros rotatorios horizontales como objeto de modelación matemática. Tesis de grado. ISMMANJ. Moa. 2005. 71p.
4. CHACÓN, R. Las posibles causas que están incidiendo sobre el enfriamiento deficiente del mineral dentro de los cooler. Nicaro: empresa Comandante "René Ramos Latour", 1982. 21p. Informe técnico.
5. GÁNGARA, C. Enfriamiento del mineral reducido mediante la adición directa de agua atomizada en el enfriador rotatorio de Nicaro. Nicaro: empresa Comandante "René Ramos Latour", 1980. 32p. Informe técnico.
6. GÓNGORA, E. Modelación físico-matemática del proceso de enfriamiento de mineral en cilindros rotatorios de la planta hornos de reducción de la empresa "Comandante Ernesto Che Guevara". Tesis de maestría. ISMMANJ, Moa, Cuba. 2004. 80p.
7. GÓNGORA, E. Modelo Matemático Multivariable para un Proceso de Enfriamiento Industrial de Sólidos en Cilindros Rotatorios Horizontales. Minería y Geología, 2007.7p.
8. <http://www.modicon.com>. Catálogo. Modicon TSX Momentum Plataforma de Automatización. España, Schneider Electric, 2003.



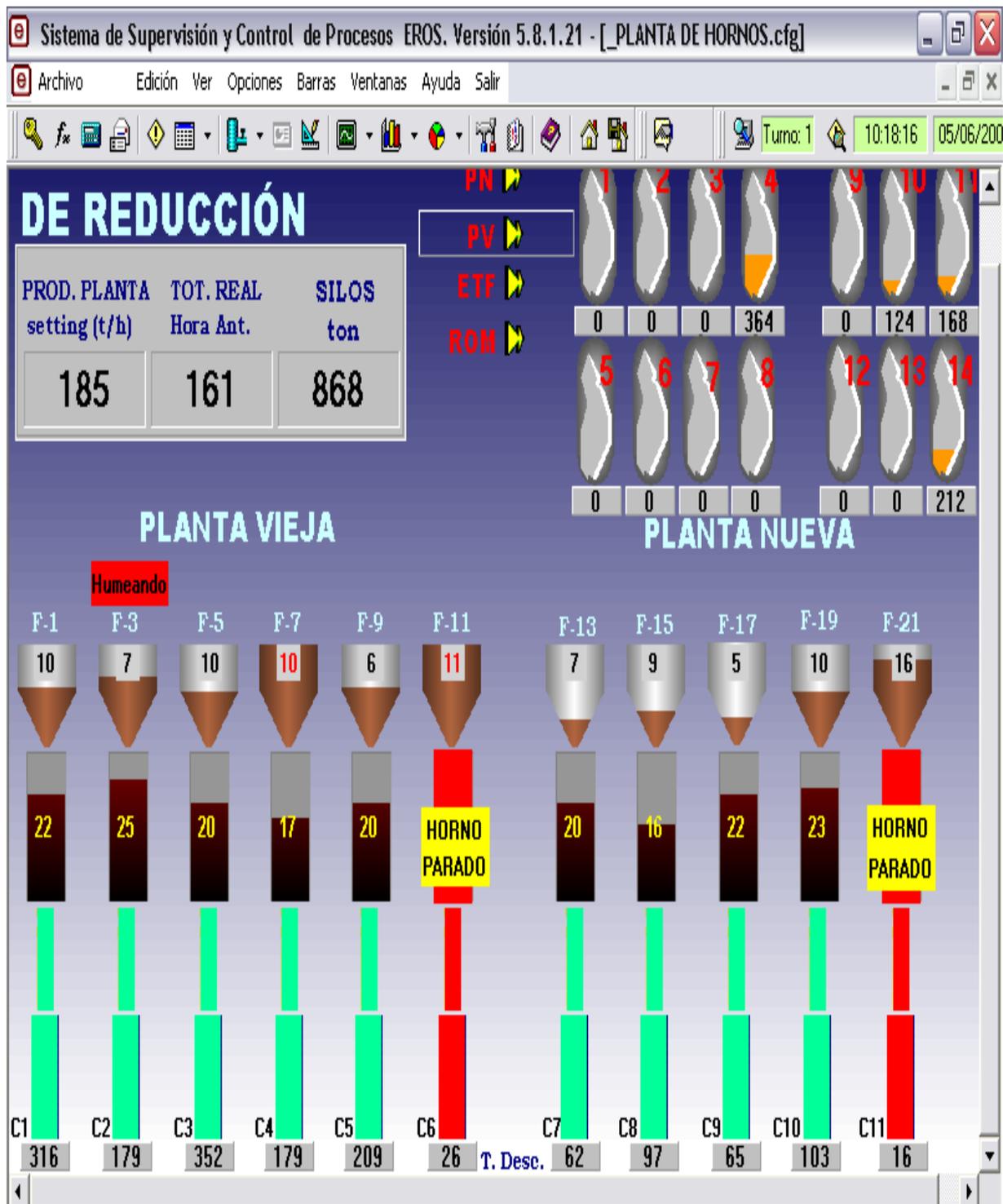
9. <http://www.modicon.com>. User Guide TSX Momentum I/O Base España: Schneider Electric, 1999. 617 p
10. <http://www.siemens.com>. Instrumentación de campo para la automatización de procesos. Catálogo FI 01· 2006.
11. INCROPERA, F. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Tercera edición. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 2003 Tomo I, II. III.
12. Instrumentación Industrial. Primera parte. [Libro de Texto]. 332 p.
13. LONDRES MENA, J. Modelación y simulación del proceso de enfriamiento del mineral reducido en cilindros horizontales rotatorios por el método de elementos finitos. Olivares, J.M. Tesis de grado. ISMMANJ. Moa. 2007. 59p
14. Manual de operación. Sistema de programación Concept V 2.6. Software de programación Concept para Plataforma de automatización Momentum. España: Schneider Electric, 2003.
15. Manual de Operaciones de la planta Hornos de Reducción de la empresa Comandante "René Ramos Latour", 2007. 61 p.
16. Manual del usuario Sistema de supervisión y control de procesos EROS. Grupo EROS, SERCONI, Nicaro, ISMM, Moa
17. MEDINA, A. Propuestas de modificación del carro raspador del enfriador de mineral de Nicaro. Nicaro: empresa Comandante "René Ramos Latour", 1995. 11p. Informe técnico.
18. PRESILLAS, D. Mejora en el proceso de enfriamiento de mineral reducido con el enfriamiento actual. Nicaro: empresa Comandante "René Ramos Latour", 1977. 12p. Informe técnico.



