

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y MANUFACTURERA



INFORME TECNICO

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUIMICO

"Implementación del Control Químico del Proceso de
Producción de Cemento utilizando un equipo de
Rayos X"

"Administración y Control de Producción de una
Planta de Selección de Escoria Siderúrgica"

PRESENTADO POR:

WALTER HERNAN MORENO ARANA

PROMOCION: 90-1

UNI, JUNIO DE 1999

Dedicatoria:

A mis padres

A mi abuela

A mi esposa e hija

Este es el resultado de su apoyo

	Página
D.2.- Cantidad y tipo de personal administrado	16
E.- Objetivo, alcances y características principales de cada actividad	16
F.- Desarrollo y sustentación de los conceptos fundamentales de la asesoría, investigación y desarrollo del proyecto	18
F.1.- Conceptos fundamentales	18
F.2.- Aplicación de método de análisis por Rayos X al control químico del proceso de producción de Cementos Pacasmayo SAA	19
F.2.1.- Materia Prima utilizada en el proceso de fabricación	19
F.2.2.- Metodología del análisis por Rayos X para el control químico del proceso	22
F.2.2.1.- Muestreo	23
F.2.2.2.- Preparación de la muestra	23
F.2.2.3.- Análisis por Rayos X	24
F.2.2.3.1.- Calibración del equipo de Rayos X	24
F.2.2.3.2.- Resultados de las calibraciones obtenidas	25
F.3.- Aplicación del control químico por Rayos X a la producción de Cementos Pacasmayo SAA.	56
F.3.1.- Requerimiento de control químico de la producción de cemento	56
F.3.2.- Implementación de control químico por Rayos X	62
F.4.- Aplicación del QCX en el control de la elaboración del crudo	80
G - Conclusiones	86
SEGUNDA ACTIVIDAD (Administración y Control de Producción en una Planta de Selección de Escoria Siderúrgica)	83
A.- El Organismo Empresarial	84
A.1.- Nombre o razón social de la empresa	84
A.1.1.- Dirección	84
A.2.- Sector al cual pertenece	84
B.- Relación Profesional-Empleador	84
B.1.- Condición	84
B.2.- Documentos Probatorios	84
C - Trabajo Profesional Desarrollado	85
C.1.- Cargo desempeñado	85
C.2.- Funciones asignadas al cargo desempeñado	85
C.2.1.- Supervisión Operativa	86
C.2.2.- Supervisión Administrativa	86

	Página
D.- Funciones desempeñadas que necesitaron conocimiento de técnicas profesionales	87
D.1.- Tipo de técnicas de ingeniería necesarias	87
D.2.- Cantidad y tipo de personal administrado	87
E.- Objetivos alcances y características principales de la actividad	88
E.1.- Selección de escoria siderúrgica para adición al cemento	88
E.1.1.- Objetivos	88
E.1.2.- Características principales	88
F.- Desarrollo y sustentación de los conceptos fundamentales de la asesoría	93
Desarrollo de la actividad	
F.1.- Conceptos fundamentales	93
F.1.1.- El cemento portland de escoria	93
F.1.2.- La escoria granulada	93
F.1.3.- Características de la escoria de Sider-Peru	94
F.1.3.1.- Composición química y mineralógica	94
F.1.3.2.- La actividad hidráulica	95
F.1.3.3.- Cementos de escoria – Características y ventajas del uso de escoria	96
F.2.- Desarrollo de la actividad	98
F.2.1.- Identificación de la escoria de Sider-Peru	98
F.2.1.1.- Ubicación	98
F.2.1.2.- Reservas aprovechables	98
F.2.1.3.- Tipos de escoria disponible	98
F.2.1.3.1 Escoria 'Cerro'	98
F.2.1.3.2 Escoria 'Fresca'	99
F.2.2.- Planta de Selección de Escoria CPSAA	100
F.2.2.1.- Ubicación de la Planta	100
F.2.2.2.- Descripción de la planta de Selección de Escorias	100
F.2.3.- Operaciones en la planta de selección de escoria	102
F.2.3.1.- Preparación de Escoria	102
F.2.3.2.- Operaciones de Carguío y Acarreo en la Planta de Selección de Escoria	102
F.2.3.3.- Alimentación a la Planta	103
F.2.3.4.- Zarandeo de la Escoria	103
F.2.3.5.- Separación Magnética	103
F.2.3.6.- Operación de Secado	104

I INTRODUCCION

Vivimos en un mundo lleno de cambios que nos obligan a ser más competitivos, más conscientes de una realidad ya no solo nacional sino internacional en un contexto globalizado.

Iniciamos un proceso de cambio y afrontamos una nueva competencia que tiene como objetivo **la calidad**, y esta no se limita únicamente a los productos sino también a la calidad de vida. Porque la calidad no es un conocimiento sino una cultura.

Al mejorar la calidad del producto, se logra elevar la productividad y reducir los costos de producción.

El presente trabajo consta de dos experiencias que se realizaron en la planta de Cementos Pacasmayo S.A.A.

La primera trata de la implementación del control químico del proceso de producción de cemento utilizando un equipo de Rayos X, que permite el manejo automático de la producción de crudo por un programa especializado QCX y la mejora en nuestros estándares de calidad y estabilidad en el proceso.

La segunda actividad trata de la administración y control de producción en una planta de Selección de Escorias Siderúrgicas.

Estas dos actividades se basaron en la aplicación de las estrategias mencionadas anteriormente, las cuales conllevan a enormes ahorros de recursos y capital para mejora y aumento de la rentabilidad.

II ACTIVIDAD PROFESIONAL

A.- El órgano empresarial

Cementos Pacasmayo S.A.A. se dedica a la producción de Cemento Portland Tipo I, MS y Tipo V también ha incursionado en la producción de Cal Viva y bloques de Cemento. La empresa inició sus operaciones en 1957 y siempre se caracterizó porque su producción es controlada rigurosamente bajo un estricto control de calidad que asegura y sobrepasa ventajosamente lo exigido por normas nacionales e internacionales.

A.1. Nombre o Razón Social de la Empresa, Dirección

Cementos Pacasmayo S.A.A. se encuentra en el Departamento de la Libertad,

Provincia de Pacasmayo, distrito de Pacasmayo. Se encuentra ubicada en el Km 667 de la Carretera Panamericana Norte.

