

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN
ELECTRÓNICA PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE
GENERACIÓN DE GAS DE CARBÓN MINERAL**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:
MIGUEL ANGEL CHOQUE FIGUEROA**

**PROMOCIÓN
2004-I**

**LIMA-PERÚ
2012**

ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE GENERACIÓN DE GAS DE CARBÓN MINERAL

DEDICATORIA

A mis padres,
Feliciano que descansa en paz,
Juana por su apoyo y nobleza.

A mi esposa Mirian,
A mis hijos Shelen y Sebastian,
por lo feliz que me hacen.

SUMARIO

El presente informe tiene como objetivo optimizar la generación de gas a partir de carbón mineral, teniendo como recurso para ello la instrumentación electrónica que ha de emplearse luego de desarrollar un estudio y evaluación del mismo. Este gas mezclado con otro que se obtiene como subproducto en la generación de arrabio líquido, permitirá la sustitución de este por otros combustibles de alto precio como el petróleo.

Al desarrollarse el proceso en un complejo siderúrgico, se presentan en él situaciones críticas en el propósito de medir las variables de campo como son presión, temperatura, flujo y nivel; también se tiene en cuenta la instrumentación que se encuentra en mal estado o aquella que fue planteada cuando la tecnología no alcanzaba la robustez con la que en la actualidad se cuenta.

La propuesta está basada en proponer la instrumentación que permita medir y controlar cada etapa de la línea en la cual se da el proceso, de manera tal que se obtenga un producto final de alta calidad.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción	1
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Generación de gas de gasógeno.....	3
1.3. Descripción termodinámica del proceso.....	5
1.4. Variables de control en el proceso	7
1.5. Objetivos	8
1.5.1. Objetivo general	8
1.5.2. Objetivos específicos	9
1.6. Limitaciones del informe	9
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	10
2.1. Antecedentes del problema	10
2.2. Funcionamiento de un generador de gas	11
2.3. Definiciones de Instrumentación electrónica.....	14
2.3.1. Instrumentación.....	14
2.3.2. Características estáticas de un instrumento de medida.....	16
2.3.3. Instrumentación de campo.....	17
2.3.4. Controladores lógicos programables.....	26
2.3.5. Normas ANSI/ISA para instrumentación	28
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	31
3.1. Propuesta de solución.....	31
3.2. Procedimiento de solución.....	31
3.2.1. Control de sistema de carguío y suministro de material	31
3.2.2. Control de nivel de zona incandescente.....	37
3.2.3. Control de flujo de aire y presión de gas en el reactor	40

3.2.4. Control de temperatura de aire saturado	43
3.2.5. Control de flujo de gas	44
CAPÍTULO IV	
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	46
4.1. Resultados	46
4.2. Evaluación económica	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
Anexo A	
Reacciones químicas en el reactor	55
Anexo B	
Conceptos básicos de instrumentación	57
Anexo C	
Registrador gráfico	59
Anexo D	
Conceptos básicos de calibración	62
Anexo E	
Especificaciones técnicas de instrumentación electrónica	64
BIBLIOGRAFÍA.....	70

INTRODUCCIÓN

El presente informe surge ante la necesidad de contar con un sistema de instrumentación que optimice un proceso industrial; se parte de una instrumentación que en muchos casos se han vuelto obsoletas y que implicaban una presencia humana sometida a riesgos eventuales propios de un proceso industrial, más aun por tratarse de un proceso correspondiente a una actividad minera.

El campo de estudio corresponde al de una planta dedicada a la producción de gas a partir de carbón mineral, la cual funciona con mediciones realizadas por instrumentación planteada hace varias décadas, hoy en día los sistemas de control y supervisión son en muchos casos automatizados casi en su totalidad y es el fin de este informe sugerir un sistema de instrumentación que permitan no solo una calidad en el producto final sino también una eficiencia en la producción sin paradas innecesarias ni riesgos a la vida de los operarios.

Para determinar las características y los tipos de instrumentos a utilizar en este proceso se debe conocer el desarrollo del mismo y sus etapas a controlar, al ser este un proceso industrial las variables físicas más comunes a medir y controlar es la de presión, temperatura, caudal y nivel.

Actualmente existen muchos productos, marcas y modelos de instrumentación de campo con los que se puede contar, en este informe plantearemos la selección más adecuada considerando el rango de medida en cada una de las variables dentro del proceso y las condiciones extremas en la que en muchos casos debe trabajar el instrumento, teniendo como objetivo mediciones correctas y el buen funcionamiento de la instrumentación usada, implicando una generación de gas a partir de carbón mineral con una mejor calidad.

En el caso particular de una siderúrgica en el proceso de producción de arrabio se genera como subproducto un gas con bajo poder calorífico el cual por si solo lograría bajas temperaturas de combustión; es aquí cuando la generación de gas a partir de carbón mineral rico en poder calorífico cumple un rol importante puesto que al mezclarse con el primero permitiría una combustión que alcanzaría temperaturas superiores a los 1000 °C, sustituyendo en gran parte al petróleo que se usa para las diferentes procesos en un actividad siderúrgica transformándose ello en un ahorro a futuro. A continuación se resume brevemente los contenidos de los capítulos a tratar en este informe.

En el primer capítulo: se describe y plantea el problema describiendo el proceso, evaluando el objetivo a cumplir y las limitaciones que se tendrán en cuenta.

En el segundo capítulo: se describe el proceso y los antecedentes de su funcionamiento, considerando los diferentes puntos críticos del proceso para evaluar una correcta medida de las variables físicas involucradas; se analiza la instrumentación existente y las posibilidades de modificación teniendo en cuenta que actualmente se cuenta con instrumentos más robustos y con más funciones que le dan denominación de instrumentos inteligentes; para llevar una correcta evaluación de los mismos se divide el proceso completo de generación de gas a partir de carbón mineral en cinco subprocesos. Adicionalmente se estudian las bases teóricas necesarias para una mejor comprensión del presente informe revisando conceptos de instrumentación, normas y terminologías relacionadas con ello.

En el tercer capítulo: se presenta la propuesta de solución al problema planteado, describiendo y sugiriendo la instrumentación que darán como resultado una óptima y eficaz producción de gas; el sistema de instrumentación considerado cumplirá con los estándares existentes y trabajaran a las condiciones complejas que el proceso lo requiere; esto se desarrolla considerando el proceso global en cinco etapas bien definidas.

En el cuarto capítulo: se realiza la presentación de los resultados, en la que se muestra el conjunto de instrumentos recomendados luego del estudio y evaluación del proceso; esto se resume en un P&ID es decir en un diagrama del proceso e instrumentación. Finalmente, se presentan las conclusiones finales y recomendaciones del informe.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Muchas de las industrias que hoy existen cuentan con plantas de producción que en muchos casos han iniciado su actividad hace varias décadas; razón por la cual la instrumentación electrónica que se planteó para ellas se decidió teniendo en cuenta la tecnología con lo que se contaba en ese momento; hoy en día muchas de ellas han quedado obsoletas teniendo en cuenta el crecimiento sustancial de la tecnología electrónica en todos los campos, lo cual permite otras formas y métodos de medir una variable específica sin las complicaciones que solía ocurrir hace algunos años. Es así que considerando las nuevas tendencias de instrumentación, el presente informe se desarrolla con la necesidad de estudiar y evaluar la instrumentación que optimice la generación de gas a partir de carbón mineral respecto a la instrumentación existente. Otro problema frecuente es la falta de capacitación en el manejo de la instrumentación moderna en otros casos la mala maniobra y la no sustitución o reparación de los equipos en mal estado lo cual lleva a que la producción deje de ser la más óptima.

En este informe nos referimos a una planta generadora de gas a partir de carbón mineral, dicha planta es parte de otras que conforman un complejo siderúrgico destinado a la producción del acero.

1.2. Generación de gas de gasógeno

Una generadora de gas llamado también gasógeno, transforma combustible mineral sólido en combustible gaseoso teniendo como materia prima principal carbón mineral de granulometría entre 10 y 30 mm por lo cual también se le llama finos de coque, en forma alternativa también se podría usar un mineral llamado antracita. Este gas producido tendrá un poder calorífico (PCI) de hasta 4450 Kcal/Nm³, según el combustible sólido empleado y la concentraciones de vapor con oxígeno usado para la reacciones implicadas en el proceso.

El fin principal de producir este gas de gasógeno es para que en combinación o mezclado con el gas de alto horno le dé a este último un mayor poder calorífico. El alto horno es el sistema de mayor importancia en un ciclo siderúrgico y su producto principal es el arrabio líquido que posteriormente será transformado en acero, pero en dicho proceso se genera además como subproducto un gas con un PCI de 665 Kcal/Nm³, el cual por tener

un bajo poder calorífico no puede ser usado directamente por que al quemarse no alcanzaría las temperaturas que se requiere en los procesos de una siderurgia que en la mayoría de los casos trabajan sobre los 1000 °C.

Es así que de no contar con un gasógeno gran parte del gas liberado en el alto horno se perdería, en la Tabla N° 1.1 se muestra la distribución del gas del alto horno; de los 70000 Nm³/h que en este se produce 32000 Nm³/h sería para el consumo en estufas, 15500 Nm³/h para el uso en calderas y el resto que corresponde a 22500 Nm³/h se perdería al exterior a través de una antorcha donde es quemado para no contaminar la atmosfera.

Tabla N° 1.1 Distribución de gas del alto horno

	Caudal Normalizado (Nm ³ /h)	Porcentaje (%)
Producción de gas en el alto horno	70000	100
Consumo de gas en estufas	32000	46
Consumo de gas en calderas	15500	22
Perdidas de gas en antorcha	22500	32

El gasógeno en referencia corresponde a uno de lecho fijo, en este el combustible (carbón mineral) se encuentra relativamente estático reposando sobre unas parrillas giratorias sin agitador; por debajo de las cuales se inyecta aire saturado con vapor para provocar la reacción. El conjunto parrillas y carbón mineral se encuentran dentro de un recipiente cilíndrico llamado reactor con un diámetro de 3 m y altura de 4 m en él se espera un producción nominal de 6000 Nm³/h de gas (gas de gasógeno) que serán mezclado con el gas de alto horno para tener un gas resultante que al tener un alto poder calorífico podrá ser usado en sustitución de otros combustibles de altos precios como el petróleo.

En la Fig.1.1 se muestra un esquema del desarrollo del proceso, en él se observa al reactor donde sucede la parte más importante del proceso; de cómo se de las reacciones en su interior dependerá la calidad del gas generado. En la estructura, concéntrica al reactor se tiene una chaqueta de agua la cual aprovechando el calor que se genera en la reacción se encuentra en constante evaporización; el vapor de agua es arrastrado por la parte superior de la chaqueta por el aire frío que entra por la tubería de alimentación de aire y luego de mezclarse con el vapor es conducido por una tubería exterior que llega hasta la parte inferior de las parrillas en el interior del reactor; este aire saturado con vapor es el comburente que provocara la reacción del carbón mineral para generar el gas.

En el mismo esquema se muestra como el carbón es llevado hasta el reactor: primero se tiene el carbón en una tolva de recepción (T-1) de aquí es transportado mediante

una faja transportadora y luego un elevador de cangilones hacia un depósito ubicado a 12 m sobre piso firme este depósito se encuentra dividido en dos tolvas llamadas tolva superior(T-2) y tolva inferior de alimentación(T-3), finalmente de esta última y través de cuatro tuberías verticales el mineral se deja caer al reactor en el momento que se requiera accionando compuertas destinadas para tal fin.

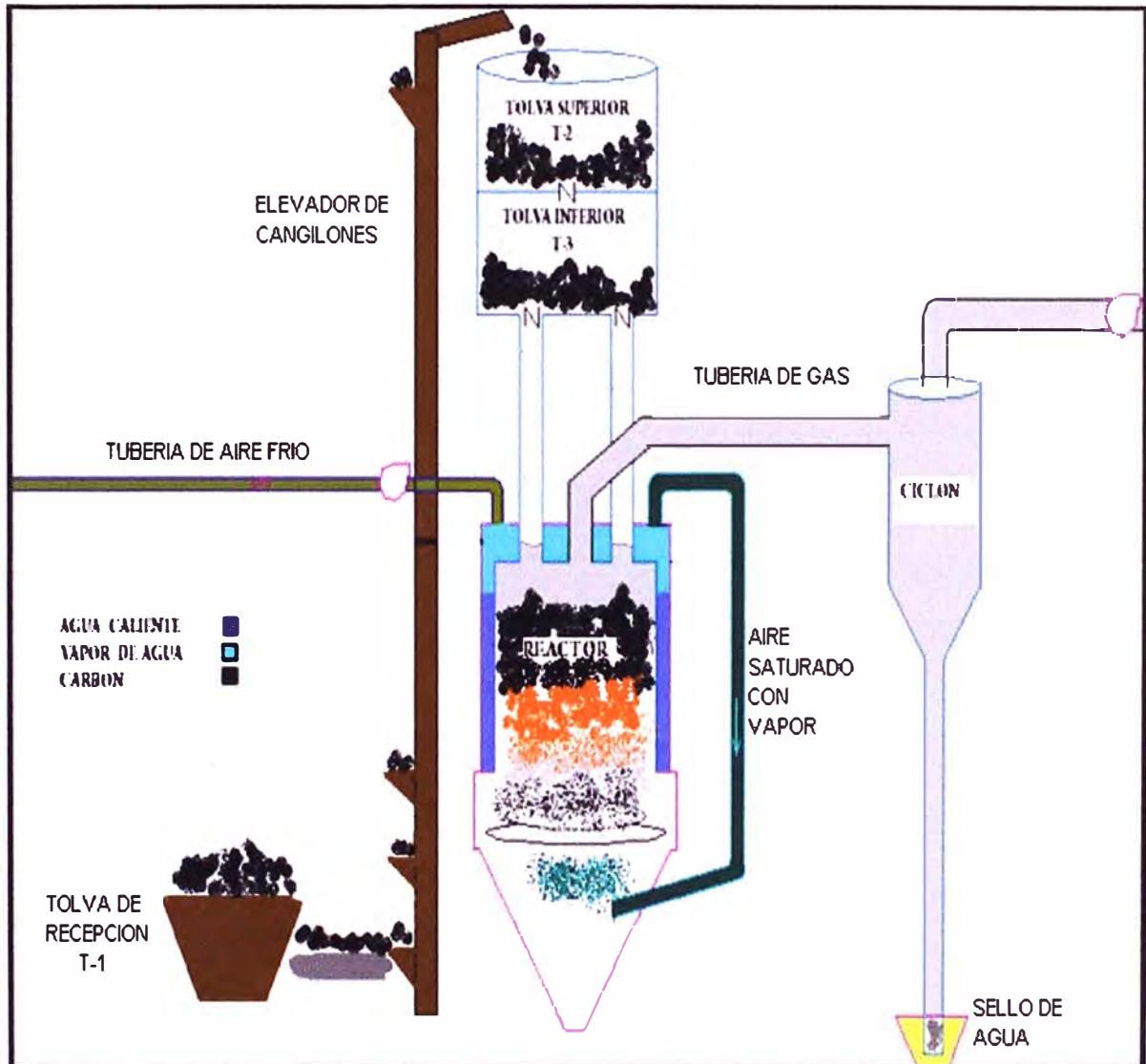


Fig. 1.1 Desarrollo del proceso de generación de gas

El gas generado en el reactor es conducido por intermedio de una tubería hacia un tercer recipiente conocido como ciclón es aquí donde el polvo de ceniza suspendido en el gas cae por efecto de la gravedad a través de un conducto tubular hacia un recipiente con contenido de agua que a su vez impide el escape del gas, razón por la cual se conoce como sello de agua. Luego de su paso por el ciclón el gas es conducido por tuberías para ser mezclado con el gas generado en el alto horno.

1.3. Descripción termodinámica del proceso

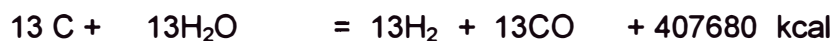
Para entender el desarrollo del proceso se analizara la ocurrencia del mismo desde el punto de vista termodinámico lo cual también implica las reacciones químicas que ocu-

rren en la generación del gas, lo cual según lo descrito anteriormente tiene lugar en el reactor.

Para la generación de gas se tiene como materia prima esencial al carbón mineral o coque el cual reaccionara con el aire saturado con vapor que será inyectado por debajo de las parrillas, este último ascenderá por el lecho de cenizas que va quedando luego de la combustión incompleta para reaccionar con el coque que aún no ha entrado en combustión; en este suceso se observa una transformación química y energética de los materiales reactantes hacia el producto final que es el gas generado. Es inevitable la pérdida de energía al medio ambiente, ya sea por transmisión o radiación.

El coque que interviene en el proceso tiene una composición química que en base seca corresponde a un 86 % de carbono, un 0.8% de hidrogeno, un 0.4% de nitrógeno, un 0.6 % de oxígeno, un 0.5% de azufre y un 11.7% de ceniza.

La ecuación que caracteriza la transformación química de estos elementos al reaccionar con el aire con vapor saturado es la que sigue:



Desde un punto de vista físico las magnitudes que intervienen en el proceso se listan a continuación [1]:

V_A : Volumen de aire de combustión por kg de coque.

V_g : Volumen de gas producido por Nm^3 de aire.

M_k : Consumo de coque en kg por Nm^3 de gas producido.

V_g : Volumen de gas producido por kg de coque.

M_v : Consumo de vapor por kg de coque.

Q_d : Calor total disipado en el proceso.

PCI_{coque} : Poder calorífico inferior del coque

PCI_{gas} : Poder calorífico inferior del gas.

Q_{dg} : Calor sensible del gas producido.

Q_{dw} : Calor disipado en el agua de refrigeración.

Q_{dr} : Calor disipado por radiación.

Para determinar estas magnitudes se procede a una serie de pruebas que consiste en hacer mediciones variando los parámetros de entrada y tomar datos de manera repetitiva y luego sacar un promedio a cada parámetro involucrado. Se observa luego que el poder calorífico del gas (PCI) depende de la concentración de CO e H_2 , la concentración de estos juntos con la del CO_2 variaran con la temperatura del aire saturado que se inyecta por debajo de las parrillas. De las pruebas se deduce que existe un punto donde la con-

centración de monóxido de carbono es máxima y la del dióxido de carbono es mínima, por consiguiente el poder calorífico de gas es máximo, a este punto de máxima eficiencia se conoce como, punto óptimo de operación del gasógeno.

A bajo régimen de carga el punto óptimo se obtiene cuando la temperatura de aire saturado que se inyecta alcanza los 60 °C, y para régimen de carga medios y altos el punto óptimo se obtiene con aire saturado a 62 °C; el régimen de carga o velocidad de gasificación está dado por la cantidad de carbón que entra en combustión por unidad de tiempo y unidad de área.

Un análisis típico de gas de gasógeno realizado con un analizador Orzat corresponde a una concentración de 27% de CO, 7% de CO₂, 13% de H₂, 53% de N₂ y 0% de O₂

Se demuestra experimentalmente que cuando mayor sea el régimen de carga mayor será el PCI y la eficiencia del proceso, los ensayos experimentales realizados con analizadores químicos y que llevan a estas conclusiones se tiene que para una producción nominal de 5000 Nm³ de gas los parámetros descritos anteriormente toman los siguientes valores [1]:

$$V_A = 3,15 \text{ Nm}^3/\text{kg.coque}$$

$$V_g = 1,5 \text{ Nm}^3\text{gas}/\text{Nm}^3.\text{aire}$$

$$M_k = 0,212 \text{ kg.coque}/\text{Nm}^3 \text{ gas}$$

$$V_{g'} = 4,72 \text{ Nm}^3 \text{ gas}/\text{kg.coque}$$

$$M_v = 0,493 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg.coque}$$

$$Q_d = 1,306 \text{ kcal/ kg.coque}$$

$$\text{PCI}_{\text{coque}} = 6750 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{PCI}_{\text{gas}} = 1150 \text{ kcal /Nm}^3$$

$$Q_{dg} = 528 \text{ kcal/kg coque}$$

$$Q_{dw} = 231 \text{ kcal/kg coque}$$

$$Q_{dr} = 26,5 \text{ kcal/kg coque}$$

Luego la eficiencia en la producción de gas a partir de coque mineral es:

$$\eta = \frac{\text{Calor útil del gas}}{\text{Calor del coque}} = \frac{V_g \times \text{PCI}_{\text{gas}}}{\text{PCI}_{\text{coke}}}$$

$$\eta = \frac{4,72 \times 1150}{6,750} = 80,7\% \quad (1.1)$$

1.4. Variables de control en el proceso

Lo anterior son parámetros que se han obtenido con analizadores químicos; las variables físicas de control conocidas también como variables de campo involucradas en el proceso son aquellas cuyas mediciones serán realizadas con instrumentación determinada para tal fin.

a) Temperatura: del proceso se desprende la necesidad de medir esta variable en la línea de aire frío; en la línea de gas generado; de la mezcla de aire con vapor saturado, es necesario controlar la temperatura antes de inyectarlo por debajo de las parrillas lo cual se lograra regulando el agua fría que ingresa al interior de la chaqueta del reactor; para determinar las diferentes zonas de reacción en el interior del reactor es necesario la medición de temperatura en diferentes puntos a lo largo de este.

b) Presión: del análisis del proceso se desprende la necesidad de medir esta variable en la línea de aire, línea de gas generado, línea de agua, y en el interior del reactor.

c) Caudal o flujo: del aire frío que ingresa al reactor y del gas generado a la salida del mismo, serán determinantes para el control del proceso y de la producción.

d) Altura sobre las parrillas: en el interior del reactor durante el proceso de combustión incompleta, donde es generado el gas es importante controlar la altura sobre las parrillas a la cual permanecerá esta zona de máxima gasificación o zona de incandescencia pues de ello dependerá el régimen de carga o velocidad de gasificación y por lo tanto la calidad del gas; para que lo anterior sea posible es necesario mantener dicho nivel de incandescencia a 60 cm sobre las parrillas, lo cual se lograra controlando la velocidad de giro de las parrillas con lo cual se evacuara las cenizas que quedan de la combustión. De cómo se alimente de material al reactor también dependerán las reacciones en el interior de este, pues siempre deberá haber una capa de material de coque crudo disponible sobre la zona incandescente de manera que no se interrumpa la combustión.

Estas mediciones se llevaran a cabo con el uso de sensores, transductores, transmisores y el control se realizaran con a la ayuda de controladores digitales, programables, actuadores y otros que permitan que el proceso esté en constante monitoreo y supervisión.

En este contexto el problema pasa por la necesidad de contar con instrumentación que permita llevar el proceso de generación de gas de manera eficiente con el fin de tener un producto final de calidad, evitando las paradas continuas debido a la falta de instrumentación en algunos casos y en otros porque ya se encuentran en mal estado por el pasar del tiempo.