28. VALLE, M. Evaluación de los enfriadores de mineral de la empresa Cmdte "Ernesto Che Guevara" de Moa (2). Tecnología Química Vol. XX, No. 2, 2000, pp. 10-15.

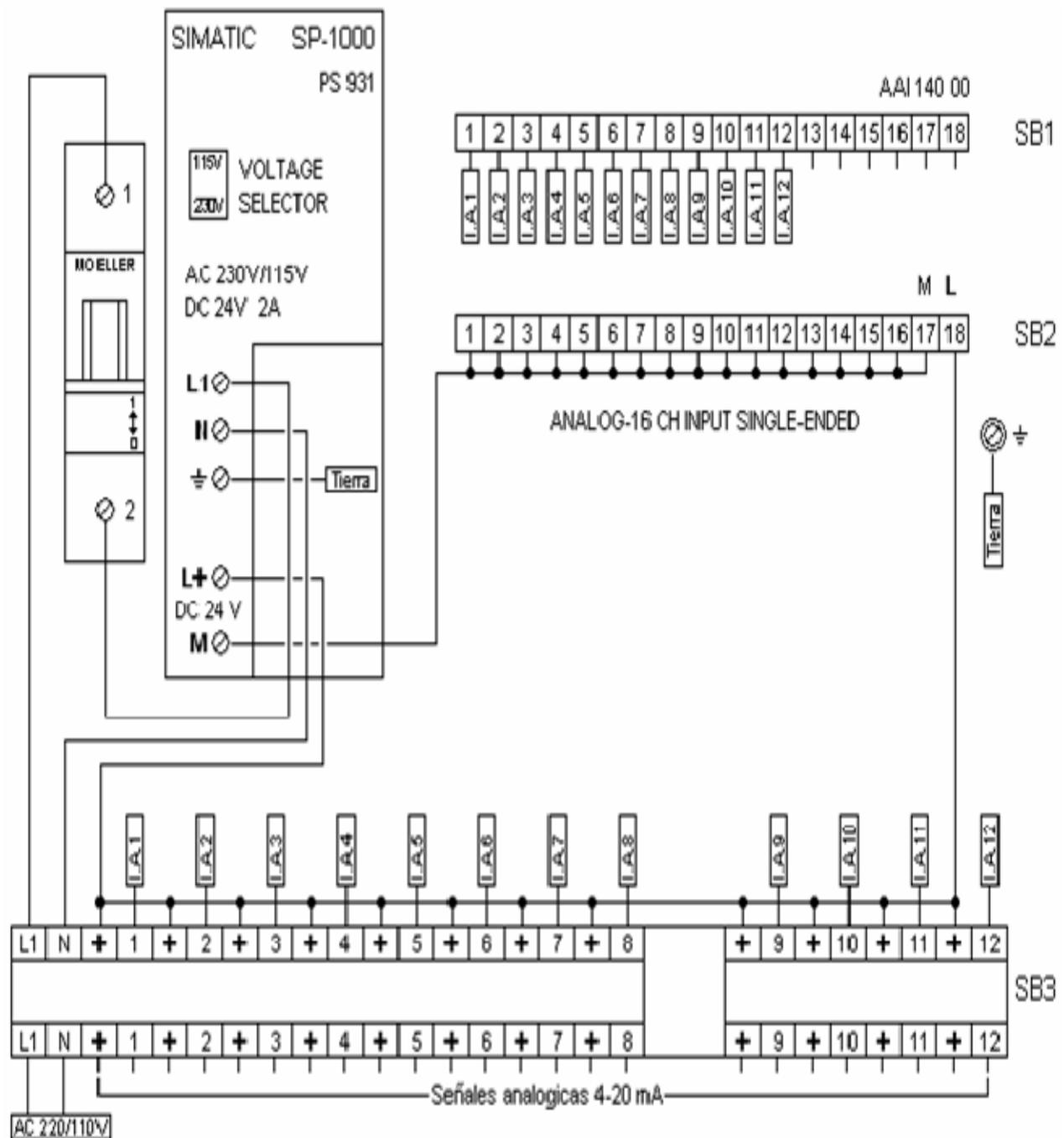
# ANEXO 1

Sistema de supervisión y control de procesos EROS.



## ANEXO 2

### Esquema de conexiones del sistema



## ANEXO 3

### Características del funcionamiento del procesador M1 Momentum 171 CCC 960 30.

Este adaptador de procesador dispone de tres indicadores LED: RUN, LAN ACT(IVE) y LAN ST(ATUS). Sus funciones se describen en la tabla siguiente.

LED	Modelo de indicadores	Estado
Arranque	Ambos	Un único parpadeo. Indica que el estado funcional es correcto.
Run	Verde	Continuamente encendido cuando la CPU recibe alimentación y resuelve lógica.
		Parpadea mostrando un modelo de error si la CPU se encuentra en modalidad de núcleo. (Consulte <i>Códigos de error y modelos de parpadeo del LED Run</i> ).
	DES	La CPU no recibe alimentación o no está resolviendo lógica.
LAN ACT	Verde	Puede estar encendido de forma continua o intermitente. Indica actividad en el puerto Ethernet.
	DES	No hay actividad en el puerto Ethernet.
LAN ST	Verde	Continuamente encendido durante el funcionamiento normal.
		Un parpadeo rápido indica una inicialización normal de Ethernet al arrancar.
		3 parpadeos indican que no se detecta ningún pulso de conexiones 10BASE-T. Compruebe el cable y el concentrador.
		4 parpadeos indican que se ha detectado una dirección IP duplicada.
		5 parpadeos indican que no hay ninguna dirección IP disponible.
	DES	No hay ninguna dirección MAC válida.

## ANEXO 4

Características del adaptador de procesador M1 Momentum 171 CCC 960 30.

### Memoria

Memoria interna	544 kbytes
Memoria de usuario	Exec 984LL de 18 K palabras
	Exec IEC de 200 K palabras
Flash RAM	1 Mb
Velocidad de reloj	50 MHz
Referencias de entrada y salida de	984LL
Registros	26.048
Bits	8.192 referencias 0x
	8.192 referencias 1x

### Referencias de entrada y salida de IEC

Registros	11.200
Bits	4.096 referencias 0x
	8.192 referencias 1x

### Mantenimiento de E/S

E/S locales	Mantiene todos los puntos de cualquier unidad host de E/S Momentum.
Timeout de temporizador Watchdog	335 ms
Tiempo de ciclo lógico	Consulte el apartado "Fórmula de tiempo de ciclo para 984LL Exec" que aparece abajo.