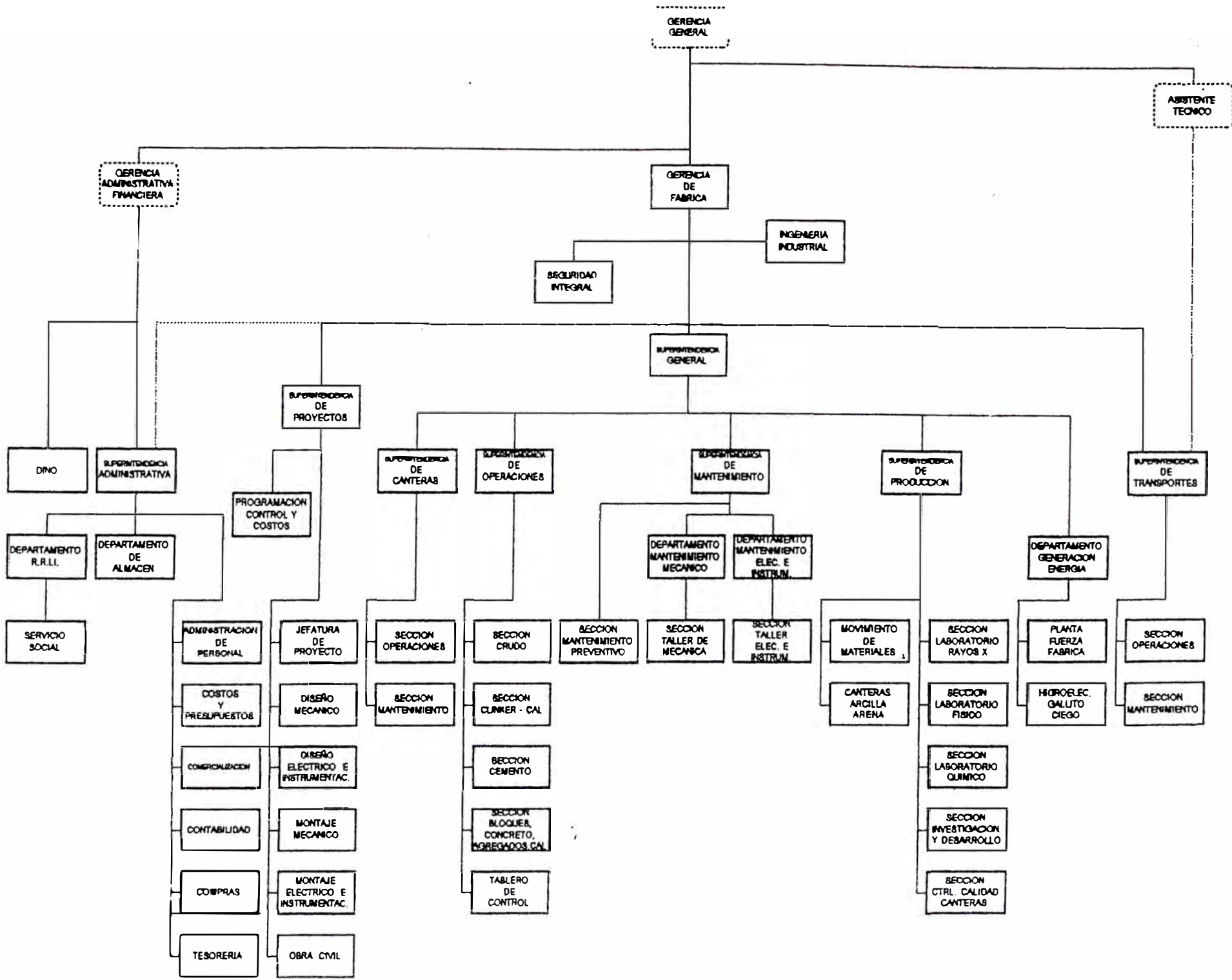
A.2. Sector al cual pertenece

Cementos Pacasmayo S.A.A. pertenece Al II Sector de la Economía: Industria de los No Metálicos.

A.3. Estructura Orgánica

La empresa presenta una organización lineal, funcional, vertical y con sistema de comunicación bilateral y horizontal.

El organigrama estructural de la empresa se presenta a continuación en el cual se muestra en forma general la ubicación de las Secciones y Gerencia.



A continuación explicaremos las funciones que cumple cada área:

Gerencia de Planta

Es responsable de mantener una alta tasa de producción y reducción de costos en forma continua a todo nivel.

Para el logro de estos objetivos y en coordinación con las Superintendencias elabora el planeamiento de las estrategias, establece políticas para el proceso productivo y movimiento de económico de Planta.

Reporta a la Gerencia General y tiene bajo su mando a las Superintendencias de fábrica

- **Superintendencia General de Operaciones**

Esta en continua coordinación con Gerencia de Planta y reporta a la misma sirviendo de nexo entre la Gerencia y las demás Superintendencias. Además supervisa el cumplimiento de las políticas y estrategias establecidas.

- **Superintendencia de Producción**

Establece y coordina los parámetros de calidad bajo los cuales se debe desarrollar el proceso productivo. Los ingenieros de sección son los encargados de desarrollar y supervisar el cumplimiento de estas condiciones de calidad en las que debe encontrarse la producción.

Tiene a su cargo todo el Control de Calidad, controla además el movimiento y stock de materias primas involucradas directamente con la producción dentro de planta, elabora y ejecuta la programación de la producción para cada línea productiva. Es responsable de la calidad del crudo que permita lograr la utilización de la menor cantidad de energía posible en el momento de la calcinación en el horno.

- **Superintendencia de Mantenimiento**

Es responsable de lograr el correcto y permanente funcionamiento de cada unidad operativa de la planta, coordina el mantenimiento preventivo y correctivo con sus ingenieros de sección. En estrecha coordinación con la Superintendencia de Producción y Operaciones se optimiza el rendimiento de los equipos estableciendo los controles necesarios con el fin de obtener la mayor productividad de cada unidad.

- **Superintendencia de Operaciones**

Es responsable y tiene por objetivos lograr la optimización de cada unidad operativa coordina con sus ingenieros de sección la mejora y aumento de la capacidad de cada línea. Elabora y ejecuta las estrategias bajo las cuales debe lograr el aumento de producción y optimización de la misma. Coordina estrechamente con las Superintendencias de Producción y Mantenimiento, la programación de la producción.

- **Superintendencia de Transportes**

Es responsable de suministrar las unidades de transporte para el abastecimiento de materia prima, desde las canteras (Tembladera) a la planta (Pacasmayo) además tiene a su cargo el control y planeamiento del mantenimiento de las unidades operativas y maquinaria pesada al servicio de la fábrica y maquinaria pesada de planta de bloques y molienda de cal.

- **Superintendencia de Canteras**

Tiene bajo su responsabilidad el planeamiento y ejecución de las operaciones de explotación y minado de las canteras de Caliza y Arcilla. Coordina con la Superintendencia de Producción los requerimientos de calidad y volumen de los materiales que necesita el proceso en fábrica.

- **Superintendencia de Administración**

Controla el movimiento económico en la planta como planillas, contratos, compras, movimientos de almacén, despacho de cemento, cal y ladrillos de cemento. Tiene a su cargo el área de Relaciones Industriales y Servicio Social. Coordina con la Superintendencia de Producción las compras de minerales y combustibles. Supervisa el mantenimiento de áreas verdes y la zona residencial de los funcionarios de la fábrica.

A4. Líneas de Producción

Debido al continuo cambio en la tecnología de la producción de clinker, la compañía fue renovando sus líneas por lo que en la actualidad cuenta con dos hornos (Línea Horno 2 y Línea Horno 3), un horno transformado a la producción de Cal Viva (Horno 1), una Planta de Selección de Escoria Metalúrgica que se ubica en Sider-Perú (Chimbote) y una Planta de Fabricación de Ladrillos de Cemento, Concreto y Agregados

A.4.1. Línea Horno 2

Produce clinker a razón de 600 TMPD con un consumo energético de 900 Kcal/kg. de clinker.

A.4.2. Línea Horno 3

Produce clinker a razón de 2500 TMPD con un consumo energético de 790 Kcal/kg. clinker

A.4.3. Línea Horno 1

Produce Cal Viva de tamaños menores a 1" y se logra una producción de 250 TMPD de cal a granel.

A.4.4 Línea de Selección de Escoria Siderúrgica

Produce más de 920 TMPD de Escoria Siderúrgica seleccionada en una Planta de zarandeo, la cual posee también un separador magnético para la eliminación de metales.

A.4.5. Línea de producción de Ladrillos de Cemento

Produce bloques o ladrillos de Cemento a razón de 50,000 unidades por día. También esta en capacidad de producir concreto a razón de 450 m³/día y agregados a razón de 1500 TMPD

A.5 Layout de las unidades de producción

En el apéndice C se muestra la distribución de las unidades operativas de la planta

B.- Relación Profesional - Empleador

B.1 Condición (contratos, Nombramientos, otros)

Contrato del 11/Mayo/92 al 11/Mayo/93 bajo el sistema de contratos de trabajo a plazo fijo, al amparó del D.L. 22342

Nombramiento del 11/Mayo/93 a la fecha bajo el sistema de servicio a tiempo completo

B.2 Documentos Probatorios

Se adjunta reproducciones de los documentos que acreditan lo mencionado anteriormente en el apéndice B.