1.5. Objetivos

El presente informe tiene un objetivo general y cinco objetivos específicos que facilitan su cumplimiento.

1.5.1. Objetivo general

Estudio y evaluación de la instrumentación electrónica en el proceso de generación de gas a partir de carbón mineral en una siderúrgica a efectos de optimizar la producción del mismo.

1.5.2. Objetivos específicos

- Sugerir la instrumentación para medir y controlar el llenado de carbón en la tolva superior, el vaciado de carbón de la tolva superior hacia la tolva inferior y luego al reactor de manera que esto ocurra en tiempos y/o periodos estratégicos.
- Sugerir la instrumentación para medir y controlar la altura a la cual se encuentra la zona de combustión máxima o zona incandescente.
- Sugerir la instrumentación para controlar el flujo de aire que entra por la tubería de aire frío y la presión de gas a la salida de reactor.
- Sugerir la instrumentación para controlar la temperatura y la presión del vapor saturado que ha de inyectarse por debajo de las parrillas en el interior del reactor para generar la combustión.
- Control de flujo del gas generado.

1.6. Limitaciones del informe

El presente informe no incluye la implementación y ejecución de instrumentación electrónica en el proceso, por lo tanto no se menciona la configuración del mismo, puesto que dependiendo de la marca y modelo existirán marcadas diferencias. La instrumentación que requiere potencia se asume como un sistema individual.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Antecedentes del problema

En una siderúrgica en su proceso productivo de arrabio en el alto horno, se genera como subproducto un gas con concentraciones de CO y H₂, combustible con un PCI de 665 kcal/Nm³ en promedio, este gas por su bajo poder calorífico solo puede ser aprovechado en forma parcial dado que no alcanzaría las temperaturas de calentamiento que se requieren en la actividad siderúrgica, perdiéndose de esta manera alrededor del 32 % de este gas quemándolo y expulsándolo al medio ambiente lo cual equivale a 265 000 gl/mes de petróleo residual[1].

Como alternativa de solución se presenta el funcionamiento de un gasógeno que genera un gas de mayor poder calorífico, para que en combinación con el generado en alto horno de cómo resultado un combustible con un poder calorífico que pueda ser aprovechado en los hornos con los que cuenta una siderúrgica.

El gas producido en un gasógeno puede alcanzar poder calorífico de 450 hasta 4450 Kcal/Nm³ esto dependiendo principalmente del carbón, de la concentración de oxígeno usado para la combustión y de cómo se lleva el proceso en el interior del reactor. Si el comburente usado es oxígeno puro se obtendría un gas con poder calorífico entre 2800 a 3000 Kcal/Nm³; si el comburente usado es el aire entonces se obtendría gas con un poder calorífico entre 750 y 1400 Kcal/Nm³, este último será el caso particular de estudio en este informe con la diferencia que en lugar de aire puro este se mezcla con vapor de agua para que el conjunto tenga mayor presencia de oxígeno e hidrógeno.

En el presente informe se hace referencia a un generador de gas que se inició con un sistema de medición que contaba con instrumentación de diferentes tipos, marcas y modelos que con el pasar del tiempo se fueron renovando, cambiando o eliminando de acuerdo a la necesidad del proceso. Dichas modificaciones se hicieron sin un correcto historial y por lo tanto fueron acarreado problemas en la aplicación del proceso, creando incluso una confusión cuando se trata de suplantar una instrumentación por otra sin el correcto estudio y conocimiento del proceso.

En este contexto, el presente informe pretende llenar ese vacío y obtener toda la información relevante de la instrumentación electrónica necesaria en la línea de producción de gas a partir de carbón mineral.

2.2. Funcionamiento de un generador de gas:

Un productor de gas, también conocido como gasógeno convierte combustible sólido como el carbón en combustible gaseoso, por la acción continua de un agente gasificante portador de oxígeno.

El gasógeno corresponde a un generador de gas de lecho fijo provisto de una parrilla giratoria y sin agitador sobre la cual descansa el carbón que se encuentra en constante reacción utilizando al aire saturado de vapor como comburente. Este tipo de generador tendría una producción nominal de 6000 Nm³/h, con un consumo nominal de carbón de 1400 kg/h.

Refiriéndonos nuevamente a la Fig. 1.1, se observa que el proceso se inicia llevando el carbón de la tolva de recepción y por medio de un elevador de cangilones a una tolva superior, de esta última y en el mismo depósito se encuentra una tolva inferior separados por una compuerta, estas dos últimas tolvas constituyen el depósito de carbón como se muestra en Fig. 2.1, uno de los fines de la compuerta es no permitir el escape del gas al exterior en el proceso de llenado.

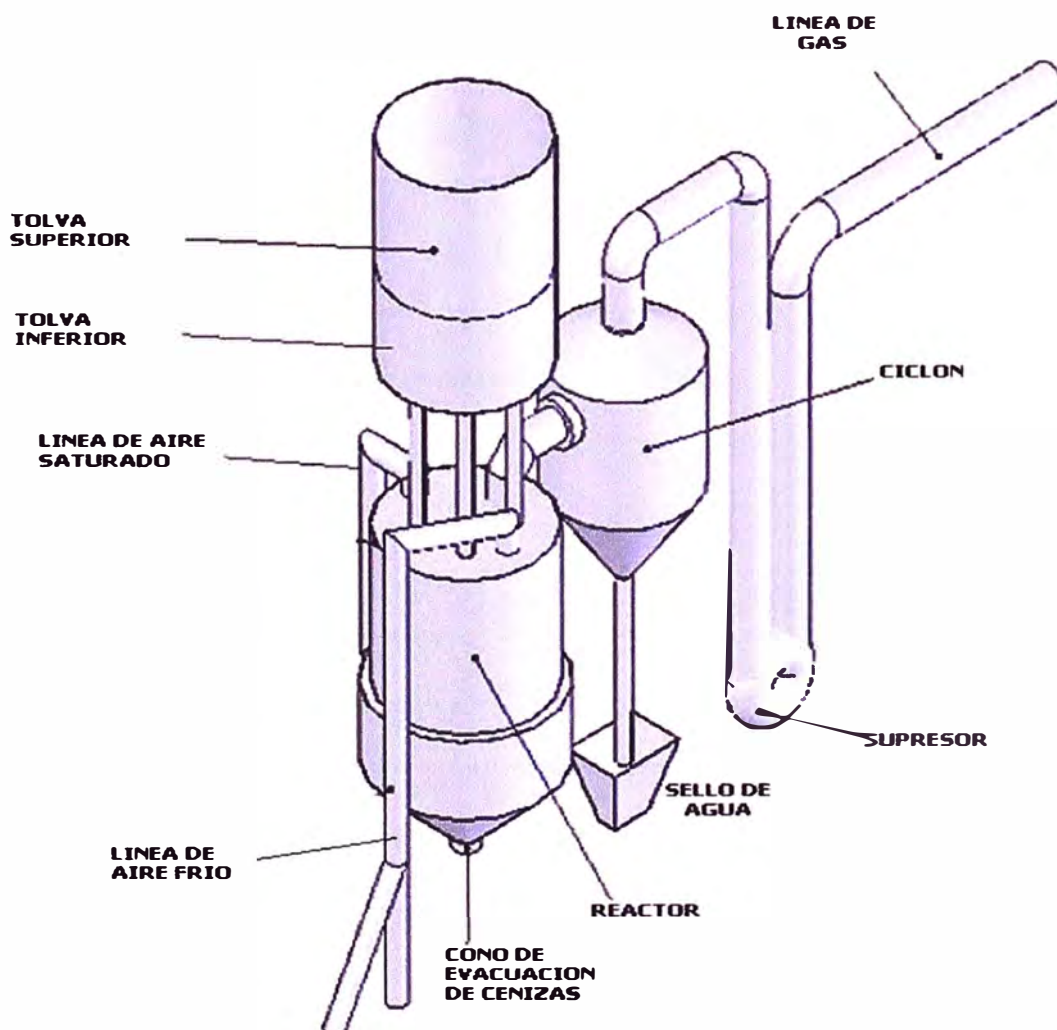


Fig. 2.1 Estructura de la planta generadora de gas

De la tolva inferior del depósito del carbón y a través de 4 tubos verticales simétricamente distribuidos y con su respectiva compuerta se suministra carbón al reactor. Ya el carbón en el horno reactor se da aquí la parte más importante del proceso, por ello es que describiremos previamente la forma física de cómo está hecho internamente el reactor ver Fig. 2.2 .El reactor de forma cilíndrica tiene 4.5 m de altura y se extiende en su parte inferior en forma cónica aproximadamente 1.5 m; a 1.2 m medidos desde la parte inferior cilíndrica se encuentran 3 parrillas giratorias separadas 15 cm y de diferente radio y construidas de manera tal que al girar permitan el paso de las cenizas hacia un recipiente recolector de estas.

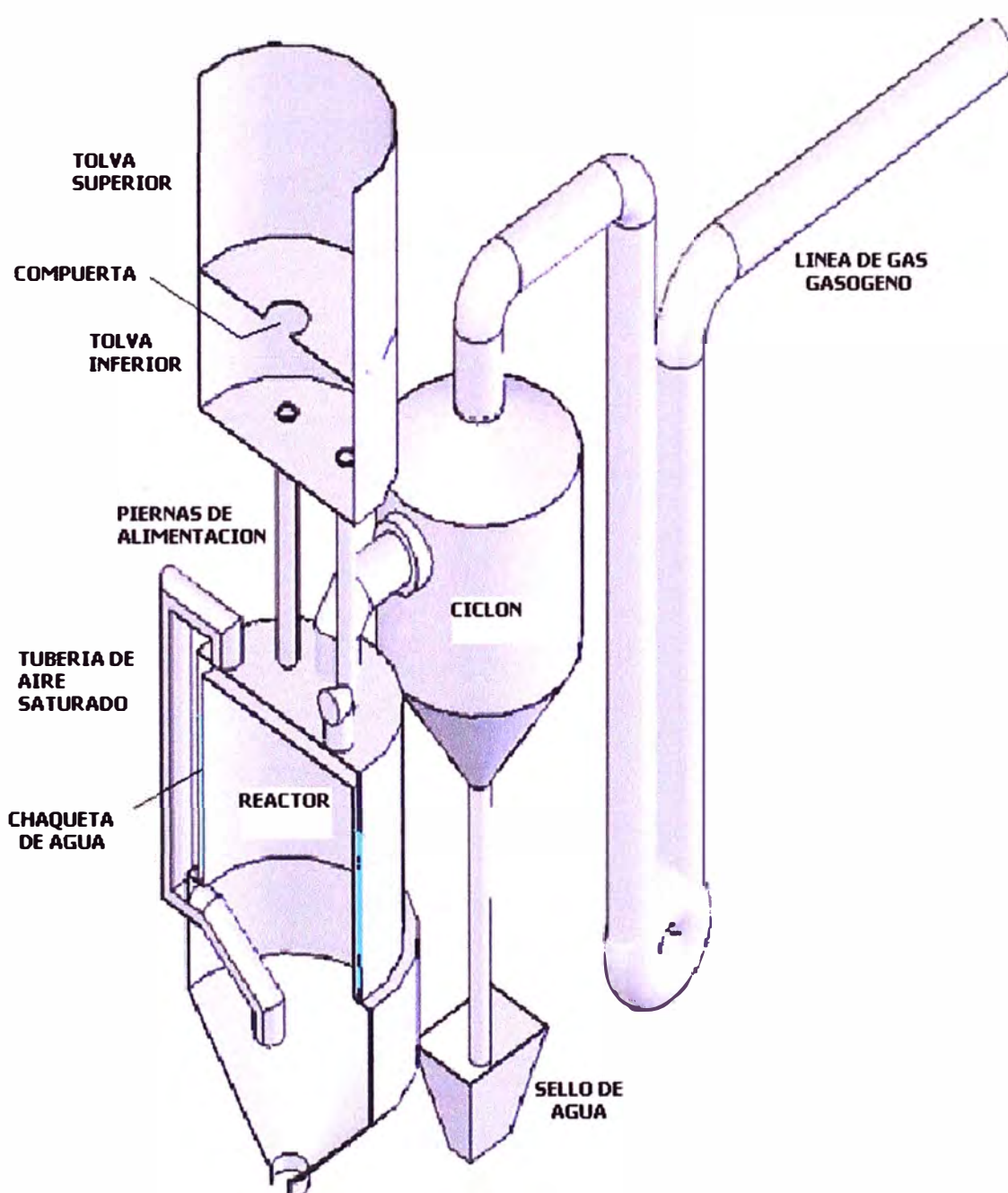


Fig. 2.2 Estructura interior de tolvas y Reactor

Externamente al reactor y de manera concéntrica y con un radio mayor en 15 cm al mismo, se encuentra una chaqueta de agua; el vapor que esta agua genera debido a la transmisión del calor del reactor satura al aire que viene de las tuberías de alimentación de aire frío. Luego este aire saturado de vapor y a una temperatura controlada de 62 °C se conduce por el exterior e ingresa al reactor por la parte inferior de las parrillas fluyendo hacia arriba por el lecho de cenizas y entrando en contacto con el carbón mineral que está en la etapa de combustión.

En el horno reactor y encima de las parrillas se distinguen durante el proceso las siguientes zonas físicas como se muestra en la Fig. 2.3.

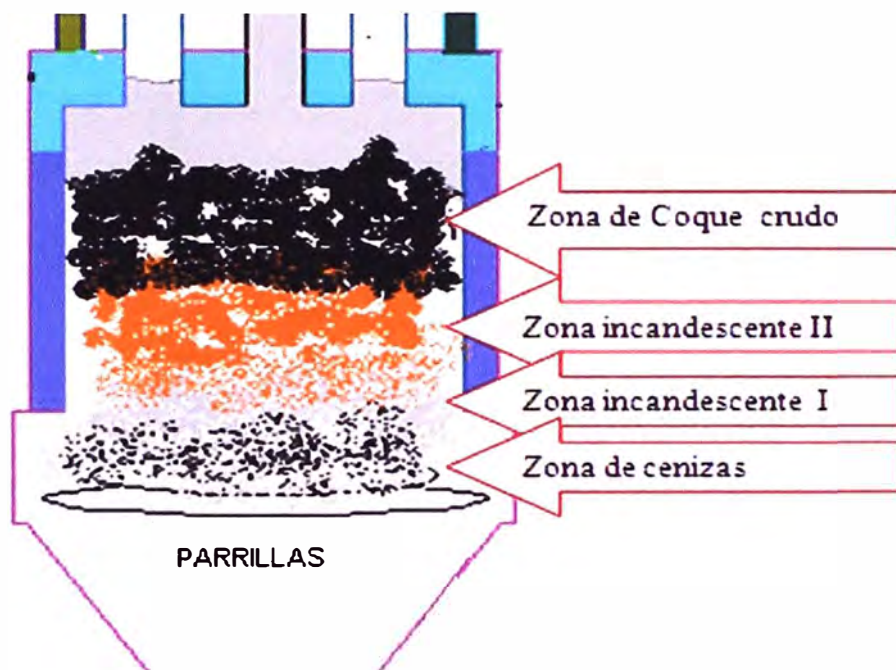


Fig. 2.3 Esquema del proceso de combustión en el reactor

-Zona de cenizas, esta capa se encuentra inmediatamente encima de las parrillas, en un proceso óptimo debería alcanzar alrededor de 30 cm de altura, su temperatura varía entre 50 y 200 °C.

-Zona incandescente I, en esta capa el carbón ya está terminando el proceso de combustión, la temperatura se da entre 200 y 600 °C.

- Zona incandescente II, en esta capa ocurre las reacciones químicas más importantes generándose así la máxima combustión y alcanzando temperaturas de hasta 800 °C.

-Zona de carbón crudo, esta se encuentra encima de la capa anterior y aquí se encuentra el carbón que está alcanzando la temperatura para que se dé la combustión, en esta zona se registran temperaturas menores.

A nivel de reacciones químicas podemos definir las zonas de reacción en zona de combustión, zona de gasificación, zona de pirolisis y zona de secado y precalentamiento del carbón como se muestra en el anexo A.

Una vez generado el gas en el reactor, este es llevado a un tercer recipiente conocido como ciclón, es aquí donde debido a la gravedad se separa de las partículas finas suspendidas; este ciclón de 4 m de altura se extiende por su parte inferior en un conducto tubular como muestra Fig. 2.2 y que termina en un recipiente lleno de agua conocido como sello de agua donde se deposita el polvillo de cenizas. Luego del ciclón el gas es conducido por intermedio de tuberías para ser mezclado finalmente con el gas proveniente del alto horno. El gas generado en el alto horno por su bajo poder calorífico no puede ser usado directamente porque no alcanza las temperaturas requeridas para los procesos de la actividad siderúrgica que superan los 1000 °C; sin embargo estudios teóricos y técnicos realizados cuidadosamente indicarían que la mezcla del gas gasógeno y gas de alto horno en iguales proporciones satisficiera las necesidades térmicas de todos los hornos del complejo siderúrgico alcanzando una llama de temperaturas alrededor de 1280 °C.

Con esta actividad se evitaría que aproximadamente 6000 Nm³/h. de gas del alto horno se pierdan al exterior por tener bajo poder calorífico. Este gas de alto horno mezclado con 6000 Nm³/h de gas gasógeno sustituirían a 20000 galones de petróleo mensualmente [3].

2.3. Definiciones de instrumentación electrónica

2.3.1 Instrumentación

Como definición, un sistema de instrumentación es el conjunto de elementos generalmente electrónicos capaces de convertir una variable física en una señal o indicación a ser interpretada por el hombre con mayor facilidad, estas nuevas señales pueden ser transmitidas, registradas, convertidas, controladas y procesadas de manera que el hombre pueda utilizarlas para determinado evento dentro de un proceso. El termino instrumento industrial incluye elementos primarios, elementos de control final, y los dispositivos eléctricos relacionados a este fin.

La importancia de instrumentación industrial se da en el hecho de facilitar las labores de producción y control de las variables físicas propias del proceso, permite monitorear y registrar las variables críticas en tiempo real, al tener como resultado un proceso más eficiente se mejora la calidad del producto final, aumenta la disponibilidad de los procesos reduciendo costos de operación y mantenimiento, al automatizar un proceso y requerir menor intervención humana se tiene como resultado el aumento en la seguridad de los procesos.

En instrumentación se maneja una serie de conceptos fundamentales y generales, y términos asociados de acuerdo al vocabulario internacional de Metrología [2], los cuales se mencionan en el anexo B.

Un instrumento industrial que es muy usado en la industria es un transmisor el cual por sus características cada vez mejoradas recibe el nombre de transmisor inteligente, en la Fig. 2.4 se muestra la estructura funcional de este dispositivo, en ella se señala el módulo sensor y la tarjeta electrónica considerando los elementos involucrados en cada una de estas componentes. Un sensor es un dispositivo diseñado para recibir señales del exterior y transformarlas en señales normalmente eléctricas que se puedan manipular y cuantificar, generalmente estas señales analógicas son convertidas a señales digitales las cuales se pueden procesar para múltiples aplicaciones, finalmente estas señales nuevamente son convertidas a analógicas; teniendo a la salida del transmisor una señal normalizada generalmente de corriente continua de 4 a 20 mA, las cuales son enviadas al sistema de control correspondiente que puede ser un controlador discreto o programable o directamente a un actuador.

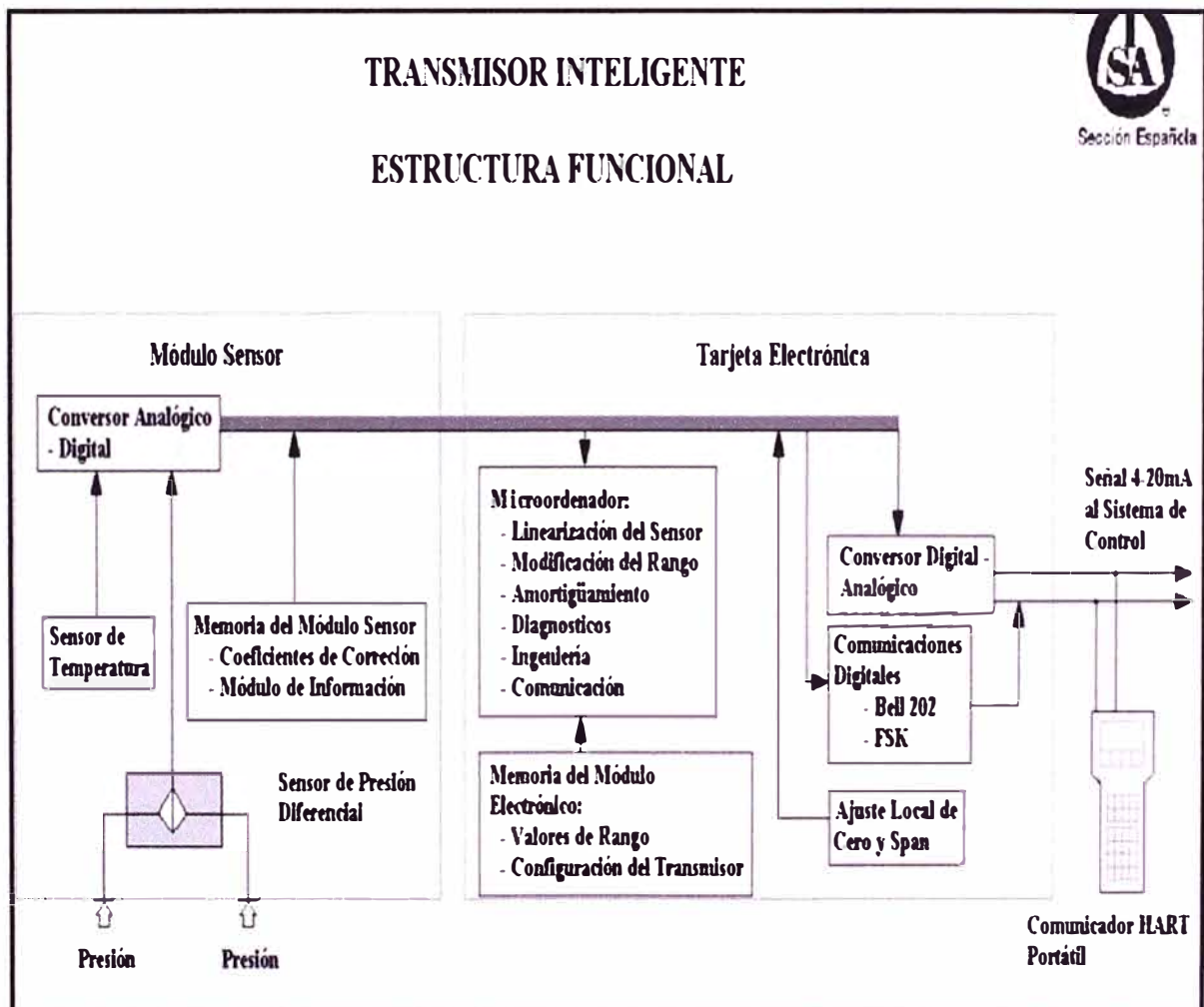


Fig. 2.4 Estructura funcional de un transmisor

La clasificación de los instrumentos se da principalmente a las siguientes funciones:

Según la función del instrumento, estos se clasifican en instrumentos ciegos, instrumentos indicadores, instrumentos registradores, elementos primarios, transmisores, transductores, convertidores, receptores, controladores, elementos finales de control, etc.