## ANEXO 4 (Continuación)

### Características mecánicas

Peso	42,5 g
Dimensiones (alto x fondo x ancho)	25,9 x 61,02 x 125 mm
Material (cercamientos/biseles)	Lexan

### Condiciones de funcionamiento

Temperatura	0 a 60°C
Humedad	5 a 95% (sin condensación)
Interacciones químicas	Los cercamientos y los biseles están fabricados con Lexan, un policarbonato que se puede dañar con soluciones alcalinas fuertes.
Altitud, pleno funcionamiento	2.000 m (6.500 pies)
Vibración	10 a 57 Hz a 0,075 mm de amplitud de desplazamiento 57 a 150Hz a 1 g Ref. IEC 68-2-6 FC
Descarga	+/-15 g máxima, 11 ms, onda de medio senoRef. IEC 68-2-27 EA
Inmunidad/sensibilidad a RFI	Cumple los requisitos de la marca CE para equipos abiertos. Los equipos abiertos deben instalarse en un cercamiento que cumpla el estándar industrial, con acceso restringido al personal de servicio calificado.

### Condiciones de almacenamiento

Temperatura	40 a 85°C
Humedad	5 a 95 % (sin condensación)

## ANEXO 4 (Continuación)

### Parámetros de seguridad

Grado de protección	Acceso involuntario (UL 508 tipo 1, NEMA250 tipo 1, IP20 de acuerdo con IEC529)
Fuerza dieléctrica	Ethernet tiene separación de potencial del común lógico de 500 V CC.
Continuidad de puesta a tierra	30 A, prueba en el conector de metal expuesto
Aprobaciones de organismos	UL 508, CSA, CUL, CE; FM clase 1, div. 2 pendiente.

## ANEXO 5

Base de datos utilizada para el análisis estadístico descriptivo.

	A	B	C	D	E
1	Tiempo	Tem.	TempAmb.	Ta1.	Tm1.
2	15:11:27	26,7	35,63	99,9	19,88
3	15:11:28	27	36,17	99,15	20
4	15:11:29	27	36,4	98,48	20
5	15:11:30	27	36,4	97,73	19,88
6	15:11:31	27	36,15	97,2	19,88
7	15:11:32	27	35,65	96,83	20
8	15:11:33	27	36,1	96,98	20,13
9	15:11:34	27	36,1	97,58	20,13
10	15:11:35	27	35,6	98,77	20,13
11	15:11:36	27	36,23	100,13	20,13
12	15:11:37	27	36,42	101,7	20,13
13	15:11:38	27	36,42	102,98	20
14	15:11:39	27	36,35	103,8	20
15	15:11:40	27	35,73	104,25	20,13
16	15:11:41	27	35,6	104,4	20,13
17	15:11:42	27	36,17	104,48	20,38
18	15:11:43	27	36,17	104,7	20,13
19	15:11:44	27	35,65	105,23	20,25
20	15:11:45	25,8	36,2	105,6	20,13
21	15:11:46	27	36,5	105,83	19,88
22	15:11:47	27	36,5	105,9	19,88
23	15:11:48	27	36,23	105,9	19,75

## ANEXO 6

### Valoración económica del trabajo

Descripción	Cantidad	U/M	Precio CUC	Importe CUC
Termoresistencia Pt100 con convertidor en el cabezal, rango de medición 0 a 300°C., longitud de inmersión: 100 mm, toma de proceso 1/2 npt, con racor deslizante y termopozo de 10 mm de diámetro incorporado. Salida: 4-20mA.	10	U	196.80	1968
Termopar tipo K con convertidor en el cabezal, rango de medición 0 a 1200°C., longitud de inmersión: 70 mm, toma de proceso 1/2 npt, con racor deslizante y termopozo de 20 mm de diámetro incorporado. Salida: 4-20mA.	4	U	255.20	1020.80
Transmisor de presión relativa. SIEMENS SITRANS P, modelo DS III, Tipo: 7MF-4433-1DA00-1AA1-Z, rango -1- 15 bar.	1	U	813.60	813.60
Cable de red de cobre UTP de par trenzado categoría 5.	2	m	0.42	0.84
Conectores plásticos transparentes RJ45.	2	U	0.58	1.16
CPU TSX Momentum M1. Modelo: 171 CCC 960 30-IEC, Comunicación: Ethernet e Interbus	1	U	690.00	690.00
Módulo de entradas analógicas 16 canales para PLC; Modicon TSX Momentum M1; Modelo: 170 AAI 140 00.	1	U	720.00	720.00
Fuente de alimentación SIEMENS, SITOP POWER 10; Señal de entrada: 220 V AC, 60 Hz; señal de salida: 24 V DC; capacidad de carga: 10 Amperes; montaje sobre perfil DIN.	1	U	300	300
Especialista "B" en Automatización, utilizado para la programación de la instrumentación.	2	8 h	24.55	49.10
<b>Total</b>				<b>5662.66</b>

## ANEXO 7

### Emplazamiento de los instrumentos