C.- Trabajo Profesional desarrollado

C.1 Cargo desempeñado

- Jefe de Sección Control de Calidad
- Jefe de Sección Producción
- Jefe de Laboratorio Rayos X
- Jefe de Planta Selección de Escoria Siderúrgica

Actualmente responsable de:

- Control de Calidad
- Planta Selección de Escoria
- Unidad de producción de Cal

C.2 Funciones asignadas al cargo desempeñado

Las funciones asignadas a cada cargo desempeñado fueron:

- Jefe de Sección Control de Calidad

- Supervisión del control de calidad de las líneas de producción.
- Implementación de nuevos y más rápidos métodos de análisis químico.
- Administración de reactivos, materiales y equipos de Laboratorio.
- Evaluación y calibración de equipos.
- Capacitación, evaluación, control y administración de personal
- Establecimiento de estándares de calidad.
- Elaboración y ejecución de las estrategias de control para las líneas de producción
- Administración y ejecución de los servicios que presta Control de Calidad

- Jefe de Sección Producción

- Control y administración de operaciones del movimiento de materiales.
- Supervisión y administración de manejo de materiales.
- Evaluación de personal.
- Administración de la maquinaria pesada en planta.
- Establecimiento de estándares de producción.
- Optimizar el rendimiento de las líneas de producción.
- Planeamiento, ejecución y control de la producción.
- Ejecución de programas de producción por campañas (cal, clinker tipo V).

- Jefe de Sección responsable de Control de Calidad por Rayos X

- Planeamiento y ejecución del Control de calidad a las líneas de producción para garantizar la adecuada estabilidad del proceso
- Programación y calibración del equipo de Rayos X para analizar los materiales del proceso.
- Elaboración de los estándares de preparación de muestras y análisis.
- Elaboración y ejecución de los programas de mantenimiento del equipo de Rayos X.
- Control y supervisión de la operación de los equipos auxiliares de la unidad de Rayos X.
- Evaluación y capacitación integral del personal.
- Programación operación y control del QCX para la producción de crudo y cemento.
- Evaluación permanente de los parámetros de control por QCX.
- Programación de QCX para las campañas de producción de clinker especial.

C.3. Tiempo de Prestación de Servicios en la actividad descrita

El tiempo de servicio para cada actividad desempeñada fue:

- Jefe de Sección Control de Calidad

Del 11/Mayo/92 al 12/Diciembre/94

- Jefe de Sección Producción

Del 13/Diciembre/94 al 04/Enero/96

- Jefe Sección Producción: responsable de Control de Calidad por Rayos X

Del 05/Enero/96 a la fecha

- Jefe Sección Producción: responsable de la Planta de Selección de Escoria

Del 19/Julio/97 a la fecha

- Jefe de Sección Producción: responsable de Producción de Cal Viva

Del 10/12/97 a la fecha

D. Funciones desempeñadas que necesitaron el conocimiento de técnicas profesionales

D.1 Tipos de Técnicas de Ingeniería

- Análisis Químico Cuantitativo y Cualitativo
- Análisis Químico Instrumental
- Química Inorgánica
- Estadística
- Ingeniería de Métodos
- Control de procesos
- Instrumentos de Control
- Economía de los procesos
- Balance de Masa y Energía
- Transferencia de Cantidad de Movimiento, Calor y Masa
- Planeamiento y Control de la Producción
- Tratamiento de aguas
- Operaciones en Ingeniería Química.

D.2. Cantidad y tipo de personal administrado

- Personal Control de Calidad
Personal Técnico 02 personas
Personal Obrero 07 personas
- Personal de Planta
Personal Obrero 07 personas
- Personal de Rayos X
Personal Obrero 04 personas

E. Objetivos, alcances y características principales de cada actividad

La primera actividad tiene como propósito implementar el control químico instrumental a través de un equipo de Rayos X (control moderno) en lugar del control químico del proceso manual, por análisis gravimétrico (control tradicional).

El trabajo de implementación de este control demanda:

- Definición de los puntos de muestreo
- Estudio de tiempos para el muestreo
- Frecuencia de muestreo en cada punto que exige la Superintendencia de Producción.
- Estudio de tiempos de preparación de pastillas para análisis por Rayos x
- Optimización de los parámetros de preparación de pastillas
- Calibración del tiempo de molienda de la muestra
- Calibración de la presión y tiempo de prensado de las pastillas
- Calibración de los programas de análisis para toda la materia prima, productos en proceso y productos terminados

Dentro de las características de este control están su rapidez de respuesta frente a los requerimientos del proceso, la casi nula variabilidad entre el análisis de una misma muestra y la total exactitud respecto a los resultados que reporta.

La segunda actividad desarrollada en el presente informe evalúa la administración de una planta de Selección (zarandeo) de Escoria Siderúrgica.

La escoria siderúrgica por sus características físicas, necesita pasar por un proceso de selección, el cual se realiza mediante zarando para separar los contaminantes metálicos gruesos que ésta arrastra del proceso siderúrgico, y luego pasa por un proceso de selección magnética para extraer la totalidad del material metálico muy fino que aún contiene.

La administración de esta Planta demandó tener como objetivo el incremento de la producción de la misma para poder abastecer los requerimientos de la producción de cemento adicionado MS.

Dentro de los alcances logrados podemos mencionar:

- El incremento de la producción mediante el logro de la estabilidad de operación de la planta
- Programación de labores de mantenimiento que asegura una operación constante y reduce las horas de parada e incrementa el tiempo de duración de los equipos.
- Mejora en las operaciones de movimiento de materiales que aseguren un adecuado flujo de los mismos para la reducción de los tiempos para cada actividad de los operadores
- Modificación de equipos para lograr el objetivo deseado
- Implementación de equipos auxiliares para disminuir el servicio de otros que son principales y alargar el tiempo de operación de estos.
- Ahorro en el proceso secado de la escoria con la implementación de secado por aireación natural que permitió ahorrar aproximadamente un millón de dólares en la implementación de un horno secador.

F.- Desarrollo y sustentación de los conceptos fundamentales de la asesoría, investigación, y desarrollo del proyecto

F.1. - Conceptos fundamentales

Hay una tendencia al incremento de la automatización en los procedimientos de control de calidad en la industria cementera, el grado de automatización puede variar desde la automatización de un solo equipo de ensayo hasta un complejo sistema integrado **on-line**.

En la industria de cemento portland, conocer la composición química de la materia prima, productos intermedios, y producto final es de vital importancia tanto para el desarrollo del proceso como para obtener un producto que cumpla con las especificaciones técnicas deseadas (ver Apéndice A).

Los elementos de interés para la fabricación del cemento portland se dividen en dos partes, los principales Si, Al, Fe y Ca y los secundarios Mg, S, Na y K que acompañan a los minerales de la materia prima (**ver Apéndice A**).

Todos estos elementos principales y secundarios se encuentran conformando carbonatos, óxidos, sulfatos, silicatos aluminatos, sulfuros, etc. en diferentes formas mineralógicas. Estos compuestos ingresan al proceso en adecuadas proporciones para transformarse en clinker, constituido principalmente por fases minerales muy importantes.

La Espectrometría por Fluorescencia de Rayos X, tiene gran aplicación en la industria del cemento portland contribuyendo al control de calidad, control químico del proceso y la investigación (**ver Apéndice E**). Este método de análisis ha venido evolucionando en su desarrollo para lograr avances en simplicidad de manejo, conseguir menos efectos de interferencias por matriz, mayor velocidad, exactitud y una mejor economía de operación.

F.2 Aplicación del método de análisis por Rayos X al control químico del proceso de producción de Cementos Pacasmayo S.A.A

F.2.1 Materia Prima utilizada en el proceso de fabricación.

En la producción de Cemento Portland se transforma una mezcla de minerales naturales en una mezcla íntima de minerales sintéticos que posee las propiedades hidráulicas requeridas.