Según la función de la variable del proceso, tenemos instrumentos dedicados a la medición de flujo o caudal, nivel, presión, temperatura, densidad, humedad, viscosidad, posición, velocidad, frecuencia, análisis de gases, etc.

2.3.2. Características estáticas de un instrumento de medida

La terminología usada comúnmente en instrumentación se expone a continuación [3]:

a. Rango: Conjunto de valores de la variable que puede medir el instrumento, se especifica mediante los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión del instrumento; se expresa estableciendo los dos valores extremos.

b. Rangeabilidad: Cociente máximo posible entre el valor de medida superior e inferior de un instrumento.

c. Alcance (span): Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del Rango de medida del instrumento en el campo.

d. Exactitud: es la capacidad que tiene un instrumento de hacer despreciable los errores.

e. Precisión: Grado en que la medida que proporciona el instrumento se aproxima a un valor patrón de medida.

f. Zona Muerta: Es el intervalo de valores de la variable que no hace variar la indicación de la señal de salida del instrumento, es decir, no se produce su respuesta, como se muestra en la Fig. 2.5.

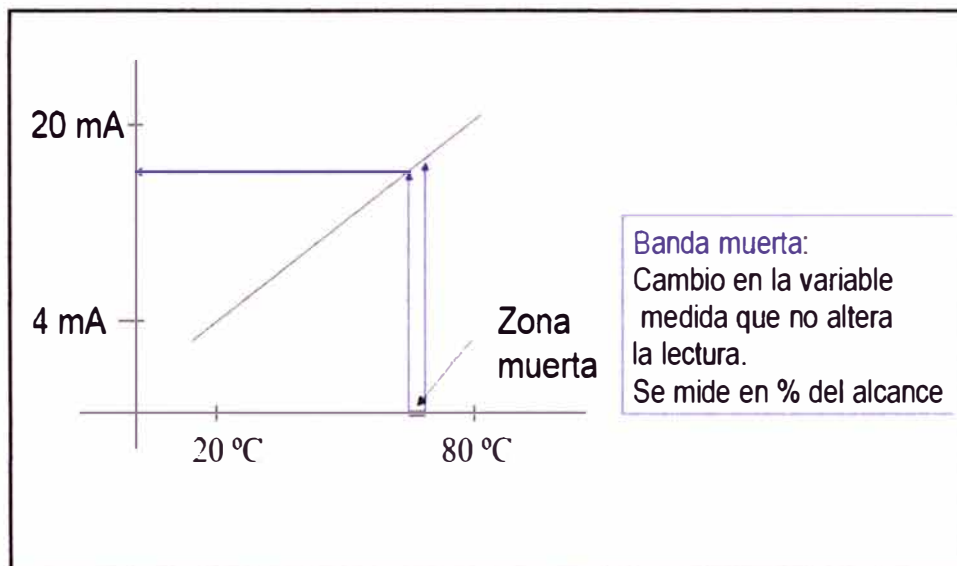


Fig. 2.5 Zona muerta

g. Repetitividad: Capacidad de reproducción de la señal de salida o indicación del instrumento al medir repetidamente valores idénticos de la variable en las mismas condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación.

h. Histéresis: Esta dado por la diferencia máxima que se observa en los valores medidos o indicados por el instrumento para el mismo valor cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente; como se muestra en la Fig. 2.6.

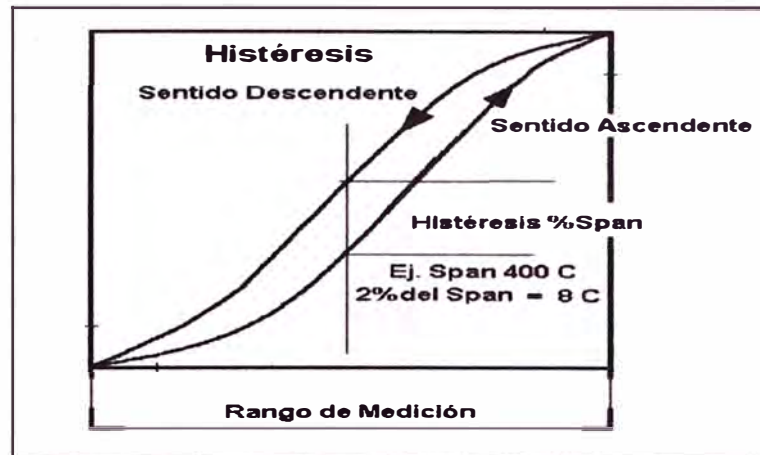


Fig. 2.6 Histéresis

i. Sensibilidad: Es la variación en la salida del instrumento por unidad de variación de la variable del proceso (entrada), se puede decir que es la ganancia del instrumento, como se muestra en la Fig. 2.7. Lo ideal es que la misma se mantenga constante.

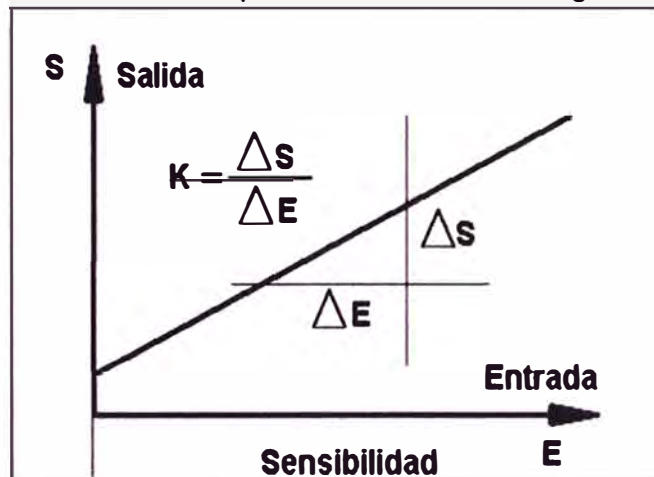


Fig. 2.7 Sensibilidad

j. Incertidumbre de medición: parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.

Los errores frecuentes en la medición de un instrumento se da en la falta de una constante calibración, en el anexo C se dan algunos conceptos de esta importante actividad.

k. Resolución: Mínima variación de la magnitud medida que da lugar a una variación perceptible de la indicación correspondiente.

2.3.3. Instrumentación de campo

Se conoce como instrumentación de campo a aquellas que se instalan en las inmediaciones próximas al proceso; las variables más comunes a medir son temperatura, presión, flujo y nivel.

a. Medición de Temperatura

Se define como temperatura a aquella magnitud que representa el grado de agitación molecular de la variable de estudio en un proceso; la temperatura produce en los cuerpos

fenómenos físicos y químicos que son aprovechados por el hombre para cuantificar dicha magnitud, estos efectos pueden ser dilatación, aumento de presión, cambio de fuerza electromotriz inducida, aumento de la resistencia eléctrica de un conductor, aumento en la radiación superficial emitida por un cuerpo, etc. Dependiendo el rango de importancia de la temperatura a medir se determinara el efecto más apropiado para hacer la medición.

Todo instrumento destinado a la medición de temperatura cualquiera fuese su naturaleza correctamente calibrado y dentro del rango de medición especificado para el mismo, deben proporcionar la misma lectura.

En la Tabla N° 2.1 se muestra diferentes tipos de dispositivos de medición de temperatura:

Tabla N° 2.1 Dispositivos de medición de temperatura

Dispositivos De Medicion De Temperatura			
Eléctricos	Mecánicos	Radiación térmica	Varios
Termocuplas	Sistemas de dilatación	- Pirómetros de radiación - Total (banda ancha) - Óptico - Pasabanda - Relación	Indicadores de color - Lápicos - Pinturas Sondas neumáticas
Termoresistencias			Sensores ultrasónicos
Termistores			Indicadores pirométricos
Resistores de Carbono	Termómetros de vidrio con líquidos		Termómetros acústicos
Diodos			Cristales líquidos
Detectores de ruido Jonson			Sensores fluidicos
Transistores	Termómetros bimetalicos		Indicadores de luminiscencia (Termografía)
Cristales de cuarzo			
Sales Paramagnéticas			

Los elementos primarios de medición de temperatura, son transductores que convierten la energía térmica en otro tipo de energía o movimiento; es así que tenemos tres tipos:

-Termómetros: transductores que convierten la energía térmica en movimiento, se tiene termómetro de líquido en vidrio (alcohol y mercurio) y los termómetros bimetalicos.

-Sistemas termales: transductores que convierten la energía térmica en presión, aquí se tiene los que usan líquidos orgánicos (clase I), vapor orgánico(clase II), gas(clase III) y los de mercurio(clase IV).

-Termoeléctricos: son transductores que convierten la energía térmica en energía eléctrica, aquí se encuentran los termopares, termistores, bulbo de resistencia eléctrica y los de pirómetro.

En este informe debido a las altas temperaturas con las que se trabaja y a las condiciones del proceso se usaran termopares y termo resistencias, a continuación haremos una descripción de estos:

- ♦ **Termopar**

Un termopar o termocupla es el sensor de temperatura más usado en la industria, estos se fabrican con dos alambres conductores de distinto material unidos en un extremo, generalmente soldados [3]. Cuando el extremo soldado y el extremo libre se encuentran a diferentes temperaturas en este último se genera una fuerza electromotriz (FEM) del orden de los milivoltios; el fenómeno descrito se conoce como efecto Seebeck. Las termocuplas industriales generalmente se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable, en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables debidamente protegido en una caja redonda de aluminio denominado cabezal. En la Fig.2.8 se muestra una termocupla sin encapsular y a la derecha de la misma una termocupla encapsulada con sus partes más importantes.

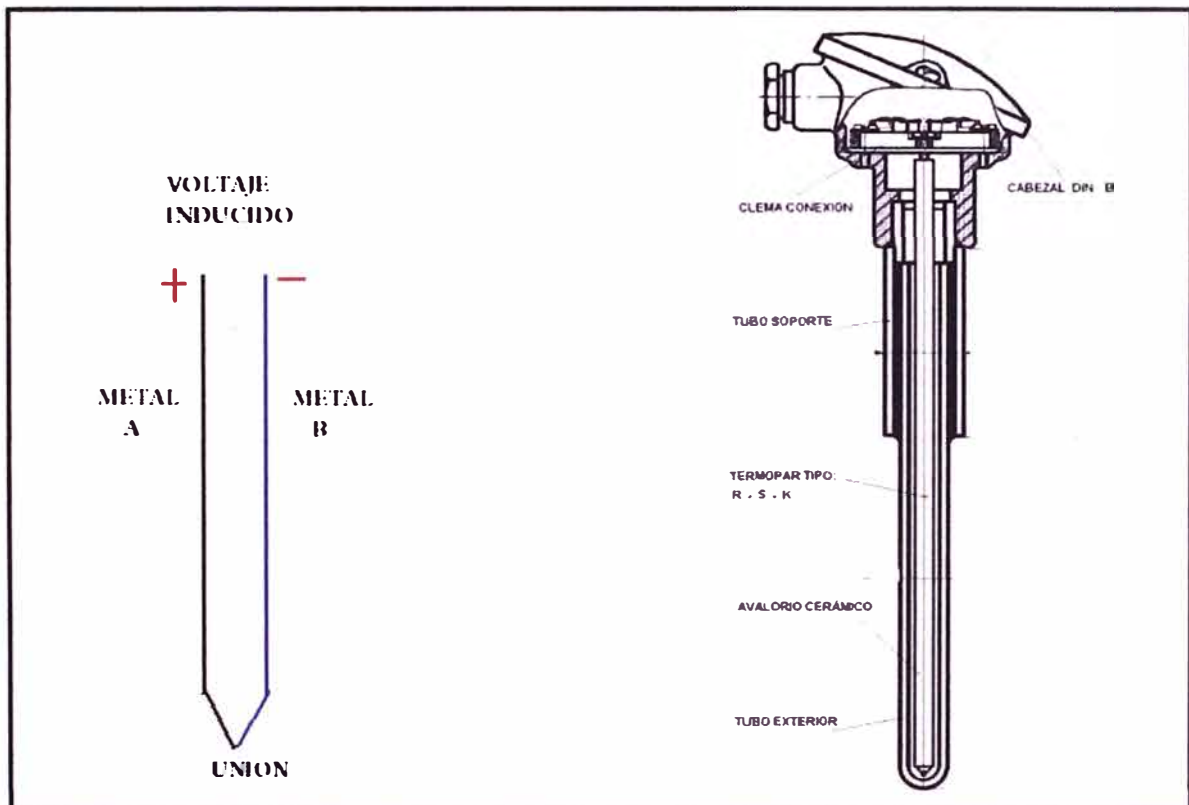


Fig. 2.8 Termocupla sin funda y con funda

Existe una infinidad de tipo de termocuplas de acuerdo al tipo de metales utilizados para su fabricación, siendo las más utilizadas las del tipo J o las del tipo K.

Las del tipo J se usan principalmente en la industria del plástico y fundición de metales a bajas temperaturas, las del tipo K se usa en fundiciones y hornos con temperaturas de hasta 1300 °C, en la Tabla N° 2.2 se muestra los diferentes tipos de termopares, en ella también se muestra los cables que intervienen y el alcance de temperatura.

Tabla N° 2.2 Tipos de termopares

Tipo	Alcance Temperatura °C	Materiales y Aleaciones (+) Vs. (-)
Metal - Base		
E	-270 a 1 000	níquel - cromo Vs. cobre - níquel
J	-210 a 1 200	hierro Vs. cobre - níquel
T	-270 a 400	cobre Vs. cobre - níquel
K	-270 a 1 372	níquel - cromo Vs. níquel - aluminio
N	-270 a 1 300	níquel - cromo - silicio Vs. níquel - silicio - magnesio
Metal - Noble		
R	-50 a 1 768	platino - 13 % rodio Vs. platino
S	-50 a 1 768	platino - 10 % rodio Vs. platino
B	0 a 1 820	platino - 30 % rodio Vs. platino - 6 % rodio

La dependencia entre el voltaje entregado por el termopar y la temperatura medida no es lineal, el instrumento electrónico destinado a mostrar la lectura debe ser capaz de efectuar la linealización. Cuando el instrumento está muy retirado del lugar donde ocurre la medición es recomendable usar cables de compensación, estos tienen el mismo coeficiente de Seebeck de la termocupla pero hecho de otro material de menor precio.

- **Sensores termo resistivos RTD (los PT100)**

Otro sensor de temperatura muy usado son los PT100, estos están fabricados con un alambre de platino que a 0 °C registran una resistencia de 100 ohm y que con el aumento de temperatura aumenta también dicha resistencia. Un PT 100 es un caso particular de los RTD (dispositivos termo resistivos).

Las características del platino llevan a que sea el elemento más indicado para la fabricación de sensores de temperatura por variación de resistencia, estas características son: alto coeficiente de temperatura, alta resistividad eléctrica, relación lineal de resistencia-temperatura, rigidez y ductilidad y estabilidad en sus características durante su vida útil.

Los PT100 son de más alto precio que los termopares y tienen mayor precisión; el rango típico de temperatura de estos instrumentos es de -100 °C hasta 300 °C. Los PT100 pueden colocarse hasta 30 m de su respectivo transmisor, utilizando cobre convencional.

Su uso se da generalmente en la industria alimentaria, circuitos de líquidos, industria química, etc. En la Fig. 2.9 se muestra algunos sensores PT100.



Fig. 2.9 Sensores PT100

b. Medición de Presión

La presión es una de las variables de mayor uso en la industria en general, el interés puede ser la misma presión u otras variables que se pueden medir indirectamente a partir de esta como son nivel de líquidos, flujo de los fluidos, velocidad de aire, detección de fugas, entre otras. La Fig. 2.10, muestra algunas de estas aplicaciones.

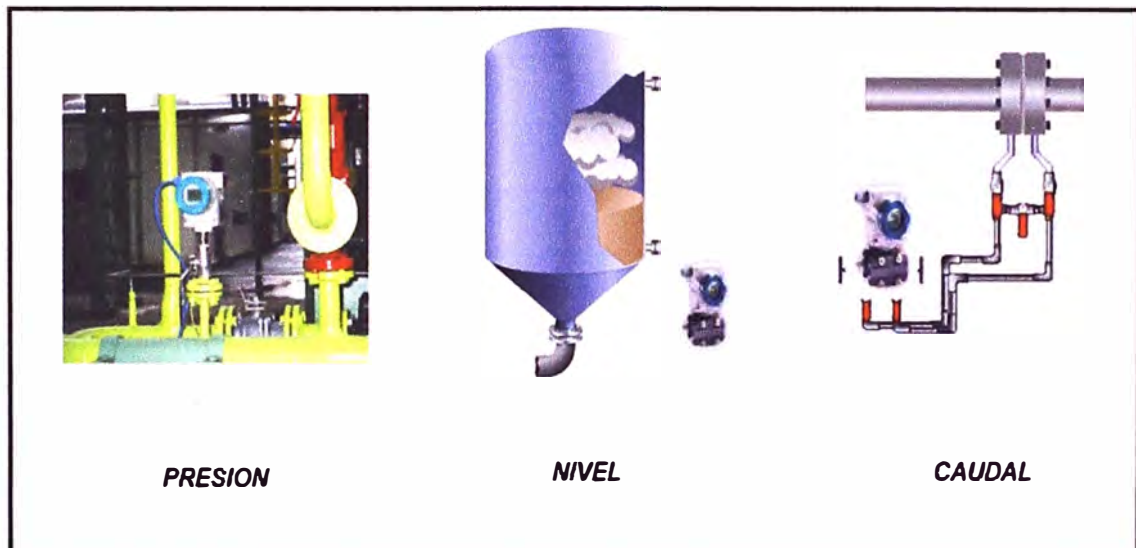


Fig. 2.10 Aplicaciones de medición de presión

La presión es una magnitud física que mide la fuerza por unidad de superficie y se expresa en unidades de pascal, pero aún se usan de manera frecuente unidades como bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi.

La presión en un líquido es influenciado por la profundidad, densidad y presión sobre la superficie del líquido; mientras que en los gases es influenciado por el volumen del recipiente en el cual el gas esta contenido y la temperatura del mismo.

En la Fig. 2.11 se muestran la relación entre los diferentes tipos de presiones a medir. La presión atmosférica varía de acuerdo a la ubicación sobre el nivel del mar. La presión manométrica tiene como referencia a la presión atmosférica. La presión absoluta es aquella que tiene como referencia el cero absoluto. Las presiones cuya medición resulta menor al valor de la presión atmosférica teniendo como referencia a esta se conocen como presión de vacío y son medidos por los llamados manómetros de vacío.

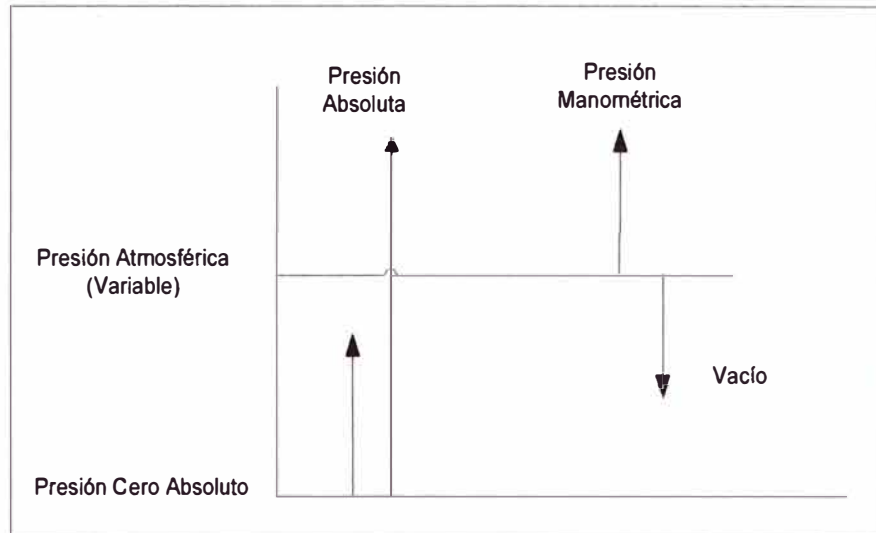


Fig. 2.11 Tipos de presión a medir

Existen dispositivos que utilizan avanzadas tecnologías para realizar la medición estos reciben la designación de inteligentes pues además de contar con alta precisión cuentan con salidas de alarma, comunicación y visualización; pero aún se usan aquellos de construcción simple sobre todo cuando solo se requiere una indicación de la presión en el proceso conocidos como manómetros. En la Fig. 2.12 se muestra estos dos casos.



Fig. 2.12 Transmisores e indicador de presión

Entre la instrumentación típica relacionados con la presión tenemos los transmisores de presión, indicadores de presión electrónicos, indicadores de presión analógicos, interruptores de presión, etc.

c. Caudal o Flujo

Se entiende por fluido a aquella sustancia que puede espaciarse fácilmente, así tenemos a los líquidos y gases. Siempre que se trabaja con un fluido, existe la necesidad de realizar un conteo de la cantidad que se transporta, para lo cual utilizamos medidores de flujo. Algunos de ellos miden la velocidad de flujo de manera directa y otros miden la

velocidad promedio, y aplicando la Ecuación de continuidad y la de energía se calcula la velocidad.

A esta variable de medida también se le conoce como gasto y se expresa en unidades de masa o volumen por unidad de tiempo.

La importancia de medir flujo radica en la transferencia de custodia, integridad en la producción, eficiencia, seguridad y control de la variable del proceso, dependiendo la aplicación que se tenga. Para especificar y seleccionar un medidor de caudal o flujómetro es importante definir la precisión, rango del instrumento, compatibilidad con el tamaño de la tubería y las características del fluido y su aplicación.

El flujo es calculado generalmente de manera indirecta utilizando diferentes ecuaciones matemáticas las cuales están fundamentadas principalmente en las siguientes interrelaciones:

- Propiedades del fluido: como son densidad, gravedad específica, viscosidad, tipo del fluido y perfil del fluido.

- Condiciones ambientales: presión y temperatura.

- Geometría y características de la tubería: pared de la tubería, diámetro interno, etc.

De acuerdo a la naturaleza del fluido y teniendo en cuenta las condiciones del proceso los medidores de caudal son agrupados en cuatro clases:

- Medidor de caudal por velocidad; aquí tenemos el medidor de turbina, medidor electromagnético, medidor vortex, rotámetro y medidores ultrasónicos.

- Medidor de caudal másicos: aquí tenemos medidor másico térmico y medidor de coriolis.

- Medidor de caudal volumétrico: tenemos medidor por desplazamiento positivo.

- Medidor de caudal por presión diferencial: tenemos con elemento de placa orificio, tubo pitot, tubo venturi, etc.

Los flujómetros de importancia para el presente informe son los que usan elemento placa orificio usando el concepto de presión diferencial.

♦ **Medidor de caudal por presión diferencial**

Estos dispositivos se basan en la ecuación de continuidad que presentan los fluidos, donde para un caudal constante un decremento en el área transversal de la tubería por la cual se desplaza el fluido, provocaría un incremento en la velocidad del mismo. La ecuación del flujo en este tipo de medidores se basa también en el principio de Bernoulli, que manifiesta que el flujo o caudal es proporcional a la raíz cuadrada de la presión diferencial, estas dos principios se muestran en la siguientes formulas matemáticas (2.1) y (2.2).

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \quad (2.1)$$

$$Q = k \sqrt{\Delta P} \quad (2.2)$$

El elemento placa orificio es el elemento primario de medida de caudal que consiste en una placa agujerada, siguiendo determinados estándares y especificaciones; permite medir caudal de líquidos, gases y vapor. La placa orificio puede ser montada entre bridas con los orificios de toma de presión en la tubería o montada en un porta placa con las tomas de presión incorporadas para montar entre bridas del cliente.

Los elementos alrededor de una medición por presión diferencial se muestran en la Fig.2.13 en ella se observa la placa orificio, la tubería, el instrumento de medición, y la variación de presión antes y después de que el fluido atraviese la placa orificio.

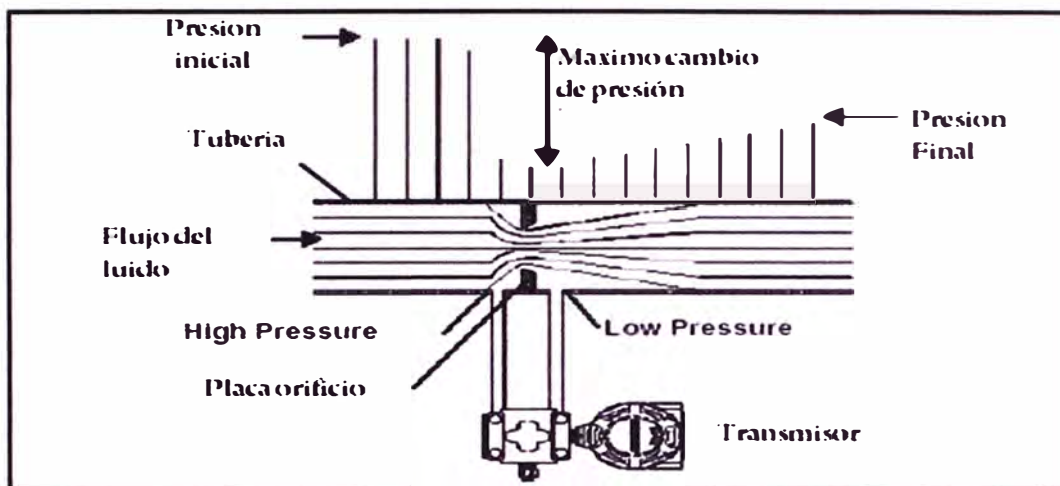


Fig. 2.13 Medición por diferencial de presión

Las ventajas que presentan estos instrumentos es el bajo costo en comparación con otras alternativas, son compatibles con líquidos limpios y gases, compatible con la mayoría de diámetros de las tuberías, fácil mantenimiento, entre otras, las cuales lo convierten en un estándar en la industria por su uso masivo y aceptación. Las desventajas se presentan en la precisión que se ve afectada por cambios de presión y temperatura, baja rangeabilidad, solo se usa para fluidos relativamente limpios de lo contrario dañarían el elemento primario y toponearían las tomas de presión incrementando los costos iniciales. En la Fig.2.14 se muestra la instalación externa de un instrumento destinado a la medición de flujo siguiendo el principio descrito.

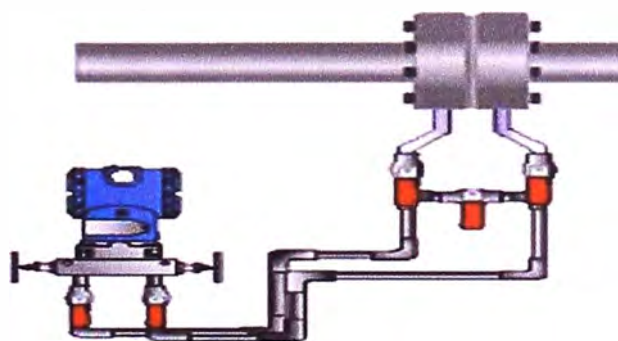


Fig. 2.14 Instalación de un transmisor por diferencial de presión

c. Medición de Nivel

Otra variable de importancia es el nivel al que se encuentra una sustancia o determinado material dentro de un recipiente de almacenamiento, en muchos casos es de interés la medida continua de nivel mientras que en otros solo interesa conocer un nivel alto de llenado o un nivel bajo de vaciado.

Los sensores de importancia en este informe son los de tipo capacitivo, los mismos que se detallan a continuación.

♦ Sensor de nivel capacitivos

Estos dispositivos son de naturaleza eléctrica y reaccionan ante metales y no metales que al aproximarse a la superficie activa del sensor sobrepasan una determinada capacidad eléctrica. Está formado por un oscilador eléctrico cuya capacidad lo forma un electrodo interno parte del propio sensor y otro electrodo externo colocado a la masa de recipiente que almacena el material cuyo nivel se quiere medir.

En la aplicación que corresponde al presente informe se desea determinar el momento en el cual una tolva se encuentra llena de material y una segunda aplicación cuando en el reactor se ha consumido el material por debajo de cierto nivel, en esta última las condiciones de temperatura son altas, por ello dentro de las especificaciones que se tenga para la elección del instrumento, ello debe ser considerado; actualmente existe instrumentación que cumplen con rigurosos requisitos no solo de temperatura, sino también de presión y otros tipos de dificultades críticas propias del proceso.

En la Fig. 2.15 se muestra la conexión en planta de un tipo de sensor capacitivo.



Fig. 2.15 Sensor de nivel capacitivo

2.3.4. Controladores lógicos programables

En el campo de la instrumentación electrónica, en la actualidad es común encontrar controladores lógicos programables llamados PLC, pues en comparación con la forma como antes se controlaba un proceso a partir de relés existen amplias ventajas. Razón por la cual estas últimas se están dejando de usar.

Según la National Electrical Manufacturers Association (NEMA); un PLC es un aparato electrónico operado digitalmente, que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas, tales como lógica secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas para controlar a través de módulos de entradas y salidas digitales (ON/OFF) o analógicos (5v DC, 4 a 20 mA, etc.) varios tipos de maquinas o procesos.

Las aplicaciones de estos aparatos es amplia, pasando por maniobra de maquinas, maniobra de instalaciones, señalización y control, etc. Cubriendo necesidades de espacio, mantenimiento económico, menor tiempo de elaboración de proyectos, la posibilidad de ampliar la aplicación para otras necesidades e incluso de cambiarlas de manera sencilla y en corto tiempo; posibilidad de gobernar varios procesos con el mismo autómeta, etc.

Existen en la actualidad diversas presentaciones en cuanto a marcas y modelos se refiere, pero siempre debe presentar como mínimo los siguientes elementos esenciales:

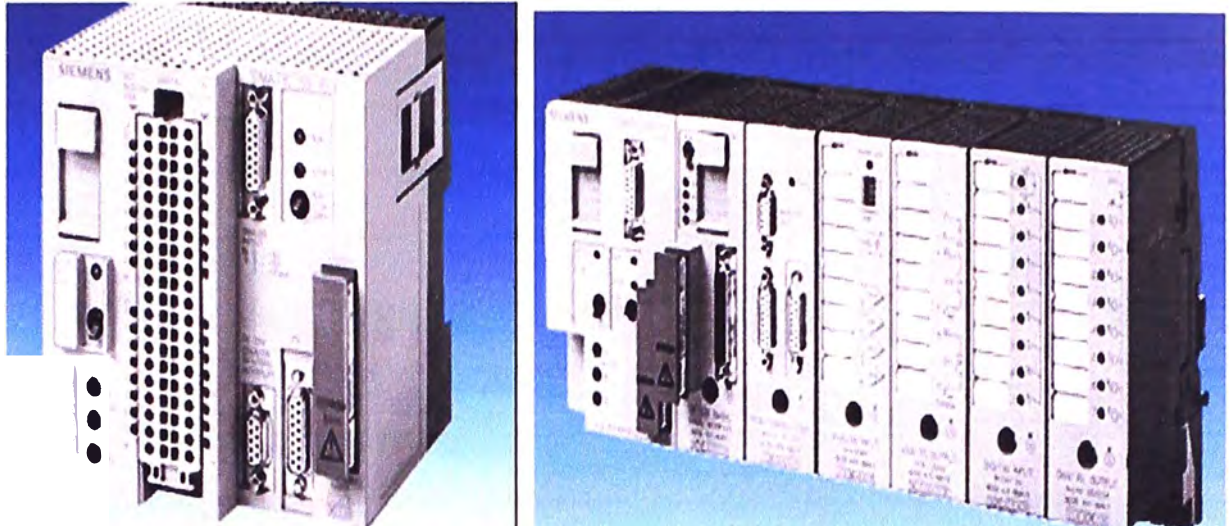
- Sección de entradas: aquí llegan las señales de los sensores, de acuerdo al tipo de señal pueden ser digital o analógico, presentándose rangos característicos y normalizados para tal fin.

- Sección de salidas: de aquí salen señales de tensión o corriente de carácter digital o analógicos estandarizados convenientemente y llegan a los actuadores.

- Unidad Central de Proceso: es la parte principal del PLC, aquí se encuentra las memorias fijas y modificables y en ellas introduciremos la programación y configuración de la secuencia del proceso a ejecutar.

De acuerdo al tipo de PLC que se esté usando estos pueden tener las entradas y salidas separadas del CPU es decir en módulos, también se pueden contar con puertos de comunicaciones por donde podrían llegar un conjunto mayor de señales que podrían incluso estar muy alejadas del proceso mismo.

Considerando entonces lo anterior existen PLC compactos, donde todo las secciones mencionadas se encuentran dentro del mismo compartimiento y aquellos llamados modulares puesto que sus componentes principales como son CPU, entradas, salidas, comunicaciones, etc. se encuentran aisladas en módulos. En la Fig.2.16 se muestra ambos tipos de controladores.



PLC COMPACTO

PLC MODULAR

Fig. 2.16 Tipos de configuración de PLCs

Las consideraciones a tener en cuenta en la elección un PLC se dan a continuación:

-Conocer cuántos instrumentos de medición hay en el proceso: estos pueden ser de presión, temperatura, flujo, nivel a cualquier otro tipo de medición, estos tienen en común que utilizan una señal que varía en forma continua dentro de un rango de valores predefinidos llamados señales analógica y generalmente de 4 a 20 mA.

-Conocer cuantas señales de encender o apagar dará el operario, o determinara algún instrumento como finales de carrera, que solo importa saber la presencia o no de determinada situación, a este tipo de señales se les conoce como entradas digitales.

-Conocer cuántos equipos de regulación existen en el proceso, estos pueden ser válvulas, variadores de velocidad para motores, etc. los cuales trabajan con señales analógicas estandarizadas sieso las más comunes las de 4 a 20 mA.

-Conocer cuántos equipos de encender y apagar existen en el proceso, por ejemplo alarmas, luces indicadoras, etc. las cuales trabajan con señales digitales.

-Si el proceso es muy complejo o muy extenso se podría ver también tener la necesidad de comunicar los datos ya sea de entrada y salida a través de puerto de comunicaciones.

Otro tipo de instrumentación muy usado en el desarrollo de un proceso son los registradores, los cuales me permiten tener un historial de lo que está aconteciendo en el proceso, hace algunos años estos registros se hacían directamente en papel; en la actualidad algunas industrias tienen montados todavía en sus instalaciones registradores de papel. Pero en la actualidad los avances tecnológicos ha permitido que sea más cómodo tener un registro continuo y que se muestre en una pantalla, pudiendo tener inclusive la posibilidad de tener en un mismo instrumento el registro de decenas de señales solo ma-

nipulando el instrumento a través de sus botoneras, mas aun la posibilidad de tener diferentes tipos de presentaciones para estas, como se presenta en el anexo C.

Los registradores modernos no solo cuentan con la capacidad de tener el acceso a múltiples señales o mediciones de sensores a registrar, sino también la posibilidad de configurar o programar para que de acuerdo a una señal no deseada esta pueda emitir señales de alarma por salidas que le vienen incorporadas. Adicionalmente de acuerdo al modelo y marca también soportan comunicaciones, si se desea tener el registro en tiempo real o de un periodo de tiempo en un lugar alejado del proceso y del instrumento.

2.3.5. Normas ANSI/ISA para instrumentación

Con el fin de que todos los profesionales del mundo puedan desarrollar un proyecto determinado y este pueda ser entendido por otro en cualquier parte y en cualquier momento, es que se desarrollan normas con el fin de lograr un entendimiento común; para todo ello es necesario tener estándares determinados por entidades competentes que permitan cumplir con lo anterior.

La Sociedad de Instrumentistas de América (ISA) publica normas para símbolos, términos y diagramas referidos a instrumentación que son reconocidos por las industrias.

Identificación de un instrumento en un proceso: de acuerdo a la ISA un instrumento debe ser etiquetado teniendo en cuenta dos características principales que son la función que cumplen en el proceso y el lazo de control en el cual están localizados. Para este propósito se usa una secuencia de números y letras que permitan tal identificación como se muestra en la Fig.2.17.

PRIMERA LETRA	LETRAS SUBSECUENTE	NUMERO DEL LAZO DE CONTROL	SUFIJO (SI ES USADO)
T	I C	105	B
IDENTIFICACION FUNCIONAL		IDENTIFICACION DEL LAZO	

Fig. 2.17 Etiqueta de instrumento según ANSI/ISA-5-1

En este caso particular se refiere a un controlador e indicador de temperatura perteneciente a un lazo de control referido en proceso como 105 y un sufijo que podría indicar alguna característica adicional.

La tabla N° 2.3 detalla la designación de cada letra dentro un etiquetado, siendo que la primera letra partiendo de la izquierda indica la medida o variable inicial, la segunda corresponde a un modificador de esta medida seguidos de lectura o función pasiva; función de salida y modificador de esta última. Esta tabla se basa en los estándares publicados por ANSI/ISA en su sección 5-1

Tabla N° 2.3. ANSI/ISA-5.1 – Letras de identificación de instrumentos

	Primera letra		Letras sucesivas		
	Medida o Variable Inicial	Modificador	Lectura o Función Pasiva	Función de Salida	Modificador
A	Análisis		Alarma	Opción usuario	Opción usuario
B	Arder, combustión				
C	Opción usuario				
D	Opción usuario	Diferencial			
E	Voltaje		Sensor		
F	Razón de flujo	Razón	Vidrio, Dispositivo		
G	Opción usuario				
H	Manual				High (alto)
I	Corriente Eléctrica		Indicador		
J	Energía Potencia	Rastreo			
K	Tiempo			Estación control	
L	Nivel		Luz		Low (bajo)
M	Humedad	Momentáneo			
N	Opción usuario		Opción usuario	Opción usuario	
O	Opción usuario		Orificio, restricción		
P	Presión, Vacío		Conexión e prueba		
Q	Cantidad	Integrador, totalizador			
R	Radiación		Registro		
S	Velocidad, frecuencia	Seguridad		Switth	
T	Temperatura			Transmisor	
U	Multivariable		Multifunción	Multifunción	Multifunción
V	Vibración, Análisis mecánico			Válvula, bloqueo	
W	Peso Fuerza		funda		
X	No clasificada	Eje X	No clasificado	No clasificado	
Y	Evento, estado, Posición, presencia	Eje Y		Relé, convertidor	
Z	Posición, dimensión	Eje Z		Actuador	

En los diagramas de proceso e instrumentación las etiquetas son colocadas dentro de círculos y/o cuadrados con ciertas modificaciones geométricas que determinan la ubicación del instrumento en el proceso y la función de los mismos. Como se mencionara un instrumento puede ser discreto, de control digital, control lógico programable o comandado por computadora y su ubicación física puede ser montado en campo, accesible al operador, inaccesible o detrás dl tablero de control e incluso puede estar en una ubicación a auxiliar. En la Fig.2.18 se resume estas consideraciones:

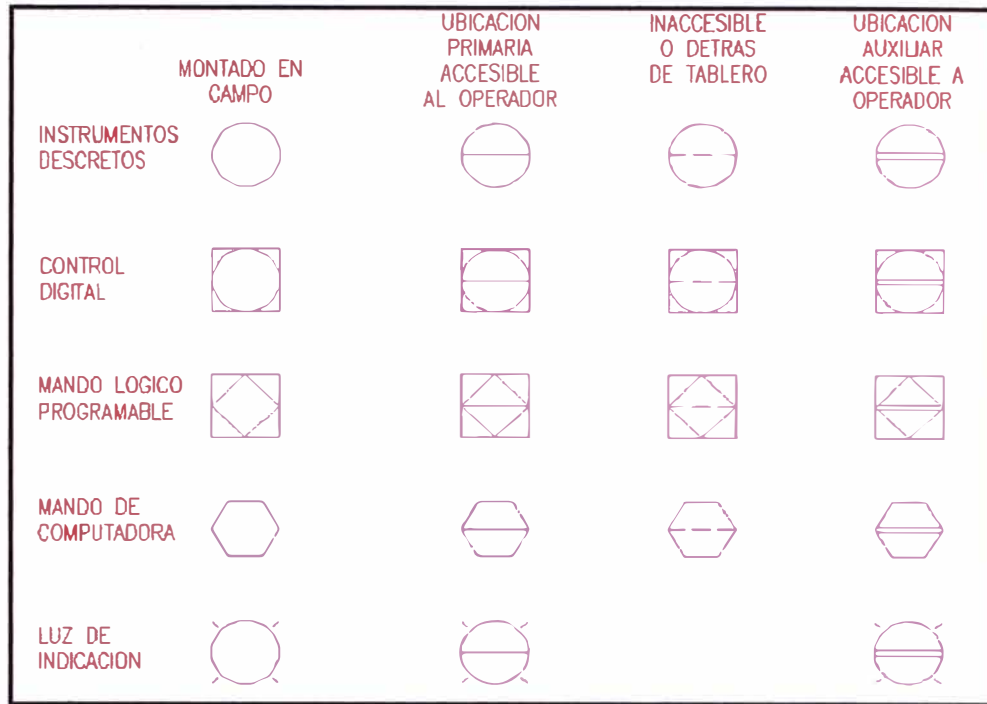


Fig. 2.18 Ubicación del instrumento en el campo

Las líneas que unen los instrumentos en un diagrama de proceso e instrumentación, también se encuentran estandarizadas, dependiendo si la señal es del tipo neumática, hidráulica, eléctrica, electromagnética, etc. esto se resume en la Fig.2.19.

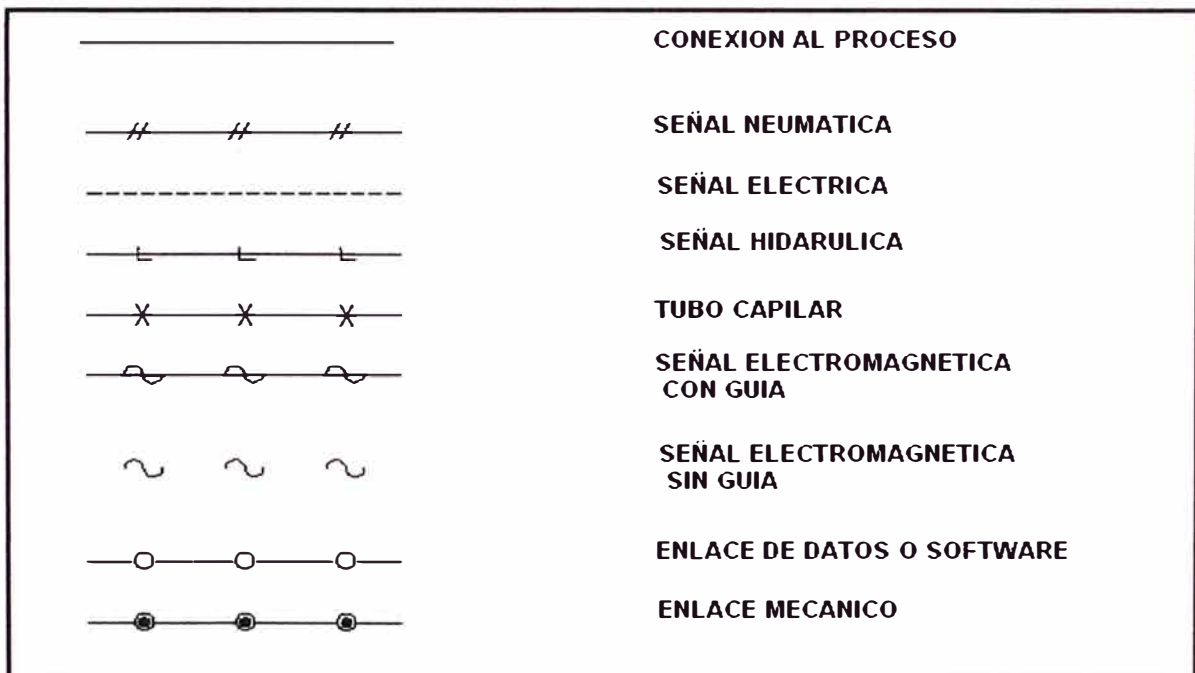


Fig. 2.19 Líneas de conexión de instrumentos

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

3.1. Propuesta de solución

Luego de conocer el proceso de generación de gas a partir de carbón mineral, se observa la necesidad de instrumentación que permita medir, controlar y supervisar de manera eficiente el desarrollo del mismo; para lo cual teniendo en cuenta la etapas en las que ocurre el proceso y considerando la instrumentación a emplear, se sugiere los siguientes niveles o etapas de control:

- Control del sistema de carguío y suministro de material.
- Control de altura de zona incandescente.
- Control de flujo de aire y presión en el reactor.
- Control de temperatura del aire saturado.
- Control de flujo de gas generado.