Minerales Naturales $\xrightarrow[\text{tiempo (t), presión (p)}]{\text{Temperatura (T)}}$ **Minerales Hidráulicos Sintéticos**

Este proceso es similar al que ocurre durante la transformación de rocas sedimentarias en metamórficas, con excepción que el tiempo (t) es mucho más corto y la presión (p) es solamente 1 bar. En consecuencia se requiere una temperatura elevada.

El cemento es un material con propiedades hidráulicas, que está conformado principalmente por fases cristalizadas de Silicato Tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), Silicato Dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), Aluminato Tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) y FerroAluminato Tetracálcico ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) (**ver Apéndice A**).

Para la formación de dichas fases los Oxidos que las conforman deben ser tomados de la materia prima que se han seleccionado de acuerdo con las características del tipo de cemento que se quiera producir.

La materia principal es la Caliza, dando el aporte de CaO , SiO_2 , Fe_2O_3 y Al_2O_3 ; (**ver Apéndice A**). para obtener un clinker deseado, siendo necesario el uso de materiales correctivos que puedan cubrir la deficiencia de algunos de estos óxidos.

En el caso de Cementos Pacasmayo SAA se utilizan cuatro componentes para la preparación de la mezcla cruda; Caliza, Arcilla, Mineral de Hierro y Arena. Estos cuatro materiales combinados en proporciones adecuadas darán lugar en primera instancia a la Harina Cruda, que al ser calcinada y sinterizada en el Horno producirá el Clinker y éste al molerse conjuntamente con el Yeso formará el Cemento Portland (**ver Apéndice A**).

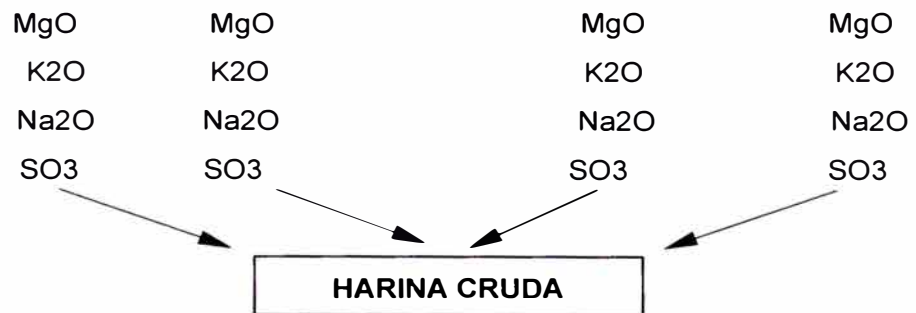
El esquema muestra en un diagrama de bloques todos los materiales que intervienen en el proceso de producción.

MATERIA PRIMA

Componentes Principales

CaO	CaO	CaO	CaO
SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂
Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
CALIZA	ARCILLA	ARENA	HIERRO

Componentes Secundarios



Módulos de Control

Fig. Nº 1. - Esquema que muestra la materia prima principal y sus elementos de interés

El diseño de las proporciones de mezcla se basa en las siguientes fórmulas empíricas de los módulos de control:

$$\text{Saturación de Cal} = 100 \cdot \text{CaO} / (2.8 \cdot \text{SiO}_2 + 1.18 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 0.65 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

$$\text{Módulo de sílice} = \text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

$$\text{Módulo de Alúmina} = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3$$

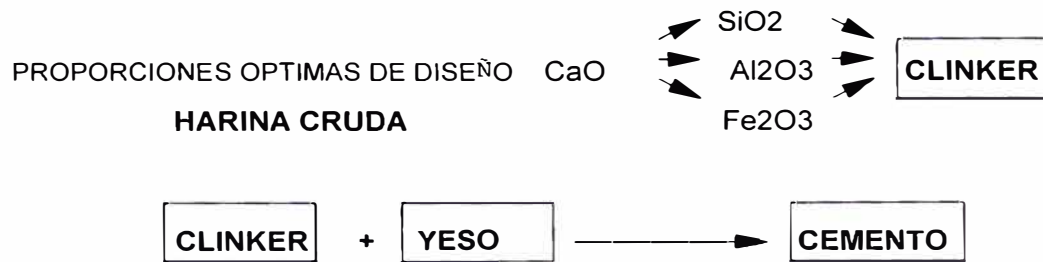


Fig. N° 2. - Diagrama que resume la obtención de Cemento Portland

Fases Minerales

C3S	→	(3CaO.SiO ₂)	Silicato Tricálcico*
C2S	→	(2CaO.SiO ₂)	Silicato Bicálcico*
C4AF	→	(4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃)	Ferroaluminato Tetracálcico*
C3A	→	(3CaO.Al ₂ O ₃)	Aluminato Tricálcico*

Oxidos C = CaO; S = SiO₂; A = Al₂O₃; F = Fe₂O₃

*Las fases minerales son resultado de la calcinación del crudo en el horno. La fase más importante es el C3S (ver Apendice A)

Fórmulas de Bogue (Cálculo Potencial)

$$\mathbf{C3S} = 4.071 \text{ CaO} - 7.6 \text{ SiO}_2 - 6.718 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1.43 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 2.852 \text{ SO}_3$$

$$\mathbf{C2S} = 2.867 \text{ SiO}_2 - 0.754 \text{ C3S}$$

$$\mathbf{C3A} = 2.65 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1.692 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

$$\mathbf{C4AF} = 3.04 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

F.2.2.- Metodología del Análisis por Rayos X para el control químico del proceso.

Todo equipo de Rayos X mide intensidades. Las concentraciones son obtenidas solo una vez que el instrumento ha sido calibrado.

Finalmente un equipo de Rayos X es un comparador de gran exactitud debido a que en la memoria de su computador existen **curvas de calibración** (ver **Apendice D**) hechas antes de efectuar análisis de muestras desconocidas.

Un análisis de Rayos X es la suma de una serie de pasos que deben hacerse de la forma más exacta y definida posible para evitar errores por variación de procedimientos y normas. Esto permitirá asegurar la continuidad y la certeza del control

Un análisis de muestras desconocidas pasa por las etapas que señala el esquema siguiente:

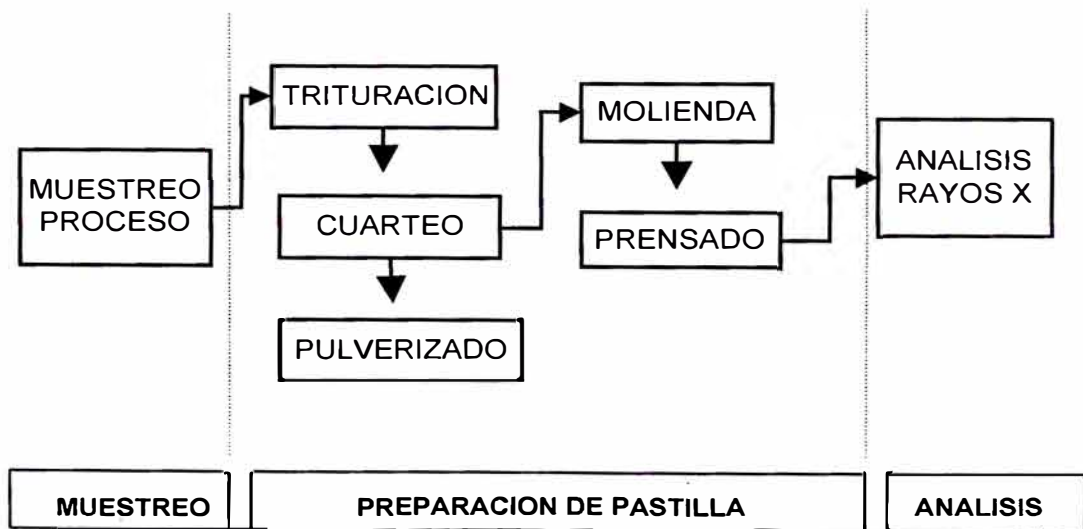


Fig N° 3. - Esquema que muestra el proceso de preparación de muestras en Rayos X

F.2.2.1.- Muestreo

El muestreo es la etapa más importante del control por Rayos X, decisiva para obtener un resultado real de lo que sucede en el proceso.