3.2. Procedimiento de solución

A continuación se desarrolla el procedimiento de solución planteado, la cual se encuentra estructurada en las cinco etapas mencionadas:

3.2.1. Control del sistema de carguío y suministro del material

Refiriéndonos nuevamente a la Fig. 1.1 observamos que el proceso inicia con el suministro de material al horno reactor. Luego de que el carbón mineral ha pasado por un procedimiento de zarandeo para evitar que los finos del mismo repercutan en una mala calidad de gas este es llevado mediante un elevador de cangilones desde la tolva de recepción hacia la tolva superior de alimentación, de esta última se vaciara hacia otra tolva inferior por intermedio de una compuerta accionada por un servomotor, para luego pasar hacia el reactor a través de 4 conductos verticales y de forma cilíndrica (llamados piernas de alimentación) cada una con su respectiva compuerta ver Fig. 3.1. La compuerta entre tolvas (SVTC) y las compuertas de las piernas de alimentación (SVP12-SVP34) no deben estar abiertas simultáneamente puesto que ello permitiría el escape de gas al exterior presentándose por consiguiente pérdidas en la producción e incluso una irreparable contaminación al medio ambiente. Es necesario mantener material tanto en las tolvas y especialmente en el reactor para que el proceso se desarrolle de manera continua y sin interrupciones. Teniendo en cuenta lo anterior, para este propósito se considera la siguiente instrumentación:

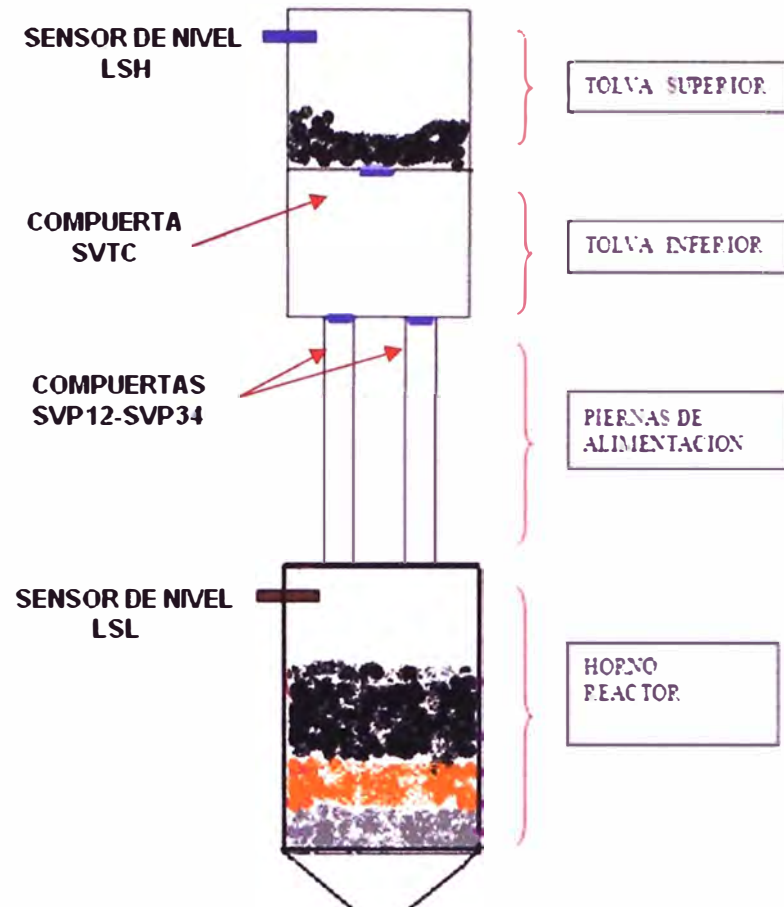


Fig. 3.1 Instrumentación –carguío de material

- Sensor de detección de nivel tipo capacitivo, el cual será ubicado en la parte alta de la tolva superior de alimentación; cuando en el llenado el material se aproxime al sensor la capacitancia eléctrica alrededor de este cambiara, con lo cual la salida digital del sensor previamente configurado también cambiara de estado, enviando una señal al PLC dándole la indicación de tolva llena; para este propósito dicho sensor será designado por LSH, siglas correspondiente a interruptor de nivel alto.
- Sensor de detección de nivel tipo capacitivo ubicado en la parte superior e interior del reactor, en este caso mientras el sensor este en contacto físico con partículas de carbón la capacitancia del sensor permanecerá constante; al ir consumiéndose el material en el proceso de combustión en determinado instante perderá contacto con el material y la capacitancia eléctrica alrededor del sensor también cambiara, cambiando también de estado la salida digital del sensor que al llegar al PLC como entrada digital indicara que el reactor necesita ser suministrado con carbón, considerando su función que indicara un nivel bajo de material este sensor será designado por LSL, siglas correspondiente a interruptor de nivel bajo.
- 2 servomotores ON_OFF, cada uno gobernara dos compuertas correspondientes a dos piernas de las cuatro piernas que llegan al reactor manteniéndolas cerradas o abiertas según sea el caso.

- 1 servomotor ON_OFF que gobernara la compuerta ubicada en el centro entre el límite de tolva superior e inferior, manteniéndola cerrada o abierta según lo requiera el proceso.
- 6 interruptores de fin de curso que indicaran al PLC mediante entradas digitales si las compuertas están en estado abierto o cerrado; debido a la función que cumplen estos su designación será ZSH y ZSL, correspondiente a posición de válvula en estado abierto y cerrado respectivamente, a cada servomotor se le hará corresponder un par de interruptores de fin de curso

La elección de sensores del tipo capacitivo se da principalmente porque es la tecnología que mejor trabaja en las condiciones de presión y temperatura que el proceso requiere, considerando además que solo se requiere saber el estado de nivel alto o bajo.

El conjunto de estos instrumentos estará gobernado por un controlador lógico programable (PLC) a donde llegaran las señales discretas de los sensores de nivel cuando de acuerdo a su configuración cambien de estado, y las señales discretas de los interruptores de fin de curso para que estas sean procesadas y emitan señales que permitan a los actuadores servomotores y sistema de elevación, realizar la etapa del carguío y suministro del material de acuerdo a la programación que corresponda para tal fin.

La implementación lógica en el PLC se hace de acuerdo a las entradas y salidas que se presenta en Tablas N° 3.1. En ella también se muestran las designaciones de los instrumentos de acuerdo a la simbología estandarizada por la ISA.

Tabla N° 3.1 Entradas y salidas al PLC-carguío de material

Instrumento	Tag	Unidades.	Conexión al PLC
Selector de posición automático-manual	HY	3	Entrada digital
Interruptor de fin de curso SVP12 OPEN	ZSH-121	1	Entrada digital
Interruptor de fin de curso SVP12 CLOSE	ZSL-121	1	Entrada digital
Interruptor de fin de curso SVP34 OPEN	ZSH-123	1	Entrada digital
Interruptor de fin de curso SVP34 CLOSE	ZSL-123	1	Entrada digital
Interruptor de fin de curso SVTC OPEN	ZSH-122	1	Entrada digital
Interruptor de fin de curso SVTC CLOSE	ZSL-122	1	Entrada digital
Interruptor de nivel capacitivo en tolva	LSH-125	1	Entrada digital
Interruptor de nivel capacitivo en reactor	LSL-127	1	Entrada digital
Contacto de apertura de válvula SVP12	JC-121	1	Salida digital
Contacto de cierre de válvula SVP12	JC-121	1	Salida digital
Contacto de apertura de válvula SVP34	JC-123	1	Salida digital
Contacto de cierre de válvula SVP34	JC-123	1	Salida digital
Contacto de apertura de válvula SVTC	JC-122	1	Salida digital
Contacto de cierre de válvula SVTC	JC-122	1	Salida digital
Contacto de elevación de material	JC-129	1	Salida digital

Donde:

- SVP12 : servomotor que gobernara las compuertas de las piernas 1 y 2.
- SVP34 : servomotor que gobernara las compuertas de las piernas 3 y 4.
- SVTC : servomotor que gobernara la compuerta que limita a la tolvas de recepción superior e inferior.

Bajo una condición de arranque, el reactor y la tolva superior deberán estar llenos de carbón como se muestra en la primera etapa del proceso de carguío en la Fig.3.2.

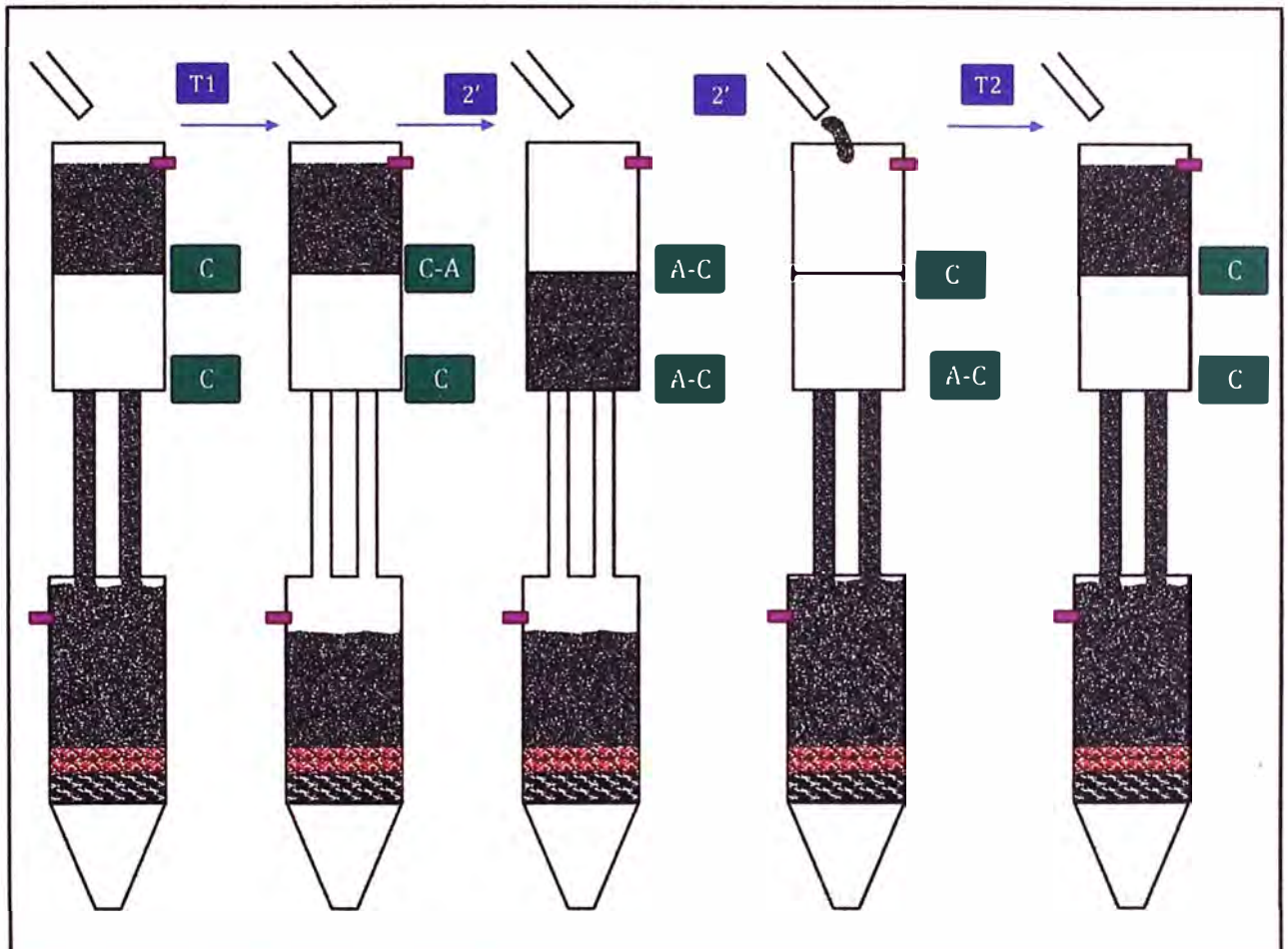


Fig. 3.2 Etapas del proceso de suministro de material

Para que la secuencia anterior se desarrolle de manera correcta, las condiciones iniciales con las cuales iniciara el proceso y que se configurara en el controlador programable, se muestra en la Tabla N° 3.2. donde el estado de contacto abierto o cerrado se refieren a aquel que interpretara el PLC como parte de su lógica.

Donde:

- LSL: interruptor de nivel que indicara cuando se debe suministrar carbón al reactor.
- LSH: interruptor de nivel que indicara cuando se debe suministrar carbón a la tolva superior.
- ZSH, ZSL: fines de curso de los servomotores.

Tabla N° 3.2 Condiciones iniciales –carguío

	ESTADO
LSL REACTOR SEMIVACIO	Abierto
ZSL SVP12	Cerrado
ZSL SVP34	Cerrado
ZSH SVP12	Abierto
ZSH SVP34	Abierto
ZSL SVTC	Cerrado
ZSH SVTC	Abierto
LSH TOLVA LLENA	Cerrado

Con todo lo considerado anteriormente a continuación se detalla el curso de cómo ocurre el proceso de suministro de material considerando la Fig.3.2:

- Iniciado el proceso con el encendido del carbón, este empieza a consumirse en el interior del reactor.
- Una vez que se haya consumido lo suficiente después de un tiempo T1 el sensor capacitivo (LSL) ubicado en la parte superior del reactor generara un cambio de estado de normalmente abierto a cerrado.
- Con esta condición el objetivo es abrir la compuerta que une las tolvas superior e inferior activando el servomotor SVTC, energizando los contactos OPEN del servo SVTC, el cual se apagara cuando se llegue al fin de curso con la compuerta totalmente abierta (ZSH-122 SVTC).
- En estas condiciones permanecerá por un tiempo de 2 minutos, suficiente para que se descargue carbón de la tolva superior a la inferior.
- Cumplido este tiempo se cierra la compuerta central, energizando contactos CLOSE servo SVTC, los cuales se apagaran cuando se llegue al fin de curso de compuerta totalmente cerrada (ZSL-122 SVTC), activándose una indicación luminosa SERVO CLOSE SVTC.
- De inmediato se manda abrir las compuertas localizadas en las piernas que alimentan de carbón al reactor, energizando los contactos OPEN servo SVP12 y SVP34; los cuales se apagaran cuando se tenga las compuertas totalmente abiertas (ZSH-121,ZSH-123 de SVP12 y SVP34 respectivamente)activándose una indicación luminosa SERVO OPEN.
- En estas condiciones se mantendrá abierta las compuertas por un intervalo de 2 minutos, tiempo suficiente para que se descargue material de la tolva inferior al reactor.
- Al termino de este tiempo se manda a cerrar las compuertas energizando los contactos CLOSE servo SVP12 y SVP34 los cuales se apagaran cuando se llegue al fin de curso con las compuertas de las piernas totalmente cerradas(ZSL-121 de SVP12 y ZSL-123 de SVP34 en fin de curso).

- Ahora se mandara una señal para activar el mecanismo de elevación de carbón a las tolvas de recepción.
- Cuando el sensor de nivel después de un tiempo T2, detecte tolva superior llena (LSH) el PLC desactivara el mecanismo de elevación.
- De esta manera finaliza la secuencia de carguío, quedando nuevamente en las condiciones iniciales, a espera de que el sensor de nivel colocado en el reactor mande una señal para el inicio de una nueva secuencia.

A continuación en la Fig.3.3 se muestra un diagrama del proceso y la instrumentación sugerida para esta etapa de carguío y suministro de carbón al reactor.

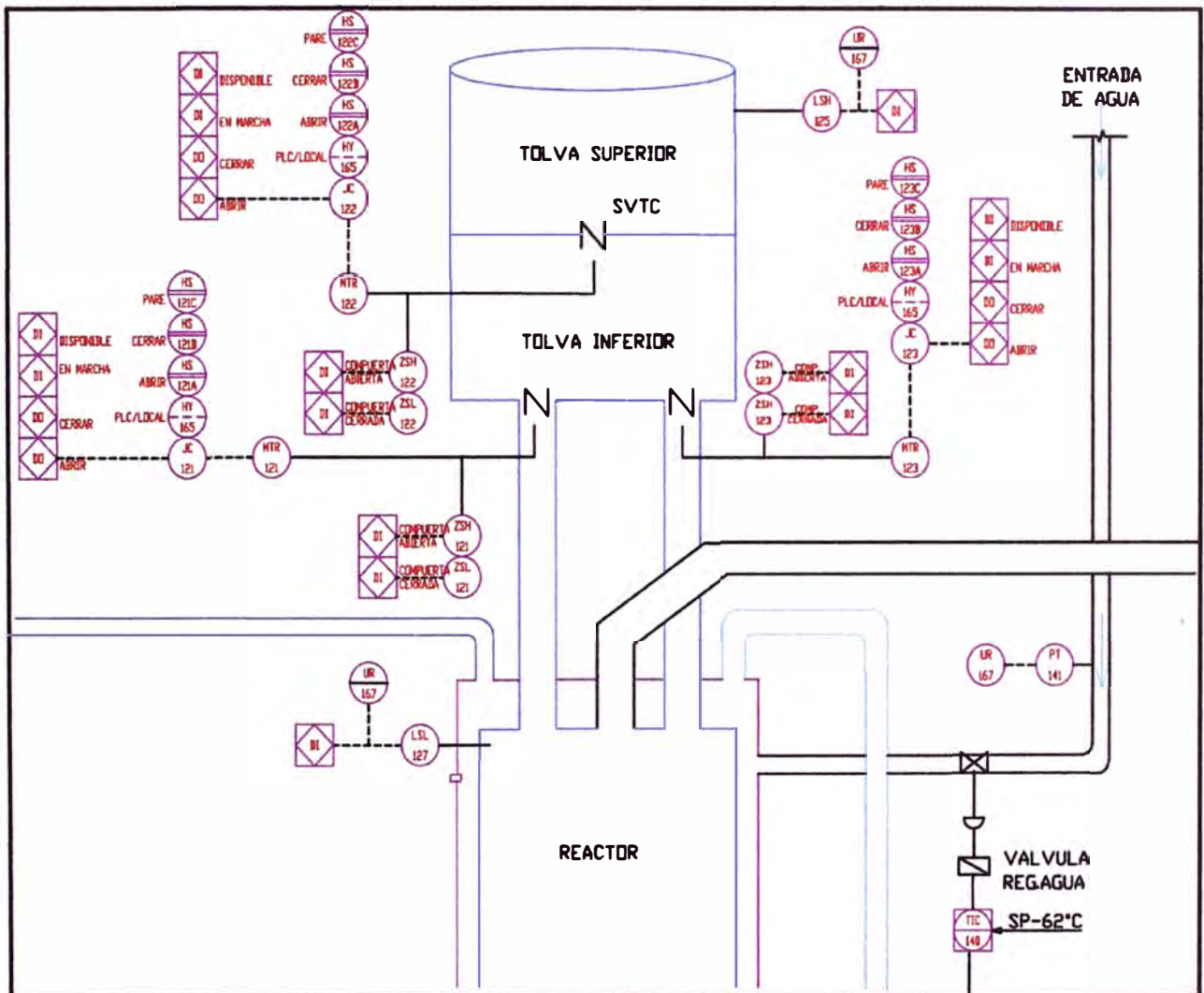


Fig. 3.3 P&ID de sistema de carguío

Adicionalmente se muestra en este diagrama los interruptores manuales de cerrar abrir o parar para el control de cada compuerta, con una ubicación auxiliar accesible al operador, también observa la conexión de las señales de los sensores de nivel hacia un registrador a efectos de monitorear y tener un historial de lo que ocurre en cada caso. Este registrador designado con UR-167 se encuentra en la cabina de ubicación primaria accesible al operador.

3.2.2. Control de nivel de zona incandescente

En el interior del reactor se tiene una altura de 3m sobre las parrillas giratorias, sobre esta ultima en un proceso en marcha se distinguen tres zonas importantes zona de cenizas, zona incandescente y zona de coque crudo .El objetivo para que se genere un gas rico en calorías es que se dé una buena combustión y para que esto ocurra la zona incandescente debe permanecer a una altura de 70 cm. sobre las parrillas; esto evitaría una condensación del vapor en el caso que la zona incandescente este muy elevada, o por el contrario que deteriore las parrillas en el caso se acerque demasiado a estas.

La propuesta de solución consiste en controlar de manera indirecta la altura a la cual se ocurre la zona incandescente en el interior del horno reactor, usando instrumentación electrónica; para esto se debe contar con 12 sensores de temperatura las cuales se colocaran en 6 niveles diferentes distanciados verticalmente 25cm y a partir de la ubicación de la parrilla giratoria la cual se encuentra en la parte inferior del reactor como se muestra en la Fig.3.4; es así que en cada nivel horizontal y de manera frontal serán colocados dos sensores. En cada nivel, se tendrá la medición de dos temperaturas usando termopares tipo K, la señal de estas que será en del orden de los mili voltios será llevada a un transmisor de dos entradas y con la capacidad de promediar estas temperaturas para luego tener como salida una sola señal normalizada de 4 a 20 mA, que corresponderá a la temperatura promedio medida en dicho nivel; este procedimiento se llevara a cabo para los seis niveles de temperatura considerados en el reactor.

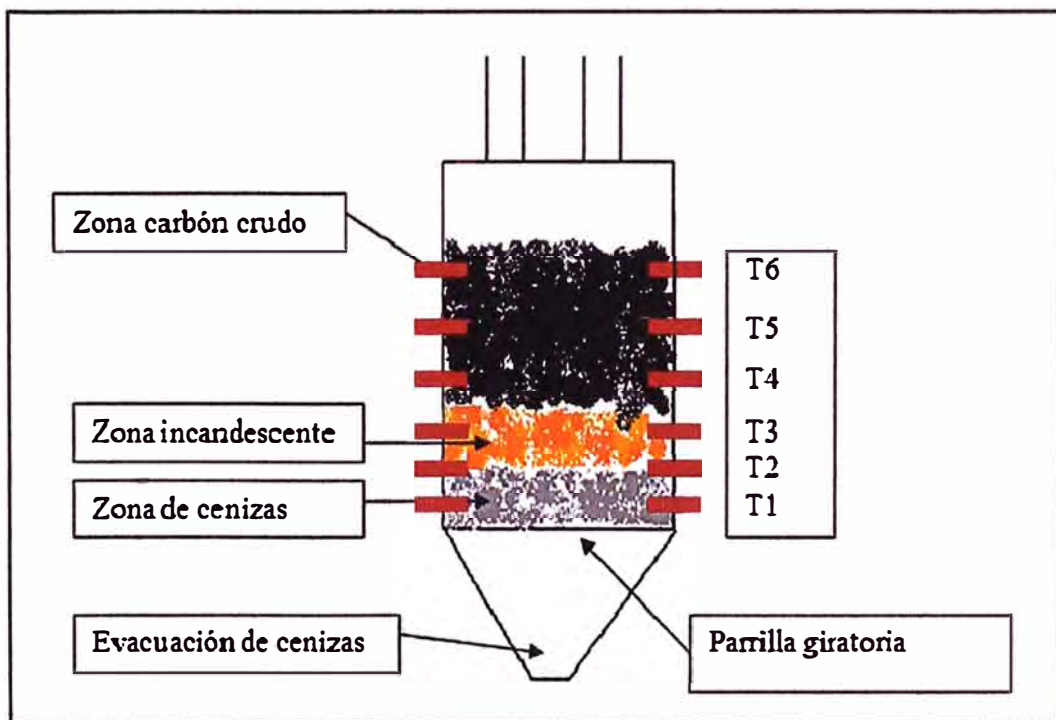


Fig. 3.4 Zonas de reacción del carbón en el reactor

Las seis mediciones de temperaturas promedio tomadas en cada nivel se llevaran desde los respectivos transmisores hacia el PLC en forma de señal eléctrica normalizada de 4 a 20 mA. Estas señales se procesaran de la siguiente manera:

A cada entrada en el PLC, correspondiente a una temperatura se le asignara una identificación la cual a su vez de acuerdo al sensor del cual provenga se le hará corresponder una altura que será la misma de la ubicación del sensor en el reactor, como se muestra en la Tabla N° 3.3.

Tabla N° 3.3 Correspondencia de temperatura y ubicación de sensor en el reactor

Sensor de temperatura	Identificación por nivel	Altura de ubicación
TE-131.A, TE-131.G	T1	25 cm
TE-131.B, TE-131.H	T2	50 cm
TE-131.C, TE-131.I	T3	75 cm
TE-131.D, TE-131.J	T4	100 cm
TE-131.E, TE-131.K	T5	125 cm
TE-131.F, TE-131.L	T6	150 cm

_En el PLC se introducirá la información de esta tabla, para que cuando compare estas temperaturas seleccione la mayor y de acuerdo a la altura que le corresponda tome determinada acción.

_La altura nominal promedio de acuerdo a estudios técnicos a la cual debe encontrarse la zona incandescente de mayor temperatura debe ser 75 cm, es decir se debe controlar que el par de sensores TE-131.C y TE-131.I en promedio registren la mayor temperatura en el interior del reactor.

_El elemento actuador que permitirá controlar lo anterior es un motor que al girar las parrillas en el interior del reactor provoca la evacuación de cenizas. Al girar las parrillas con la mínima velocidad provocara evacuación de cenizas en pocas cantidades, mientras que al girar con su mayor velocidad provocara evacuación de cenizas en grandes cantidades. Para que esto sea posible se dispondrá de un variador de velocidad el cual con entradas de 4 a 20 mA se encargara de regular la velocidad del motor y este a su vez la velocidad de las parrillas giratorias para una adecuada evacuación de cenizas.

_La entrada en el variador de velocidad será señal de salida del PLC que de acuerdo a lo siguiente consideraciones tomara determinado valor:

- Si la mayor temperatura registrada por el PLC corresponde a T1, significara que la zona incandescente está demasiado cerca a las parrillas pudiendo incluso provocarles daños físicos a esta por efectos de dilatación, en estas condiciones la señal que enviara el PLC al variador será de 4 mA, considerando que el variador estará configurado

para que con esta señal provoque en el actuador la menor velocidad posible en las parrillas.

- Si la mayor temperatura registrada por el PLC corresponde a T6, significara que la zona incandescente está demasiado alejado de las parrillas lo cual implicaría que se estaría generando un gas de muy mala calidad, en estas condiciones la señales que el PLC enviaría al variador será de 20 mA, para provoque la mayor velocidad posible a fin de que la evacuación de cenizas se máxima.

Para cuando el PLC registre la máxima temperatura en los otros sensores se tendrá la siguiente correspondencia de valores que muestra en la Tabla N° 3.4, valores que serán tomados en cuenta en la configuración en el controlador.

Tabla N° 3.4 Correspondencia temperatura-senal eléctrica

Sensor que registra la máxima Temperatura.	Señal de salida del PLC o Señal de entrada en el variador
T1	20mA.
T2	17mA.
T3	14mA.
T4	11mA.
T5	8mA.
T6	4mA

En la tabla N°3.5 se considera la instrumentación usada para esta parte del proceso:

Tabla N° 3.5 Instrumentación-Control de zona incandescente

Instrumento	función	Etiqueta (tag)
Sensores de temperatura	Medición de temperatura a 25cm	TE-131.A,TE-131.G
Sensores de temperatura	Medición de temperatura a 50cm	TE-131.B,TE-131.H
Sensores de temperatura	Medición de temperatura a 75cm	TE-131.C,TE-131.I
Sensores de temperatura	Medición de temperatura a 100cm	TE-131.D,TE-131.J
Sensores de temperatura	Medición de temperatura a 125cm	TE-131.E,TE-131.K
Sensores de temperatura	Medición de temperatura a 150cm	TE-131.F,TE-131.L
Transmisor de temperatura	Convertir señales de los sensores	TT-131.A
Transmisor de temperatura	Convertir señales de los sensores	TT-131.B
Transmisor de temperatura	Convertir señales de los sensores	TT-131.C
Transmisor de temperatura	Convertir señales de los sensores	TT-131.D
Transmisor de temperatura	Convertir señales de los sensores	TT-131.E
Transmisor de temperatura	Convertir señales de los sensores	TT-131.F
Controlador Lógico programable	Procesar señales los transmisores	DI,DO
Variador de velocidad	Regular la velocidad del motor	JC-113
Registrador de temperatura	Visualizar las señales de interés	UR-169

En esta se muestra el instrumento, la función que cumple y la etiqueta del mismo (tag). Como se observa también se considera un registrador etiquetado con UR-169, en el cual se tiene un historial de la ocurrencia de las variaciones de temperatura; dependiendo de las características del registrador se podrá tener aplicaciones de alarma como alternativa de seguridad.

Con las consideraciones hechas y el conjunto de instrumentos necesarios para el desarrollo de esta etapa del proceso se muestra en la Fig.3.5 un diagrama del proceso e instrumentación (P&ID), con la designación que de acuerdo a estándares de la ISA le corresponde a cada instrumento.

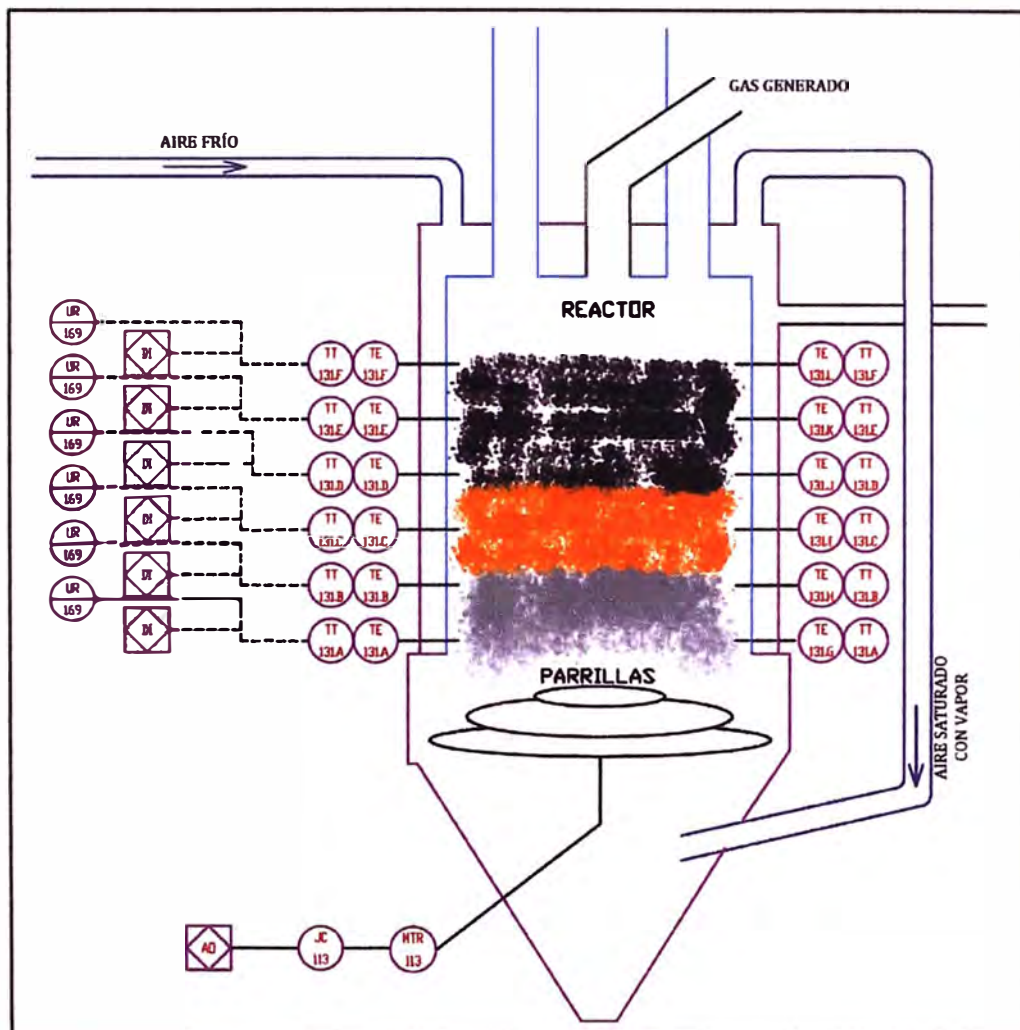


Fig. 3.5 P&ID de etapa de control de zona incandescente

3.2.3. Control de flujo de aire y presión del gas en el reactor

Del proceso se desprende que la presión de gas en el reactor depende directamente del flujo de aire que ingresa en el, pero también dependerá del consumo de los usuarios dependientes de este gas, es decir a más consumo menor presión en el reactor y viceversa, por lo tanto la instrumentación que se sugiera para esta etapa deberá considerar estas premisas, debemos añadir a estas los riesgos que implica al proceso tener una elevada presión en el reactor o una depresión en este. Estudios técnicos realizados reco-

miendan mantener una presión en el reactor alrededor de los 300 mmCA, en el cual se considera el consumo promedio de todos los usuarios.

La presión del reactor se controlara variando el flujo de aire que ingresa por el ventilador al inicio de la línea de aire frio, para ello se tiene un control en cascada entre la presión en el reactor (controlador primario) y flujo de aire controlador secundario, el mando manual o automático se hará a través de un controlador de lazo.

La instrumentación requerida para este bloque del proceso se da a continuación:

- Un transmisor de presión, un controlador e indicador de presión estos instrumentos estarán designados por PT-151 y PIC-151 respectivamente y se colocaran en el ducto de salida de gas que une el reactor y el ciclón.
- Para la medida y control de flujo de aire se contara con sensor de caudal FE-111(elemento placa orificio), un transmisor de flujo FT-111, un transmisor de presión PT-111, un controlador e indicador discreto FQIC-111 que cumplirá la función de controlar e indicar el flujo de aire que entra al reactor, este control se llevara a cabo accionando una válvula tipo mariposa mediante un servomotor FZ-111, este ultimo recibirá señales eléctricas normalizadas de 4 a 20 mA provenientes del controlador mencionado. La designación o etiquetado se hará de acuerdo a normas ISA, terminando cada etiquetado en 111 correspondiente a este circuito cerrado.

Para el registro de las señales se contara con un registrador de pantalla multicanal, es decir con múltiples entradas para supervisar las señales físicas involucradas en este proceso, a este instrumento llegarán señales de 4 a 20mA las cuales mediante configuración del mismo se hará corresponder los respectivos rangos físicos involucrados, como se mencionara en las características de este instrumento también se cuenta con las salidas de alarma las cuales se usaran para dar aviso de una presión crítica en el reactor así como un flujo de aire no deseado.

La instrumentación considerada esta parte del proceso se muestra en la Tabla N°3.6 con su respectiva función y etiqueta.

Tabla N° 3.5 Instrumentación-Control de zona incandescente

Instrumento	función	Etiqueta (tag)
Elemento placa orificio	Elemento primario de medición de flujo	FE-111
Transmisor de flujo	Convertir la señal de flujo en 4-20 mA	FT-111
Transmisor de presión	Convertir señales de presión en 4-20 mA	PT-111
Controlador digital discreto	Controlar el aire que entra al reactor	FQIC-111
Válvula reguladora	Regula el flujo de aire que entra al reactor	FZ-111
Transmisor de presión	Convierte señal de presión en 4-20 mA	PT-151
Controlador digital discreto	Controla la presión en el reactor	PIC-151
Registrador multivariable	Visualiza las señales de interés	UR-167

El registrador considerado corresponde a uno de más de 20 canales de entrada, algunas características de este instrumento se muestra en el anexo B, donde se muestra las diferentes alternativas de visualización de la ocurrencia en la medición de todas las señales conectadas a dicho instrumento.

A continuación en la Fig.3.6 se muestra el diagrama de proceso e instrumentación del control de flujo de aire y presión en el reactor, considerando etiquetado de acuerdo a especificaciones ISA.

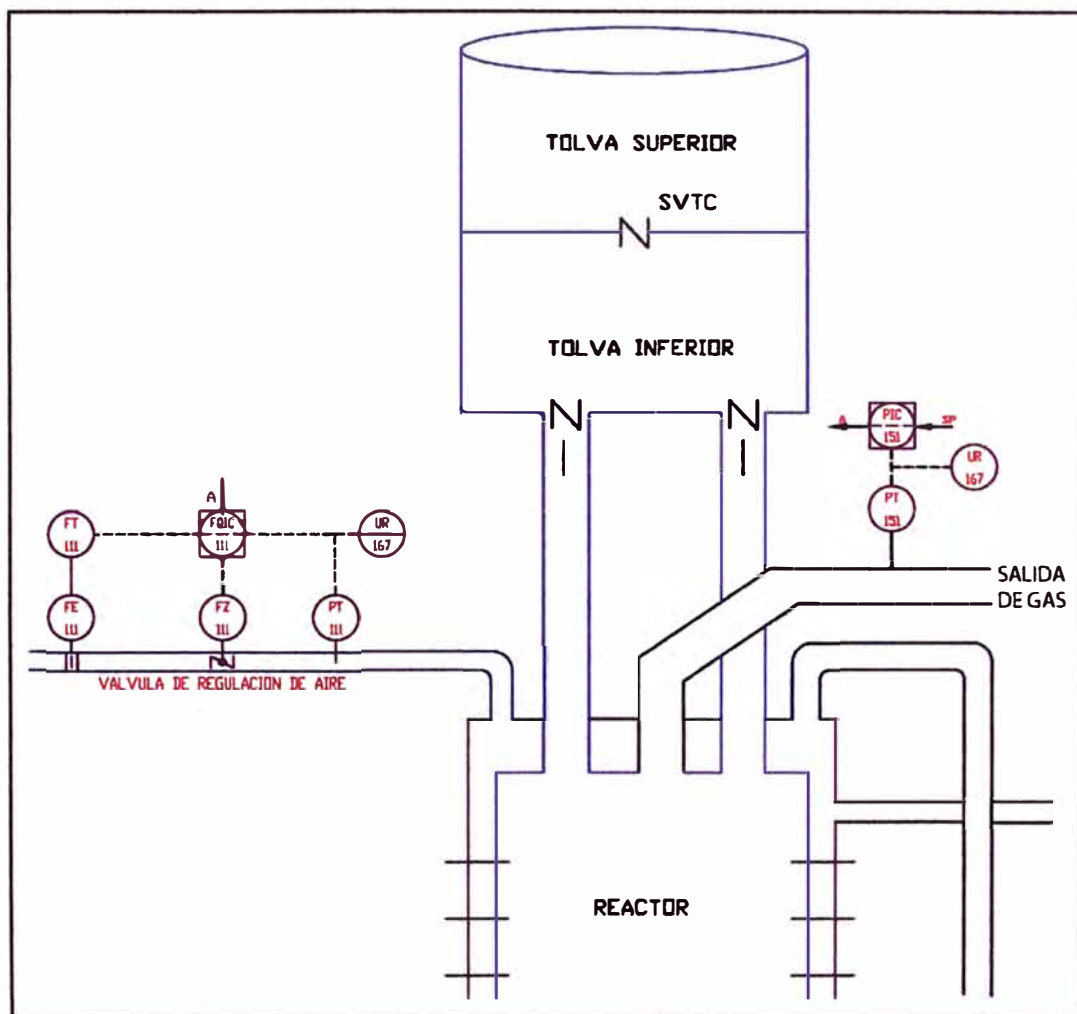


Fig.3.6 P&ID de etapa de control flujo de aire y presión en el reactor

En este diagrama se observa que la presión medida a la salida del reactor es transmitida al controlador etiquetado con PIC-151, al cual se le debe configurar el set-point de presión de acuerdo al consumo de los usuarios del gas con la finalidad de que este pueda mantener dicha presión; lo anterior es posible si se tiene un control sobre el aire saturado con vapor.

Para controlar el ingreso de aire al reactor se cuenta con un controlador etiquetado como FIC-111, el cual con la señal que le llegue del primer controlador y las mediciones que se haga de presión y caudal deberá regular el aire de ingreso a fin de mantener la presión de gas deseada en la salida del reactor.

3.2.4. Control de temperatura de aire saturado

Para que se genere un gas rico en calorías es importante que el comburente sea rico en oxígeno, y esto se consigue mezclando aire con vapor de agua y esta mezcla es la que provoca la combustión en el carbón mineral; este aire saturado ha de ingresar a través de un ducto por debajo de las parrillas y la temperatura ideal deberá ser de 62 °C y esta se controla haciendo ingresar más agua a la chaqueta del reactor para disminuir la temperatura del agua en la chaqueta o viceversa produciendo una menor o mayor evaporación respectivamente que mezclado con el volumen y flujo adecuado de aire proporcionara un aire saturado con la temperatura requerida.

El ingreso de agua será regulado por una válvula que a su vez será gobernada por un controlador e indicador de temperatura, al cual se le configurara con el set-point en 62 °C, temperatura que ha de ser comparada con aquella que se toma en el ducto que lleva el aire saturado; para esto último se requiere de un sensor de temperatura PT100 y un transmisor de temperatura con salida de 4 a 20mA.

En la Fig.3.7 se muestra el diagrama del proceso e instrumentación con la designación o etiquetado de los instrumentos de acuerdo a especificaciones ISA.

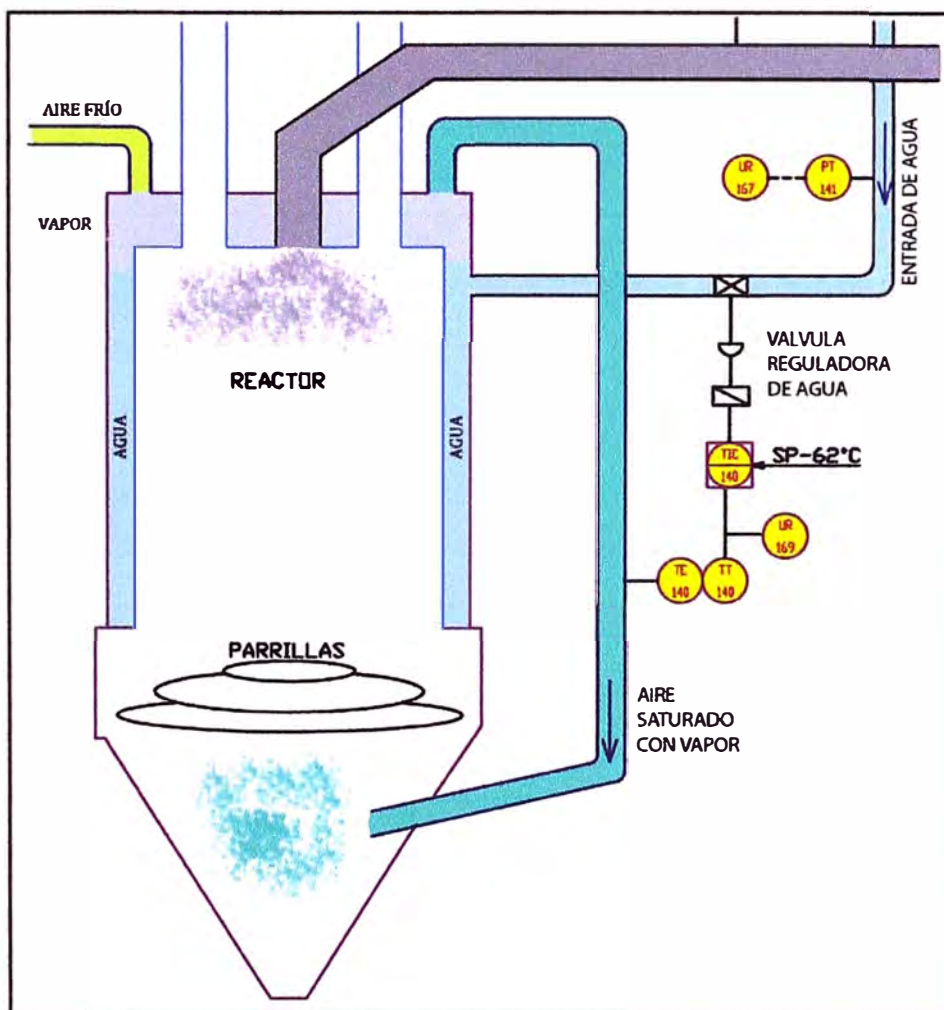


Fig.3.7 P&ID de etapa de control aire saturado

La instrumentación considerada en esta parte del proceso se muestra en la Tabla N°3.6 donde también se observa un sensor de temperatura con su respectivo transmisor inmediatamente a la salida del ciclón, señal que es llevada a un registrador a fin de monitorear su variación y de ser necesario configurar el instrumento para proporcionar señal de alarma cuando la temperatura alcance valores críticos.

Tabla N° 3.6 Instrumentación-Control de flujo de gas

Instrumento	función	Etiqueta (tag)
Elemento placa orificio	Elemento primario de medición de flujo	FE-154
Transmisor de flujo	Convertir la señal de flujo en 4-20 mA	FT-154
Transmisor de presión	Convertir señales de presión en 4-20 mA	PT-154
Controlador digital discreto	Controlar el aire que entra al reactor	FQIC-154
Válvula reguladora	Regula el flujo de gas de salida	FZ-154
Sensor de temperatura	Mide la temperatura del gas	TE-152-154
Transmisor de temperatura	Convierte la señal de temperatura en 4-20mA	TT-152-154
Registrador mutivariable	Visualiza las señales de interés	UR-167-169

CAPITULO IV

PRESENTACION DE RESULTADOS

4.1. Resultados

En el presente informe luego de un estudio detallado del desarrollo del proceso de generación de gas a partir de carbón mineral, se ha logrado determinar los puntos críticos de medición y control, para ello ha sido necesario la división del proceso en 5 bloques fundamentales: control de carguío, control de zona incandescente, control de flujo de aire y presión de gas en el reactor, control de temperatura de aire saturado con vapor y control de flujo de gas generado.

Al desarrollarse el proceso en un complejo siderúrgico, se presentan en él situaciones críticas en el propósito de medir las variables de campo como son presión, temperatura, flujo y nivel donde se ha planteado el uso de sensores, transmisores, transductores; también se ha tenido en cuenta la instrumentación que se encontraba en mal estado o aquella que fue planteada cuando la tecnología no alcanzaba la robustez en cuanto a características de funcionamiento se refiere, en comparación con las que en la actualidad se cuenta.