La muestra de cada material a analizarse dependiendo del punto de muestreo llegará hasta el laboratorio de preparación de muestras para pasar a la etapa de preparación.

F.2.2.2 Preparación de la muestra

La preparación de la muestra es otro de los pasos de características fundamentales del control.

En ésta se procederá, si la muestra lo requiere, al cuarteo, trituración y pulverización y en todos los casos molienda conjunta con 1 gr de parafina para proporcionar plasticidad a y compacidad a la mezcla en el momento de prensarse.

La etapa de preparación incluye equipos de reducción de tamaño tales como chancadoras para la trituración, cuarteadores y pulverizador de discos giratorios y una prensa tabletas para la fabricación de la pastilla que se llevará a analizar.

Dentro de la etapa de preparación, la molienda y prensado son los pasos que definirán los resultados finales del control por lo que es necesario optimizar el tiempo de molienda de la muestra de tal manera que se logre la mayor superficie de la misma expuesta a los Rayos X (**ver Apendice E**), estos pasos se explican más adelante.

F.2.2.3 Análisis por Rayos X

Un análisis por rayos X requiere de un programa previamente calibrado analítico tal que defina el tiempo de análisis, la intensidad y voltaje de los rayos X, los elementos que van a analizar, las características de las líneas de Rayos X a usar para la medición, curvas de calibración para la medición de las intensidades, y otros parámetros más (*ver Apendice E*).

El programa de Rayos X hace posible la creación y modificación de un programa analítico, se pueden realizar mediciones de muestras estándares y desconocidas.

Para muestras estándares el programa mide las intensidades, mientras que para muestras desconocidas puede calcular las concentraciones basadas en la curva de calibración hecha con los estándares, y que previamente ha sido grabada en el programa analítico.

Para obtener las curvas de calibración (*ver Apendice D*) es necesario encontrar estándares de calibración. Estas muestras estándar son aquellas cuya composición cubrirá ampliamente el rango de variabilidad que tienen los diferentes tipos de materiales que se van a controlar en el equipo.

F.2.2.3.1.- Calibración del equipo de Rayos X

La calibración es un paso muy importante para lograr resultados confiables, consiste en establecer una curva con muestras estándar, donde la concentración de los componentes es conocida versus las Intensidades netas medidas a dichos componentes (*ver Apendice D*)

F.2.2.3.2.- Resultados de las calibraciones obtenidas

El proceso de calibración del equipo de Rayos X comprende varias etapas que comprenden los siguientes pasos:

1. Análisis químico de las muestras estándar
2. Optimización del tiempo de molienda de las muestras estándar
3. Preparación de las pastillas para la calibración
4. Obtención de las curvas de calibración del equipo con los estándares

A continuación desarrollamos cada uno de los pasos mencionados:

1. Análisis Químico de las muestras estándar

Objetivo

El análisis químico de las muestras estándar es el resultado final de un proceso de búsqueda y selección de las muestras que se consideren ideales para cubrir el rango de variabilidad de los distintos tipos de materiales que el proceso considera (Materia Prima, Productos Intermedios, Producto Final).

Este análisis químico tiene que hacerse por un laboratorio reconocido internacionalmente de tal manera que acredite la exactitud de sus análisis. En el caso de Cementos Pacasmayo S.A.A. se eligió a los Laboratorios de la compañía FLS Automation en Dinamarca.

Resultados

- Muestras de materia prima productos en proceso y productos terminados que se presentaron para la selección de los estándares de calibración. Producto de dicha selección se enviaron a los laboratorios de **FLS Automation** (Dinamarca) solo un grupo de ellas (ver **Tablas N° 1A, 1B, 1C y 1D**)
- Muestras seleccionadas y analizadas por **CPSAA** para enviar a los laboratorios de **FLS Automation** (Dinamarca) fueron las que se adjuntan en las Tablas (Ver **Tablas N° 2A, 2B y 2C**)
- Los análisis químicos definitivos empleando fluorescencia de Rayos X para elementos principales, de las muestras que servirán de patrones de calibración del equipo de RayosX y analizadas en los laboratorios de por **FLS Automation** (ver **Tablas N° 3 a N° 15**)

Los métodos de análisis empleados por FLS Automation para cada muestra seleccionada fueron como indicamos a continuación:

- **SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O**

Rayos X (perlas fundidas)

- **S** (total) multiplicado por 2.5 y convertido como SO₃ en la calibración

Analizador LECO de azufre

- **LOI a 1000° C** (pérdida al fuego) —————> Según Estándar Internacional

2. Optimización del tiempo de molienda de las muestras estándar

Objetivo

Para la preparación de la pastilla o tableta que contenga la muestra es necesario efectuar una molienda conjunta de una cantidad de muestra (14 grs) y otra de parafina (1 gr)

Los nuevos Laboratorios de Rayos X en Cementos Pacasmayo SAA. están implementados con modernos equipos de preparación de muestras, estos son un Molino Vibratorio Marca Herzog HSM 100 para hacer la molienda conjunta de la muestra y la parafina y un a Prensa para la preparación de la pastilla marca Herzog HTP40.

La molienda se efectúa en el Molino Herzog HSM 100 de Laboratorio. La finalidad es hacer que la muestra exponga su mayor área superficial posible para la exposición a los Rayos X. Esto se logra moliéndola muy finamente para incrementar el área superficial.

Luego de la molienda la muestra procesada pasa a una prensa Herzog HTP 40 donde se obtiene la pastilla prensada a 15 toneladas durante 60 segundos, conformando una masa sólida de extraordinaria dureza y superficie perfectamente plana, esta superficie recibirá el haz de Rayos X y será definitiva para el logro de la exactitud de los análisis.

Para empezar a trabajar en el control de Rayos X es fundamental encontrar el tiempo óptimo de molienda y prensado. El tiempo óptimo de molienda será aquel que reproduzca exactamente el análisis del certificado de la muestra estándar escogida como se muestra en los gráficos que a continuación siguen.

(Vea Gráficos N° 1 al N° 6)

Tabla: 1A

MUESTRAS PARA SELECCIONAR ESTANDARES DE CALIBRACION

ARCILLA

	% SiO ₂	% Fe ₂ O ₃
ARC 1	63.24	6.30
ARC 2	61.96	7.92
ARC 3	57.02	6.84
ARC 4	71.10	4.76
ARC 5	58.92	7.40
ARC 6	64.62	10.54
ARC 7	57.08	6.88
ARC 8	63.76	7.92
ARC 9	64.74	7.50
ARC 10	56.34	4.80
ARC 11	61.12	7.32
ARC 12	60.00	7.65
ARC 13	60.26	8.80
ARC 16	63.34	8.68
ARC 18	55.96	6.88
ARC 19	56.04	6.32
ARC 20	63.28	6.72
ARC 21	58.48	5.40
ARC 22	72.62	5.26
ARC 24	53.84	7.28
ARC 26	57.84	2.80
ARC 27	68.68	4.48
ARC 28	44.60	13.84
ARC 29	55.78	6.64
ARC 30	60.04	7.60
ARC 31	72.04	5.20
ARC 32	55.38	8.32
ARC 34	55.28	10.00
ARC 35	58.44	7.54

CALIZA

	% Ca CO ₃
CAL 1	74.70
CAL 2	89.40
CAL 3	95.40
CAL 4	89.20
CAL 5	88.20
CAL 6	93.70
CAL 7	93.50
CAL 8	87.90
CAL 9	96.70
CAL 10	94.30
CAL 11	94.20
CAL 1E	73.00
CAL 2E	89.50
CAL 3E	85.00
CAL 4E	92.70
CAL 5E	75.20
CAL 6E	82.80
CAL 7E	90.50
CAL 8E	89.70
CAL 9E	91.20
CAL 10E	90.20
CAL 11E	82.80
CAL 12E	81.30

ARENA

	% SiO ₂	% Fe ₂ O ₃
ARE 1	70.12	4.25
ARE 2	65.20	4.80
ARE 4	68.96	6.00
ARE 5	77.16	6.40
ARE 6	72.80	4.00
ARE 8	69.72	4.80
ARE 10	66.20	7.36
ARE 11	66.48	6.64
ARE 12	73.76	6.64
ARE 13	76.72	5.12
ARE 14	70.92	4.80
ARE 15	73.16	3.60

Tabla: 1B

MUESTRAS SELECCIONADAS PARA ELEGIR ESTANDARES DE CALIBRACION

HIERRO

	% SiO ₂	% Fe ₂ O ₃
HIE2	17.30	61.60
HIE3	26.00	52.00
HIE5	20.10	53.50
HIE6	13.10	71.00
HIE7	5.90	79.60
HIE8	26.80	45.20
HIE9	18.90	68.50
HIE10	8.10	82.40
HIE13	16.10	59.00
HIE14	3.80	84.40
HIE17	25.30	42.00

CRUDO ALIMENTACION TIPO I

	% Ca CO ₃	% Fe ₂ O ₃
CI2	75.00	1.78
CI3	78.70	1.86
CI4	72.00	1.60
CI5	70.20	3.08
CI6	77.00	1.56
CI7	77.60	1.98
CI8	76.00	1.98
CI9	78.00	2.10
CI10	79.00	2.34
CI11	74.00	2.08
CI15	77.00	1.92
CI16	79.00	2.24

CRUDO ALIMENTACION TIPO V

	% Ca CO ₃	% Fe ₂ O ₃
CV1	81.00	3.92
CV2	78.00	4.12
CI6	79.00	4.52
CI7	78.60	4.60
CI8	78.60	4.20
CV9	78.00	4.44
CV10	76.50	4.52
CI12	77.00	4.31
CI13	76.00	4.16
CI14	75.00	4.36

PUZOLANA

	% SiO ₂	% Fe ₂ O ₃
PZ1	45.26	21.00
PZ2	37.88	21.40
PZ3	39.82	20.76
PZ4	38.48	20.80
PZ5	42.22	16.96

Tabla: 1C

MUESTRAS SELECCIONADAS PARA ELEGIR ESTANDARES DE CALIBRACION

CLINKER TIPO 1

	% SiO2	% Al2O3	% Fe2O3	% CaO	% CaO(f)
KI 1	22.02	6.08	3.40	64.22	1.10
KI 3	21.92	6.68	3.58	64.80	1.34
KI 4	21.92	6.44	3.52	64.36	1.00
KI 5	22.20	6.40	3.36	64.44	0.52
KI 6	21.08	6.10	3.52	64.74	0.39
KI 7	21.52	6.10	3.30	64.68	0.70
KI 8	22.42	6.02	3.30	64.68	0.56
KI 9	22.04	5.88	3.32	64.80	0.42
KI 10	22.22	6.08	3.32	64.52	1.37
KI 11	21.40	6.30	3.48	65.30	1.40
KI 12	21.24	5.80	3.68	65.30	0.78
KI 15	21.52	5.44	5.04	64.00	0.48
KI 16	22.22	5.76	3.72	65.16	1.20
KI 17	21.20	6.16	3.60	64.68	2.46
KI 18	21.80	6.04	3.60	65.04	1.20
KI 19	21.60	6.02	3.60	64.70	1.62
KI 20	21.40	6.16	3.78	64.62	1.54
KI 21	22.52	6.12	3.20	64.02	0.98
KI 22	22.40	6.16	3.24	64.44	1.17
KI 24	22.38	6.10	3.30	64.36	0.95
KI 25	22.40	6.16	3.10	64.54	1.71
KI 26	22.12	6.24	3.10	64.84	2.36
KI 27	21.96	6.04	3.24	64.92	2.50
KI 28	21.66	6.02	3.40	65.40	5.10
KI 29	21.84	5.98	3.44	65.12	3.50
KI 30	22.00	6.14	3.44	65.40	2.36
KI 31	21.76	6.38	3.82	64.16	0.56
KI 32	22.24	6.08	3.52	64.20	0.50
KI 34	22.30	5.86	3.42	64.42	0.67

	% SiO2	% Al2O3	% Fe2O3	% CaO	% CaO(f)
KI 36	21.30	6.40	3.80	64.58	1.82
KI 37	21.66	6.16	3.44	64.78	0.81
KI 40	21.68	6.80	3.40	64.64	0.87
KI 41	21.44	6.52	3.80	64.46	0.50
KI 42	21.26	6.28	3.40	65.08	0.39
KI 43	21.80	6.10	3.44	65.00	1.57
KI 44	20.96	6.70	3.60	64.68	0.56
KI 45	21.08	6.50	3.40	65.18	1.90
KI 46	20.96	6.72	3.28	65.10	1.99
KI 47	21.64	7.20	3.34	65.30	0.73
KI 48	21.58	7.00	3.60	64.32	0.50
KI 49	21.36	7.04	3.50	64.20	0.70
KI 51	21.70	6.36	3.88	64.30	0.53
KI 52	21.70	6.70	3.32	64.28	0.50
KI 53	22.14	6.42	3.44	63.98	0.98
KI 54	21.68	6.80	3.44	63.78	0.98
KI 55	21.92	6.94	3.56	63.92	2.02
KI 56	21.72	6.48	3.76	64.44	0.87
KI 57	21.46	6.76	3.60	64.74	1.46
KI 58	21.62	6.50	4.00	63.52	0.84
KI 59	21.90	6.70	3.98	64.08	1.29
KI 61	21.12	6.54	3.56	64.80	0.98
KI 62	21.00	6.34	3.50	65.44	1.32
KI 63	21.00	6.90	3.80	64.64	0.59
KI 64	20.92	7.14	3.56	64.48	0.64
KI 65	20.92	6.60	3.20	65.26	0.95
KI 66	21.80	6.52	3.40	63.84	0.48
KI 67	22.08	6.64	3.20	63.80	0.87
KI 68	20.44	6.30	5.24	63.84	0.41

Tabla: 1D

MUESTRAS SELECCIONADAS PARA ELEGIR ESTANDARES DE CALIBRACION

CLINKER TIPO 1

	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% CaO	% Free Lime
KI 69	22.16	6.00	3.20	64.98	1.68
KI 70	21.90	6.16	3.56	64.78	1.66
KI 71	22.08	6.04	3.40	64.98	0.52
KI 72	22.02	5.98	3.52	64.58	0.98
KI 73	21.58	5.88	3.12	64.70	1.26
KI 74	22.20	5.72	3.28	64.62	0.98
KI 75	21.36	6.38	4.36	63.36	0.45
KI 76	22.26	6.88	3.16	64.10	0.45
KI 77	20.44	6.30	5.24	63.84	0.41
KI 78	21.52	6.54	4.16	63.72	0.40
KI 79	21.94	6.62	3.80	64.02	0.78
KI 80	20.44	6.30	5.24	63.84	0.41
KI 81	20.90	6.36	4.84	64.00	0.39
KI 82	22.40	6.56	3.24	64.00	0.81
KI 83	21.50	6.40	3.44	64.66	1.40
KI 85	21.92	6.94	3.56	63.92	2.02
KI 87	22.40	6.74	3.34	64.06	0.84
KI 88	21.46	6.10	4.40	63.52	0.36
KI 89	20.84	6.40	5.20	63.94	0.50
KI 90	21.40	6.84	3.96	63.82	0.56
KI 91	20.94	6.82	4.88	63.82	0.42
KI 92	21.88	6.42	3.66	64.02	0.40

CLINKER TIPO V

	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% CaO	% Free Lime
KV 2	21.98	4.86	5.28	62.58	0.36
KV 4	21.54	5.22	6.00	65.76	0.50
KV 6	19.94	5.24	5.64	65.18	0.45
KV 7	21.60	5.08	6.36	63.72	0.60
KV 8	21.00	5.10	6.36	63.00	0.70
KV A	21.60	4.69	4.96	65.35	0.70