Conocida las variables críticas es necesario controlarlas a fin de que el proceso se desarrolle de manera optima; para ello se utiliza controladores discretos, controladores programables y registradores incluyendo elementos finales o actuadores.

La propuesta está basada en proponer la instrumentación necesaria que permita medir y controlar cada etapa de la línea en la cual se da el proceso, de manera tal que se obtenga un producto de alta calidad.

La instrumentación que cumplirá con lo mencionado y considerando cada una de las etapas tomadas en cuenta se señala a continuación:

- **Sistema de carguío y suministro de material:** en esta etapa se sugirió 2 sensores capacitivos por su alta resistencia a la corrosión y a temperaturas extremas; 5 compuertas con un correspondiente servomotor para cada una incluyendo interruptores de fines de carrera; un PLC en el cual se considera 14 entradas digitales (DI) y 6 salidas digitales (DO) las primeras corresponden a los sensores y a los interruptores de final de carrera y las segundas a las compuertas y al sistema de elevación. Con esta instrumentación se espera un correcto suministro de material en el momento que se requiera, pues de ello dependerá una continua producción de gas, sin paradas innecesarias. Un correcto fun-

cionamiento de esta etapa evitaría fugas involuntarias de gas a través de las compuertas, evitándose grandes pérdidas económicas en el tiempo. En el diagrama final del proceso e instrumentación se muestra la instrumentación usada en la planta con su respectiva simbología y etiqueta de identificación de acuerdo a especificaciones de la ISA.

- Sistema de control de altura de la zona incandescente: en esta etapa se sugiere un total de 12 termopares tipo K por su características de trabajo a altas temperaturas requeridas en el proceso, los transmisores correspondientes y un PLC en el cual se considera 6 entradas analógicas (AI) correspondiente a los transmisores y una salida analógica (AO) para poder controlar un variador, que enviara señales a un actuador que hará girar las parrillas que permitirán la evacuación de cenizas en pocas o grandes cantidades de manera tal que siempre se cuente con un lecho de cenizas sobre la parrilla para asegurar que la zona de combustión incandescente que esta sobre esta ultima permanezca a una altura nominal, para dar origen así a un gas de buena calidad. Adicionalmente se planteo la presencia de un registrador que además de permitir tener un historial en el tiempo nos muestra las señales en tiempo real, mas aun con las señales de alarma con la que cuentan estos se configurara de manera tal que ante presiones o temperaturas criticas no deseadas den aviso y tomen de acuerdo a una previa configuración decisiones que guarden el correcto funcionamiento del proceso y lo que es más importante evitar accidentes.
- Control de Flujo de aire y presión en el reactor, aquí se sugiere la presencia de un transmisor de caudal diferencial de presión con su respectivo elemento primario que viene a ser una placa orificio, un ventilador, una válvula tipo mariposa, transmisores de presión y temperatura; estos instrumentos estarán conectados y configurados de manera tal que para mantener una presión nominal en la salida del gas en el reactor, se inyecte una adecuada cantidad de aire a través de la tubería de viento frio que al mezclarse con el vapor de agua en la chaqueta del reactor hará ingresar aire saturado por debajo de las parrillas en el interior del reactor, generándose luego de las reacciones químicas un gas en cantidades y volúmenes que lleven a tener la presión establecida.
- Control de temperatura de aire saturado; es sumamente importante que químicamente el gas generado tenga la composición adecuada de monóxido y otros compuestos químicos que le dan un alto poder calorífico, por esta razón es que se controla la temperatura con la que ingresa el aire saturado al reactor la cual debe mantener una temperatura nominal de 62 °C; pues se espera que con esta temperatura la concentración de moléculas de agua que se están evaporando en la chaqueta del reactor mezclado con el aire, den lugar una adecuada concentración de oxigeno, principal comburente en la reacción; para este fin se requiere de un sensor de temperatura PT100, un transmisor de temperatura, un controlador e indicador de temperatura y una válvula regulada por temperatura.

- Control de flujo en la salida del gas: es importante conocer el flujo normalizado del gas generado al final del proceso, puesto que de esta manera se podrá saber la cantidad de volumen normalizado del gas de alto horno con el cual se deberá mezclar; para este propósito se requiere un transmisor de flujo por diferencial de presión con su respectivo elemento placa orificio, un sensor de temperatura con su respectivo transmisor, un transmisor de presión; el conjunto de estas señales se llevarán al controlador e indicador de flujo, para que sea este dispositivo el que regule el flujo de gas a enviar a la mezcla con el gas de alto horno.
- Adicionalmente se consideran sensores de temperatura y de presión a fin de monitorear y registrar la variación de estas mediciones, tal cual muestra el P&ID de la Fig. 4.1 donde se observa la presencia de los registradores para tal fin.

Los instrumentos considerados en la generación de gas a partir de carbón mineral, teniendo en cuenta lo descrito en la metodología para la solución del problema desarrollado en el capítulo 3, son los que se presentan en las Tablas N° 4.1 hasta la N°4.5, donde se considera el instrumento, la etapa o medición, el rango de trabajo, unidades y la designación de acuerdo a los estándares de la ISA.

Tabla N° 4.1 Etapa de carguío de material

Instrumento	Etapa	Rango	Tag
Sensor de nivel capacitivo	Control de nivel de tolva superior	ON - OFF	LSH-125
Sensor de nivel capacitivo	Control de nivel de carbón en reactor	ON - OFF	LSL-127
Fin de carrera open	Compuerta entre tolvas alimentadoras	ON - OFF	ZSH-122
Fin de carrera open	Compuertas de piernas 1y 2	ON - OFF	ZSH-121
Fin de carrera open	Compuertas de piernas 3 y 4	ON - OFF	ZSH-123
Fin de carrera close	Compuerta entre tolvas alimentadoras	ON - OFF	ZSH-122
Fin de carrera close	Compuertas de piernas 1y 2	ON - OFF	ZSH-121
Fin de carrera close	Compuertas de piernas 3 y 4	ON - OFF	ZSH-123

Tabla N° 4.2 control de zona incandescente en el reactor

Instrumento	Etapa	Rango	Unidades	Tag
Termopar tipo k	Horno reactor	0 – 600	°C	TE-131.A
Termopar tipo k	Horno reactor	0 – 600	°C	TE-131.B
Termopar tipo k	Horno reactor	0 – 800	°C	TE-131.C
Termopar tipo k	Horno reactor	0 – 800	°C	TE-131.D
Termopar tipo k	Horno reactor	0 – 700	°C	TE-131.E
Termopar tipo k	Horno reactor	0 – 700	°C	TE-131.F
Termopar tipo k	Horno reactor	0 – 600	°C	TE-131.G
Termopar tipo k	Horno reactor	0 – 600	°C	TE-131.H
Termopar tipo k	Horno reactor	0 – 800	°C	TE-131.I
Termopar tipo k	Horno reactor	0 – 800	°C	TE-131.J
Termopar tipo k	Horno reactor	0 – 700	°C	TE-131.K
Termopar tipo k	Horno reactor	0 – 700	°C	TE-131.L
Transmisor de temperatura	Horno reactor	4 – 20	mA	TT-131.A
Transmisor de temperatura	Horno reactor	4 – 20	mA	TT-131.B
Transmisor de temperatura	Horno reactor	4 – 20	mA	TT-131.C

Transmisor de temperatura	Horno reactor	4 – 20	mA	TT-131.D
Transmisor de temperatura	Horno reactor	4 – 20	mA	TT-131.E
Transmisor de temperatura	Horno reactor	4 - 20	mA	TT-131.F
Registrador multivariable	Cabina del operador			UR-167.F

Tabla N° 4.3 Control de Flujo de aire y presión en el reactor

Instrumento	Etapas	Tag
Controlador digital	Tubería de aire frío	FQIC-111
Controlador digital	Tubería de gas	PIC-151
Transmisor de flujo	Tubería de aire frío	FT-111
Transmisor de presión	Tubería de aire frío	PT-111
Sensor de flujo	Tubería de aire frío	FE-111
Transmisor de presión	Tubería de gas	PT-151
Válvula de regulación	Tubería de aire frío	FZ-111

Tabla N° 4.4 Control de flujo en la salida del gas

Instrumento	Etapas	Tipo
Controlador digital	Tubería de gas	FQIC-154
Transmisor de temperatura	Tubería de gas	TT-154
Sensor de temperatura	Tubería de gas	TE-154
Transmisor de presión	Tubería de gas	PT-154
Sensor de flujo	Tubería de gas	FE-154
Transmisor de flujo	Tubería de gas	FT-154
Válvula de regulación	Tubería de aire frío	FZ-154

Tabla N° 4.5 Control de temperatura de aire saturado

Instrumento	Etapas	Tipo
Controlador digital	Cabina del operador	TIC-140
Transmisor de temperatura	Tubería de aire saturado	TT-140
Sensor de temperatura	Tubería de aire saturado	TE-140
Registrador multivariable	Cabina del operador	UR-169
Válvula de regulación	Tubería de agua	FZ-140
Transmisor de presión	Tubería de agua	PT-141

El conjunto de estos instrumentos distribuidos de acuerdo a lo expuesto en el capítulo anterior, llevarían a que la generación de gas a partir de carbón mineral se dé en condiciones óptimas y evitando paradas por la falta de medición o control de alguna variable involucrada en el proceso.

4.2. Evaluación económica

La sustitución del petróleo por gas de alto horno y gas de gasógeno en los hornos de una siderúrgica se ha demostrado que es técnica y económicamente factible; la utilización de estos gases se hará de manera óptima cuando la mezcla se dé en iguales proporciones.

El gas mixto satisface todos los requerimientos de temperatura que se da en los hornos de una siderúrgica, alcanzando temperaturas de hasta 1200°C. De esta manera se recupera 6000 Nm³/h de gas de alto horno que antes se expulsaba al exterior por su bajo poder calorífico y que en combinación con el gas generado a partir de carbón mineral sustituiría a 70000 galones de petróleo mensualmente.

En este contexto la instrumentación que se plantea en este informe y el aspecto económico que ello involucra resulta en una adecuada inversión recuperable a corto plazo, considerando que de ello también depende que la producción no tenga paradas continuas, o que se expulse gas de gasógeno involuntariamente por una inadecuada gestión en la instrumentación.

A continuación en la Tablas N° 4.6 se lista la instrumentación que se propone y el costo aproximado de cada uno de ellos, considerando la posibilidad en una variación de los mismos de acuerdo a las características mejoradas que puedan tener.

Tabla N° 4.6 Listado de precios de instrumentos

Instrumento	Cantidad	Precio por Unidad(\$)	Precio Total (\$)
Sensores de temperatura tipo K	12	150	1800
Sensor de temperatura PT100	3	90	270
Transmisor de temperatura	15	120	1800
Controladores digitales	4	600	2400
Controlador programable	1	4000	4000
Elemento placa orificio	2	1900	3800
Transmisor de diferencial de presión	2	900	1800
Transmisor de presión	4	800	3200
registradores	2	4500	9000
Sensor capacitivo - reactor	1	1400	1100
Sensor capacitivo – tolva superior	1	800	800
Interruptores de fin de curso	6	70	420
Válvula reguladora de agua	1	1600	1300
Válvula reguladora de viento frio	1	1600	1600
Válvula reguladora de gas	1	1900	1900

La propuesta planteada de la instrumentación requerida para la generación de gas a partir de carbón mineral se consolida en las Fig.4.1 donde se muestra el diagrama del

proceso e instrumentación (P&ID). En este diagrama se resume todo lo propuesto considerando la simbología para los instrumentos y el etiquetado de los mismos de acuerdo a los estándares de la Sociedad de instrumentistas de América (ISA) y que se detalla en la tabla N° 2.3.

Se espera que de este consolidado se pueda sacar toda la información del proceso; su desarrollo y sobre todo la ubicación y la función que cumple cada instrumento en el proceso completo que no es otra cosa que el conjunto de etapas expuestas en el capítulo anterior.

En el anexo E se presenta información sobre especificaciones técnicas de instrumentación tomadas en cuenta para el presente informe, las marcas y modelos son referenciales.

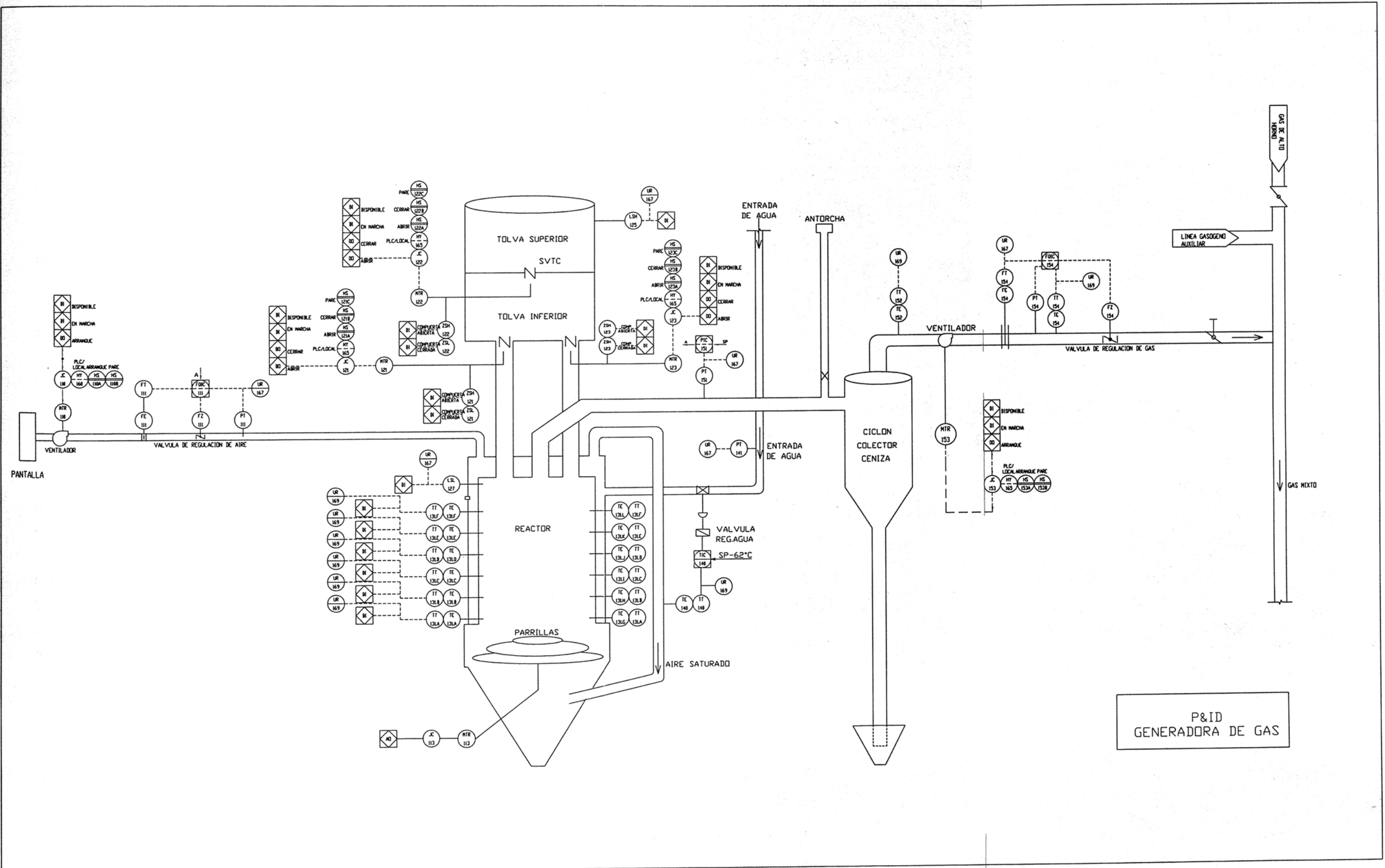


Fig. 4.1 P&ID DE GENERADORA DE GAS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez descritos los resultados obtenidos en el presente informe y teniendo en cuenta los objetivos planteados al comienzo del mismo, a continuación se enumeran las conclusiones:

1. La descripción del proceso de generación de gas a partir de carbón mineral nos ha permitido determinar la necesidad de contar con una instrumentación adecuada, a fin de medir las variables de presión, temperatura, flujo y nivel en los diferentes puntos de la línea del proceso donde se necesite tal información.
2. Con el conocimiento correcto y apropiado de las variables de campo, se podrá actuar con la necesidad y en las circunstancias que el proceso así lo requiera, utilizando para ello actuadores, registradores, alarmas y todo aquello que permita controlar la secuencia de la producción de gas.
3. El estudio del proceso de la línea de producción de gas a partir de carbón mineral ha permitido discernir cinco etapas de control como son: control de carguío, control de zona incandescente, control de flujo de aire y presión de gas en el reactor, control de aire saturado con vapor y control de flujo de gas generado.
4. En la selección de la instrumentación para el proceso se ha considerado las condiciones físicas del desarrollo del proceso mismo y de las inmediaciones en el lugar de medición y control.
5. De la instrumentación considerada para el proceso de generación de gas a partir de carbón mineral se tiene que el proceso de carguío cuenta con 9 instrumentos, el proceso de control de altura de zona incandescente cuenta con 19 instrumentos, el proceso de control de flujo de aire y presión de gas en el reactor cuenta con 7 instrumentos, el control de aire saturado con vapor cuenta con 6 instrumentos y el control de flujo de gas generado cuenta con 10 instrumentos; adicionalmente se tiene 2 instrumentos que permiten monitorear el proceso constituyendo un total de 53 instrumentos en la línea de producción de gas a partir de carbón mineral.
6. La etapa crítica del proceso se da en el interior del reactor donde con la instrumentación considerada es posible mantener una apropiada reacción química entre el carbón y el aire saturado, puesto que de esta manera se generara un gas de buena calidad y con un alto poder calorífico capaz de sustituir a otros combustibles como el petróleo.

7. En cada etapa o bloque del proceso se ha considerado la instrumentación con su respectiva identificación de acuerdo a los estándares de la ISA, y adicionalmente se ha etiquetado con una numeración de 3 dígitos que corresponden al circuito cerrado al que pertenecen.
8. Para un entendimiento rápido y adecuado de cada etapa del proceso se ha considerado el diagrama del proceso e instrumentación (P&ID) considerando la simbología de los instrumentos de acuerdo a los estándares de la ISA.
9. Se recomienda integrar un inventario de instrumentación donde se detalle la marca, modelo y tecnología de la instrumentación considerada, a fin de que también se pueda disponer de un stock necesario para imprevistos que puedan ocurrir en el desarrollo del proceso.
10. Se recomienda capacitar al personal técnico en la manipulación de la instrumentación moderna con la que se pueda contar, pues es común las fallas de estos equipos por una incorrecta manipulación y/o configuración.
11. Se recomienda plantear un programa de calibración como una rutina esencial del mantenimiento industrial, pues de ello dependerá la confiabilidad del proceso y la calidad del producto final.

ANEXO A
REACCIONES QUIMICAS EN EL REACTOR

Las principales reacciones que suceden en el interior del reactor se muestra en la Fig.A.1; en ella se tiene zona de combustión, zona de gasificación, zona de pirolisis y zona de secado y precalentamiento.

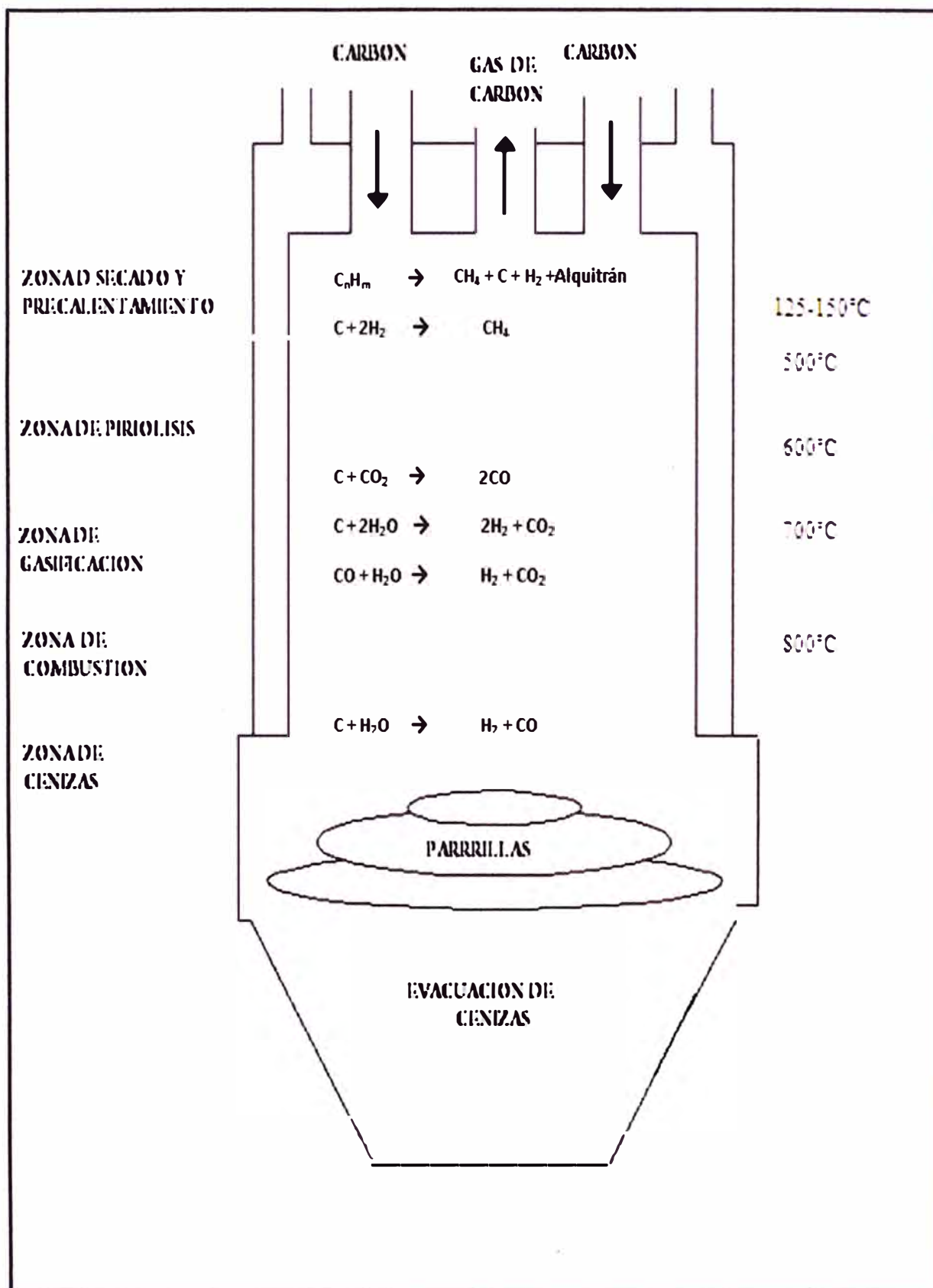


Fig.A.1 Zonas de reacción químicas del carbón en el reactor

ANEXO B
CONCEPTOS DE INSTRUMENTACIÓN

Algunos conceptos importantes de instrumentación de acuerdo al vocabulario internacional de Metrología [2] se listan a continuación:

- **Instrumento de medición:** dispositivo utilizado para realizar mediciones, solo o asociado a uno o varios dispositivos suplementarios.
- **Sistema de medición:** conjunto de uno o más instrumentos de medición y frecuentemente otros dispositivos, incluyendo reactivos y suministros, ensamblados y adaptados para proporcionar valores medidos dentro de intervalos especificados, para magnitudes de naturaleza dada.
- **Instrumento indicador:** instrumento de medición que produce una señal de salida con información sobre el valor de la magnitud medida.
- **Transductor:** dispositivo utilizado en medición que hace corresponder a una magnitud de entrada una magnitud de salida, según una relación determinada.
- **Sensor:** elemento de un sistema de medición directamente afectado por la acción del fenómeno, cuerpo o sustancia portador de la magnitud a medir.
- **Detector:** dispositivo o sustancia que indica la presencia de un fenómeno, cuerpo o sustancia cuando se excede un valor umbral de una magnitud asociada.
- **Cadena de medición:** serie de elementos de un sistema de medición que constituye la trayectoria de la señal, desde el sensor hasta el elemento de salida.
- **Valor Nominal:** valor redondeado o aproximado de una magnitud característica de un instrumento o sistema de medición, que sirve de guía para su utilización apropiada.
- **Sesgo instrumental:** diferencia entre el promedio de las indicaciones repetidas y un valor de referencia.
- **Incertidumbre de medición:** parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurado, a partir de la información que se utiliza.
- **Incertidumbre instrumental:** componente de la incertidumbre de medición que procede del instrumento o sistema de medición utilizado.
- **Medición:** proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud.
- **Metrología:** ciencia de las mediciones y sus aplicaciones.
- **Mensurado:** magnitud que se desea medir.
- **Calibración:** operación que bajo condiciones especificadas, establece en una primera etapa, una relación entre los valores y su incertidumbre de medición asociadas obtenidas a partir de los patrones de medición y las correspondientes indicaciones con su incertidumbres asociadas, y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medición a partir de una indicación.