TABLA Nro 2A

MUESTRAS SELECCIONADAS PARA ENVIAR A FLS AUTOMATION

CALIZA

	% Ca CO3
CAL 1	74.70
CAL 2	89.40
CAL 3	95.40
CAL 9	96.70
CAL 1E	73.00
CAL 2E	89.50
CAL 3E	85.00
CAL 12E	81.30

ARCILLA

	% SiO2	% Fe2O3
ARC 2	61.96	7.92
ARC 3	57.02	6.84
ARC 5	58.92	7.40
ARC 12	60.00	9.16
ARC 22	72.62	4.96
ARC 27	68.68	4.48
ARC 28	44.60	13.84
ARC 34	55.28	10.00

ARENA

	% SiO2	% Fe2O3
ARE 1	70.12	2.60
ARE 2	65.20	4.80
ARE 4	68.96	6.00
ARE 5	77.16	6.40
ARE 10	66.20	7.36
ARE 15	73.16	3.60

HIERRO

	% SiO2	% Fe2O3
HIE 2	17.30	61.60
HIE 5	20.10	53.50
HIE 6	13.10	71.00
HIE 7	5.90	79.60
HIE 14	3.80	84.40
HIE 17	25.30	42.00

CRUDO TIPO I

	% Ca CO3	% Fe2O3
CI 3	78.70	1.36
CI 4	73.00	1.60
CI 5	71.00	3.08
CI 6	77.00	1.56
CI 11	75.40	2.20

CRUDO TIPO V

	% Ca CO3	% Fe2O3
CV 1	81.00	3.92
CV 2	78.00	4.12
CI 7	78.60	4.60
CI 12	77.20	4.23
CI 14	75.90	4.50

TABLA Nro 2B

MUESTRAS SELECCIONADAS PARA ENVIAR A FLS AUTOMATION

CLINKER TIPO 1

	% SiO2	% Al2O3	% Fe2O3	% CaO	% Cal Libre
KI 15	21.52	5.44	5.04	64.00	0.48
KI 21	22.52	6.12	3.20	64.02	0.98
KI 29	21.84	5.93	3.44	65.12	3.50
KI 30	22.00	6.14	3.44	65.40	2.36
KI 44	20.96	6.70	3.60	64.68	0.56
KI 58	21.62	6.50	4.00	63.52	0.84
KI 64	20.92	7.14	3.56	64.48	0.64
KI 69	22.16	6.00	3.20	64.98	1.68

CLINKER TIPO V

	% SiO2	% Al2O3	% Fe2O3	% CaO	% Cal Libre
KV 2	21.98	4.36	5.28	62.58	0.36
KV 6	19.94	5.24	5.64	65.18	0.45
KV 8	21.00	5.10	6.36	63.00	0.70
KV A	21.60	4.69	4.96	65.35	0.70

ESCORIAS

	% SiO2	% R2O3	% CaO
SLG 1	32.18	16.00	34.84
SLG 2	30.46	14.24	34.86
SLG 3	31.26	19.60	35.10
SLG 4	31.32	15.80	31.56
SLG 5	33.88	15.00	33.78

YESO (Granulado)

YESO (marquetas)

	% SiO2	%R.Ins.		% SiO2	%R.Ins.
YES 1	46.32	0.50	YES 4	44.54	2.84
YES 2	43.68	4.66	YES 5	46.48	0.74
YES 3	45.87	1.18	YES 6	40.67	10.30

TABLA Nro 2C
MUESTRAS SELECCIONADAS PARA ENVIAR A FLS AUTOMATION

PUZOLANA

	% SiO ₂	% Fe ₂ O ₃
PZ 1	45.26	21.00
PZ 2	37.88	21.40
PZ 3	39.82	20.76
PZ 5	42.22	16.96

PUZOLANA (CHAMIS)

	% SiO ₂	% Fe ₂ O ₃	% Al ₂ O ₃	% CaO
PUZ 1	57.18	10.82	21.14	0.60
PUZ 2	56.06	4.84	20.08	5.78
PUZ 3	59.84	4.76	23.90	1.40
PUZ 4	59.20	4.44	23.32	1.10
PUZ 5	56.58	7.40	21.94	0.72

CEMENTO PUZOLANICO

	% Adición
CPZ 1	15%
CPZ 2	5%
CPZ 3	10%
CPZ 4	20%
CPZ 5	30%

CARBON

	% Bituminoso
CAR 1	100%
CAR 2	90%
CAR 3	80%
CAR 4	70%
CAR 5	0%

FLS Automation

QCX/Laboratory XRF calibration for QCX351 Cem. Norte Pacasmayo

E1 Chemical analysis.



F.L. SMIDTH & CO. AVS - Copenhagen
LABORATORY REPORT

CHEMICAL ANALYSES

PLANT: CEMENTOS NORTE, PACASMAYO			LAB.NO.: 950153		ENCL.: 1.2		
MATERIAL:			DATE: 13. June, 1995				
DESCRIPTION OF SAMPLES:							
M	6:	Referencia CI 3					
M	7:	Referencia CI 5					
M	8:	Referencia CI 6					
M	9:	Referencia CV 1					
M	10:	Referencia CV 7					
Moisture as received: % H ₂ O			M 6	M 7	M 8	M 9	M 10
ANALYSES:	Method	Unit					
SO ₂		%	14.8	18.1	14.9	11.4	12.7
Al ₂ O ₃		%	3.08	4.80	3.75	2.26	2.42
Fe ₂ O ₃		%	2.03	3.24	2.31	4.27	4.50
CaO		%	42.7	37.9	41.1	43.3	42.1
MgO		%	1.44	2.11	2.16	1.72	1.94
Mn ₂ O ₃		%	0.07	0.06	0.04	0.17	0.16
TiO ₂		%	0.18	0.28	0.22	0.12	0.13
P ₂ O ₅		%	0.09	0.10	0.09	0.08	0.09
K ₂ O		%	0.46	0.72	0.56	0.36	0.38
Na ₂ O		%	0.17	0.14	0.09	0.15	0.17
SrO		%	0.08	0.06	0.06	0.04	0.05
SO ₃		%					
Loss on ignition (LOI)		%	34.7	32.4	34.7	35.8	35.1
TOTAL		%	99.80	99.91	99.98	99.67	99.74
Free CaO		%					
Sulphur, total		%	0.09	0.11	0.10	0.07	0.09
S ⁻		%					
Cl		%					
F		%					
Cr ₂ O ₃		ppm					
Loss on ign. 400 C.		%					
Ash		%					
Quartz		%					
Carbon		%					
CO ₂		%					
Water of crystallization		%					
Insoluble residue		%					
Silica modulus (MS)			2.9	2.3	2.5	1.8	1.8
Iron modulus (MA)			1.5	1.5	1.8	0.5	0.5
Lime saturation (LSF)		%	92	65	86	116	102
B	C ₃ S	%					
O	C ₂ S	%					
	C ₃ A	%					
G	C ₄ AF	%					
U	C ₂ F	%					
	CaSO ₄	%					
E	Free CaO	%					

Square V_iT

FLS Automation

QCX/Laboratory XRF calibration for QCX351 Cem. Norte Pacasmayo



F.L. SMIDTH & CO. A/S - Copenhagen
LABORATORY REPORT

CHEMICAL ANALYSES

PLANT: CEMENTOS NORTE, PACASMAYO
MATERIAL:

LAB.NO.: 950153

ENCL: 1.3

DATE: 13. June, 1995

DESCRIPTION OF SAMPLES:

M 11: Rawmix CV 14
M :
M :
M :
M :