ANEXO C
REGISTRADOR GRAFICO

Registadores de pantalla

En la actualidad los registradores se han convertido en un instrumento clave en varios tipos de proceso, los registradores modernos no solo permiten tener un historial de lo que determinado sensor mide en planta, sino también contar con salidas que permitan tomar una acción discreta ante una señal indeseada, ya sea a través de alarmas o accionando alguna actuador o final de carrera. Esto último porque en el instrumento viene incorporado salidas de alarma.

Algunas de las características más resaltantes de estos dispositivos se listan a continuación:

-Los registradores modernos aceptan protocolos variables para lograr comunicaciones más simples, seguras y rápidas.

-Cada entrada tiene una respuesta de registro específica, lo cual se hace a través de plumillas; estas respuestas pueden ser visualizadas de acuerdo a la configuración que se tenga, en la Fig.B.1 se muestra el caso cuando las plumillas se mueven en tiempo real.

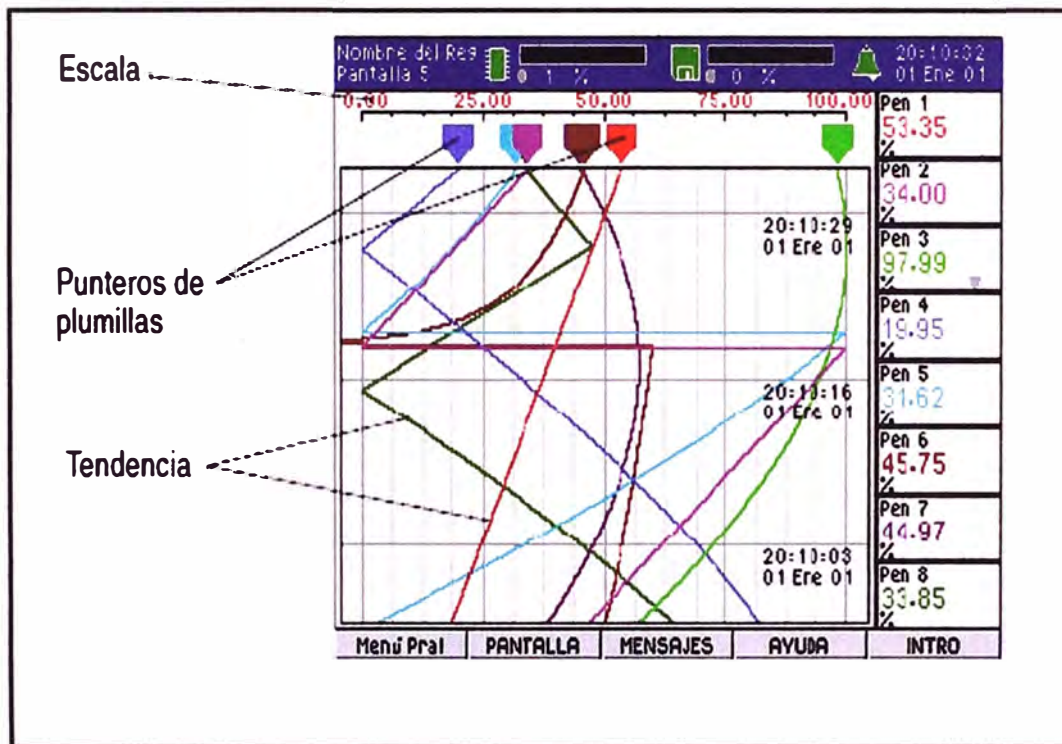
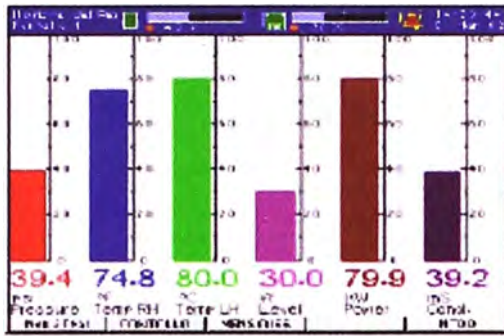
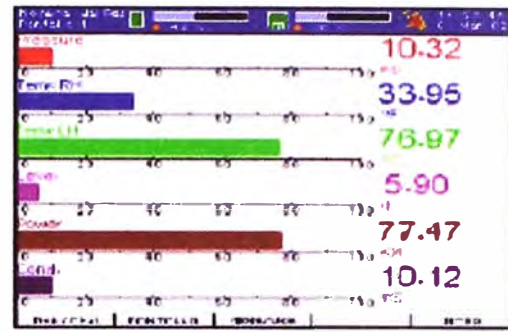


Fig. C.1 Registro en tiempo real

Adicionalmente en la Fig.B.2 se muestra otras opciones de presentar el registro de varias señales en simultaneo, en ella se muestra el detalle de hasta seis registros, pero existen registradores con una mayor capacidad de registro en pantalla. En cualquier presentación de pantalla se puede también configurar líneas o limites de alarma, es decir que ante cualquier registro fuera del rango configurado se visualice en el mismo una indicación de este suceso, y como se menciono esta visualización se puede convertir en una señal de alarma que se enviara del instrumento al actuador que se le designe o alarma.



Barras V (6 plumillas)



Barras H (6 plumillas)

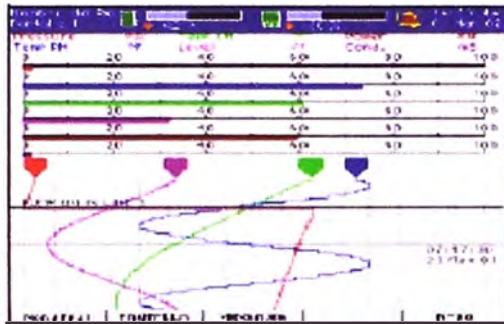
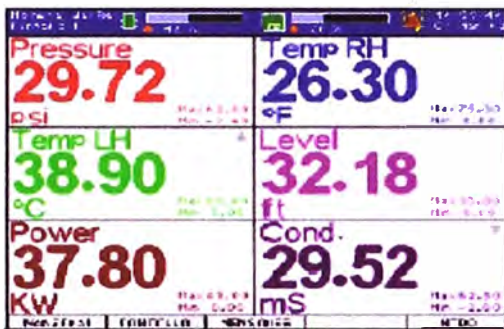


Gráfico V (6 plumillas)



Gráfico y elementos digitales (V)



Panel Digital

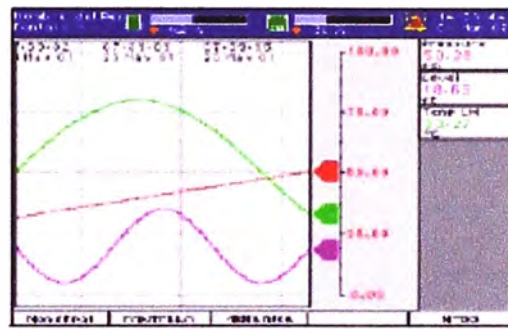


Gráfico y elementos digitales (H)

Fig. C.2 Tipos de registro en pantalla

Otra característica de importancia en los registradores modernos es que tienen operadores matemáticos incorporados en su CPU, con ello es posible tener a partir de un conjunto de mediciones de señales específicas, otras que sin ser medidas podemos mostrar en el registrador con el solo conocimiento de la operación matemática que permita su evaluación.

ANEXO D
CONCEPTOS BASICOS DE CALIBRACION

Calibración

La calibración de los instrumentos y los conceptos relacionados, están determinados por organismos de normalización internacional y de metrología. Hoy en día el personal técnico de una industria se ve involucrado con el uso de terminologías, conceptos y definiciones con el fin de mantener un Sistema de Confirmación Metroológica.

Calibración es la operación de comparar la salida de un equipo de medida frente a la salida de un patrón de exactitud conocida cuando la misma entrada (magnitud medida) es aplicada a ambos instrumentos [4]. Durante el proceso de calibración el equipo es verificado para un conjunto de puntos representativos de todo su rango de medida. Es necesario contar con un programa de calibración que indique exactamente con qué frecuencia se debe realizar la calibración de los instrumentos para asegurar su correcta medición; esto se hará teniendo en cuenta las categorías y clases listadas a continuación:

- Categoría 1: Requerimientos de calidad; en puntos críticos de control (PCC), en Lazos de medida de procesos térmicos y en puntos críticos de influencia directa en la calidad del producto.
- Categoría 2: Requerimientos operacionales; en requerimientos legales de manufactura, en supervisión de la producción y en control de los procesos.
- Categoría 3: Seguridad y medio ambiente; en instrumentación referida a elementos primarios y elementos secundarios
 - ♦ Calibración Clase A – Los instrumentos incluidos en ésta clase de calibración tienen una prioridad alta en el programa de calibración y tienen intervalos de calibración cortos.
 - ♦ Calibración Clase B – Los instrumentos tienen una prioridad promedio en el programa de calibración y tienen intervalos de calibración mayores.
 - ♦ Calibración Clase C – Los instrumentos incluidos en ésta clase tienen baja prioridad en el programa de calibración y tienen intervalos de calibración más flexibles. Generalmente se sigue la recomendación del fabricante.

Para definir los intervalos de calibración también se debe considerar las condiciones de trabajo del instrumento, teniendo en cuenta para ello la ubicación en planta; siempre es importante también la experiencia técnica y la información histórica del proceso de calibración.

ANEXO E
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

Sensor de Temperatura

Características:

Es un sistema de diseño robusto, resistente ante fuertes vibraciones y de fácil instalación, preparado para un excelente desenvolvimiento ante condiciones difíciles.

Sensor:

Elemento resistivo: 1 x Pt 100

Tolerancia Estándar: EN 60751, class B

Tipo de Circuito: 3-wire

Rango de medida: -40...200 °C

Tubo de protección: Ø 8 x 2 mm,
material 1.4571 (AISI 316-TI)

Conexión al proceso: Adjustable compression fitting, G1/2"

Material: Acero Galvanizado

Longitud Nominal: 250mm

Connection head: Type B, IP 67

Entrada de cable: Tecnología de rápida conexión

Transmisor:

Input: Pt 100 (EN 60751), 3-wire, fixed ranges

Output: 4...20 mA, temperatura lineal

Power supply: $U_s = 10.5...30$ V DC, polaridad segura

Condiciones Climáticas:

Temperatura Ambiente: -40...85 °C

Humedad Relativa: ___100 % (posible condensación)

Compatibilidad Electromagnética de acuerdo a NAMUR
NE 21, CE



Transmisor Electrónico de Caudal

Características:

Sistema de medición la presión del fluido, eficiente (medidas precisas, control superior del proceso), además de un bajo costo de mantenimiento.

Diseño robusto y estructura rígida que aseguran un alto grado de performance en las condiciones más adversas.

Sensor:

Presion : 1.08 a 64 In H2O

Temperatura Max. : 121°C

Material Diafragma: AISI 316 L ss

Fill Fluid: Silicon Oil

Precision: 0.075%

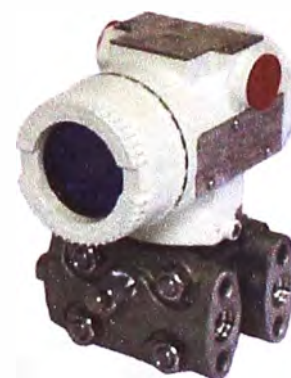
Process flanges: AISI 316 L ss (Conexión Horizontal)

Conexión: Conexión horizontal 1/2 in NPT-f direct a través de adaptador.

Gaskets: Viton

Conexión eléctrica: 1/2in NPT

Ouput: HART, comunicación digital y salidas standar de 4-20 mA.



Elemento para Medición de caudal

Tipo: Concéntrica

Diámetro de la línea: 600 mm

Placa orificio: Material acero inoxidable AISI 316 espesor de la placa

1/4", con paleta, etiqueta, empaquetadura dura de asbesto (2) comprimido

1/16" con inserción de alambre de acero, espárragos ASTM A 193

GRADO B7 pernos de levante (2) orificio de la placa concéntrica.

Bridas: Juego de Bridas tipo cuello fabricada en plancha comercial(ferro), espesor de la plancha 2",

Flange Rating: ANSI B16.5



Transmisor multivariable

Características:

Trasmisor de tipo industrial que une en un solo transmisor a tres trasmisores por separados, de precisión de +/- 0.075% reduce las posibilidades de goteo.

sensor:

span limits: 0.05 – 1.25 kpa

rango de presión estática: 0 – 6 bar

temperatura max. : 121°C

precision: 0.075%

fill fluid: silicon oil

conexión: horizontal 1/4 in npt - f – direct.

gaskets: viton.

housing material: aluminio 1/2 in npt

output: hart digital communication y 4 – 20 ma

drain / vent valve: en el eje del proceso.

lcd integrado para montaje en pared

tag plate: en sst



Transmisor de Presión

Características:

Sistema de medición la presión del fluido, eficiente (medidas precisas, control superior del proceso), además de un bajo costo de mantenimiento.

Diseño robusto y estructura rígida que aseguran un alto grado de performance en las condiciones más adversas.

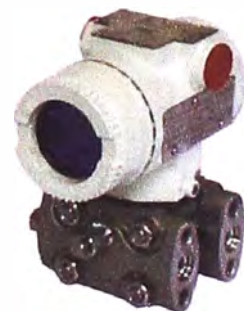
Sensor:

Presión: 1.08 a 64 In H2O

Temperatura Max.: 121°C

Precisión: 0.075%

Material Diafragma: AISI 316 L ss



Fill Fluid: Silicon Oil
 Process flanges: AISI 316 L ss (Conexion Horizontal)
 Conexión: Conexión horizontal 1/2 in NPT-f direct a través de adaptador.
 Gaskets: Viton
 Conexión eléctrica: 1/2in NPT
 Ouput: HART, comunicación digital y salidas standar de 4-20 mA.
 Material del Housing: Aleación de Aluminio

Registadores de 32 canales

El ScreenMaster es una solución simple y eficaz que ofrece la posibilidad de grabar y almacenar datos. Está provisto de 32 canales para grabar y 32 canales para entradas analógicas tipo standard. Se pueden visualizar los datos en una gran variedad de formas como cuadros, grafico de barras, indicadores digitales. Además está provisto de una memoria FLASH para asegurar el almacenamiento de los datos.

Características:

Entradas analógicas: 0-2000mV – 0-50mA
 Built Option: Standard ABB
 Active Media: Internal Flash Memory 1 Mb
 Memory adicional Incluida: 32 Mb Compact Flash card
 Power supply: 85 – 265 Vac

Analog Input :

Number of inputs: 32 inputs
 Input types: mA, mV, voltage, resistance, THC, RTD
 Thermocouple types: B, E, J, K, L, N, R, S, T
 Resistance thermometer: PT100
 Other linearizations: Raiz 2 de x, x al 3/2, x al 5/2, custom linearization
 Digital filter: Programmable 0 to 60s
 Display range: –999 to 9999
 Common mode noise rejection: >120dB at 50/60Hz with 300_ imbalance resistance



Elemento para Medición de caudal

Tipo: Concéntrica
 Diámetro de la línea: 300 mm
 Placa Orificio: de acero inoxidable AISI 316 espesor de la placa 1/8", con paleta, etiqueta, empaquetadura (2) de asbesto comprimido 1/16" de espesor, espárragos ASTM A 193 GRADO B7, tuercas exagonales ASTM A 194 GRADO 2H pernos de levante (2)
 Bridas: Juego de Bridas tipo cuello de acero forjado (CLASE300) ASTM A 105 GRADO 1



SENSOR DE NIVEL CAPACITIVO

El Pointek CLS 500 ofrece una fiabilidad superior para aplicaciones de detección de nivel bajo temperaturas hasta 400 °C (752 °F) y presión hasta 525 bar (7665 psi).



Datos técnicos

Entrada

Rango de detección	0 a 330 pF
Rango	1 pF mín.
Frecuencia de medición	420 kHz
Emisión de señal corriente de medición	NAMUR NE 43

Salida

Conmutador de estado sólido	40 V DC/28 V AC/100 m A a 2 VA máx
Bucle de corriente	4 a 20 mA/20 a 4 mA

Precisión de medida

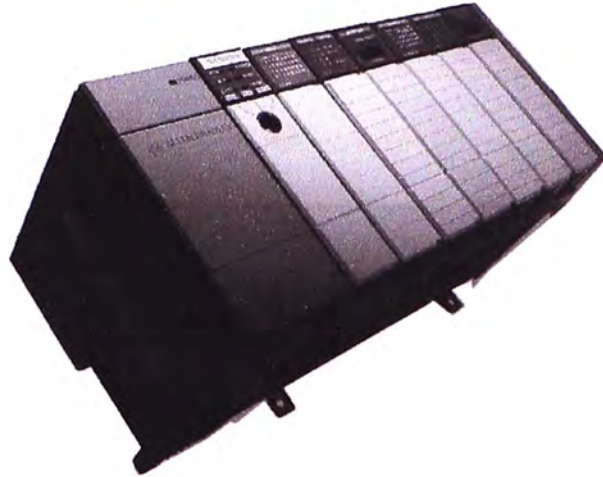
Estabilidad de la temperatura	0,15 pF (0 pF) ou <0,25% (generalmente < 0,1%) del valor de medición real, o el valor más alto para todo el rango de temperatura
No linealidad y repetibilidad	0,1% del máximo rango y del valor de medición real, respectivamente
Precisión de medida	desviación de <0,1% del valor de medición real

Condiciones de aplicación

Presión ¹⁾	
- Estándar	0 hasta 50 bar (725 psi)
- Opción	0 hasta 525 bar (7665 psi)

Condiciones ambientales

• Temperatura ambiente (transmisor)	-40 a +85 °C (-40 a +185 °F)
- Sin aislador térmico	Protección ATEX Ex: -40 a +70 °C (-40 a +158 °F) para T6, -40 a +85 °C (-40 a +185 °F) para T5 a T1
• Temperatura del medio (sonda)	
- Estándar	-200 a +200 °C (-328 a +392 °F)
- con aislador térmico	-200 a +400 °C (-328 a +752 °F)
• Categoría de instalación	II
• Grado de contaminación	4

PLC MODULAR**Especificaciones técnicas referenciales**

Descripción	Specification
Temperatura	Operating: 0...60 °C (32...140 °F)
	Storage: -40...85 °C (-40...185 °F)
Humedad	5...95% without condensation
Vibración	Operating: 1.0 g at 5...2000 Hz
	Non-operating: 2.5 g at 5...2000 Hz
Impacto	Operating: 30 g (3 pulses, 11 ms) - for all modules except relay contact
	Operating: 10 g (3 pulses, 11 ms) - for relay contact modules 1746-OWx and 1746-IOx combo
	Non-operating: 50 g, 3 pulses, 11 ms
Inmunidad al ruido	NEMA Standard ICS 2-230
Seguridad	Dielectric Withstand: 1500V ac (Industry Standard - UL 508, CSA C22.2 No. 142)
	Isolation between Communication Circuits: 500V dc
	Isolation between Backplane and I/O: 1500V ac
	Flammability and Electrical Ignition: UL94V-0
Certificación	C-UL or CSA certified
	UL Listed
	Class I, Groups A, B, C or D, Division 2
	CE marked for all applicable directives
	C-Tick marked for all applicable acts

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Arzola Guerrero, "Optimización del uso de gas de alto horno y gas de gasógeno en Sider Perú", tesis 1992.
- [2]. VIM: 1993 Vocabulario Internacional de Metrología - Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados - 3ra. Edición.
- [3]. Siemens, "Tópicos de instrumentación industrial", catalogo 2009.
- [4]. Norma Metrológica Peruana, Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales INDECOPI, 1999.
- [5]. Ramón Pallas Areny, "Instrumentos Electrónicos Básicos", Marcombo, Boixareu – Barcelona, 2006.
- [6]. William Cooper, "Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición", Prentice Hall - México, 2001.
- [7]. Normas ANSI/ISA–5.1–1984, Revisión 1992.
- [8]. Antonio Creus, "Instrumentación Industrial", Marcombo – Noviembre, 1997.
- [9]. Juan Suardiaz / Basil Al-Hadithi / Pleite, "Instrumentación Electrónica. Sensores", Koobeht - Mayo, 2005.
- [10]. Field bus Foundation, <http://www.fieldbus.org.com>
- [11]. Endress & Hauser, <http://endress.com>.
- [12]. National Instruments, <http://www.ni.com>.
- [13]. Vega, <http://www.vega.com>.