			M 11	M	M	M	M
Moisture as received : % H ₂ O							
ANALYSES:	Method	Unit					
SiO ₂		%	16.2				
Al ₂ O ₃		%	2.78				
Fe ₂ O ₃		%	3.69				
CaO		%	40.8				
MgO		%	1.70				
Mn ₂ O ₃		%	0.15				
TiO ₂		%	0.14				
P ₂ O ₅		%	0.09				
K ₂ O		%	0.41				
Na ₂ O		%	0.30				
SrO		%	0.05				
SO ₃		%					
Loss on ignition (LOI)		%	33.5				
TOTAL		%	99.81				
Free CaO		%					
Sulphur, total		%	0.06				
S ⁻		%					
Cl		%					
F		%					
Cr ₂ O ₃		%					
Loss on ign. 400 C.		%					
Ash		%					
Quartz		%					
Carbon		%					
CO ₂		%					
Water of crystallization		%					
Insoluble residue		%					
Silica modulus (MS)			2.5				
Iron modulus (MA)			0.8				
Lime saturation (LSF)		%	80				
B	C ₃ S	%					
	C ₂ S	%					
O	C ₃ A	%					
G	C ₄ AF	%					
U	C ₂ F	%					
	CaSO ₄	%					
E	Free CaO	%					

Signature: ViT

FLS Automation

QCX/Laboratory XRF calibration for QCX351 Cem. Norte Pacasmayo



F.L. SMIDTH & CO. A/S - Copenhagen

LABORATORY REPORT

CHEMICAL ANALYSES

PLANT: CEMENTOS NORTE, PACASMAYO
MATERIAL:

LAB.NO.: 950153

ENCL: 1.1

DATE: 13. June. 1995

DESCRIPTION OF SAMPLES:

M 1: Limestone cal 1
M 2: Limestone cal 9
M 3: Limestone cal 2e
M 4: Limestone cal 3e
M 5: Limestone cal 12e

			M 1	M 2	M 3	M 4	M 5
Moisture as received : % H ₂ O							
ANALYSES:	Method:	Unit:					
SiO ₂		%	12.5	3.99	6.34	5.71	15.3
Al ₂ O ₃		%	4.67	0.62	2.49	2.02	4.90
Fe ₂ O ₃		%	1.52	0.42	0.79	0.56	1.91
CaO		%	42.2	49.9	48.4	47.6	41.2
MgO		%	2.55	2.81	1.57	2.32	1.24
Mn ₂ O ₃		%	0.03	0.01	0.02	0.02	0.05
TiO ₂		%	0.24	0.03	0.11	0.09	0.24
P ₂ O ₅		%	0.09	0.05	0.08	0.07	0.09
K ₂ O		%	0.65	0.10	0.45	0.38	0.66
Na ₂ O		%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
SrO		%	0.05	0.14	0.06	0.09	0.05
SO ₃		%					
Loss on ignition (LOI)		%	35.4	41.7	39.6	40.3	34.3
TOTAL		%	99.90	99.77	99.91	99.16	99.97
Free CaO		%					
Sulphur, total		%	0.04	0.14	0.04	0.17	0.03
S ⁻		%					
Cl		%					
F		%					
Cr ₂ O ₃		ppm					
Loss on ign. 400 C.		%					
Ash		%					
Quartz:		%					
Carbon		%					
CO ₂		%					
Water of crystallization		%					
Insoluble residue		%					
Silica modulus (MS)			2.0	3.8	1.9	2.2	2.3
Iron modulus (MA)			3.1	1.5	3.2	3.6	2.6
Lime saturation (LSF)		%	102	41Q	228	254	83
B	C ₃ S	%					
	C ₂ S	%					
O	C ₃ A	%					
G	C ₄ AF	%					
U	C ₂ F	%					
	CaSO ₄	%					
E	Free CaO	%					

Signature: _____

ViT



F.L. SMIDTH & CO. A/S - Copenhagen

LABORATORY REPORT

CHEMICAL ANALYSES

PLANT: CEMENTOS NORTE, PACASMAYO	LAB.NO.: 950153	ENCL.: 1.4
MATERIAL:	DATE:	

DESCRIPTION OF SAMPLES:			M 12	M 13	M 14	M 15	M 16
M 12 : Clay ARC 2							
M 13 : Clay ARC 3							
M 14 : Clay ARC 12							
M 15 : Clay ARC 22							
M 16 : Clay ARC 28							
Moisture as received : % H ₂ O							
ANALYSES:	Method:	Unit:					
SiO ₂		%	64.5	58.9	63.7	73.3	47.4
Al ₂ O ₃		%	15.1	19.7	17.4	11.9	14.1
Fe ₂ O ₃		%	7.72	6.99	7.79	5.31	13.6
CaO		%	1.76	1.21	0.57	0.72	1.30
MgO		%	0.65	2.29	0.64	1.25	13.6
Mn ₂ O ₃		%	0.08	0.05	0.09	0.05	0.53
TiO ₂		%	1.09	0.89	1.19	0.66	0.66
P ₂ O ₅		%	0.16	0.16	0.21	0.22	0.22
K ₂ O		%	2.65	2.42	3.24	1.76	0.19
Na ₂ O		%	0.68	0.24	0.47	1.05	0.07
SrO		%	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00
SO ₃		%					
Loss on ignition (LOI)		%	5.15	7.04	4.51	3.60	8.23
TOTAL		%	99.55	99.91	99.82	99.84	99.90
Free CaO		%					
Sulphur, total		%	0.11	0.02	0.02	0.02	0.02
S ⁻		%					
Cl		%					
F		%					
Cr ₂ O ₃		ppm					
Loss on ign. 400 C.		%					
Ash		%					
Quartz:		%					
Carbon		%					
CO ₂		%					
Water of crystallization		%					
Insoluble residue		%					
Silica modulus (MS)			2.8	2.2	2.5	4.3	1.7
Iron modulus (MA)			2.0	2.8	2.2	2.2	1.0
Lime saturation (LSF)		%					
B C ₃ S		%					
O C ₂ S		%					
G C ₃ A		%					
U C ₄ AF		%					
E C ₂ F		%					
CaSO ₄		%					
Free CaO		%					

Signature: ViT

QCX/Laboratory XRF calibration for QCX351 Cem. Norte Pacasmayo



F.L. SMIDTH & CO. A/S - Copenhagen
LABORATORY REPORT

CHEMICAL ANALYSES

PLANT: CEMENTOS NORTE, PACASMAYO LAB.NO.: 950153 ENCL.: 1.5
MATERIAL: DATE: 13. June. 1995

DESCRIPTION OF SAMPLES:			M 17	M 18	M 19	M 20	M
M 17:	Sand ARE 1						
M 18:	Sand ARE 5						
M 19:	Sand ARE 10						
M 20:	Sand ARE 15						
M	:						
Moisture as received : % H ₂ O							
ANALYSES:	Method:	Unit:					
SiO ₂		%	73.0	78.7	71.6	73.5	
Al ₂ O ₃		%	11.3	9.79	11.7	11.2	
Fe ₂ O ₃		%	4.32	2.81	5.79	5.16	
CaO		%	3.12	2.35	3.21	2.92	
MgO		%	0.99	0.65	1.13	1.00	
Mn ₂ O ₃		%	0.07	0.05	0.10	0.09	
TiO ₂		%	0.58	0.38	0.88	0.77	
P ₂ O ₅		%	0.24	0.19	0.29	0.27	
K ₂ O		%	1.53	1.63	1.31	1.36	
Na ₂ O		%	1.83	1.74	1.65	1.62	
SrO		%	0.03	0.03	0.03	0.03	
SO ₃		%					
Loss on ignition (LOI)		%	2.40	1.56	1.84	1.83	
TOTAL		%	99.41	99.88	99.53	99.75	
Free CaO		%					
Sulphur, total		%					
S ⁻		%					
Cl		%					
F		%					
Cr ₂ O ₃		ppm					
Loss on ign. 400 C.		%					
Ash		%					
Quartz:		%					
Carbon		%					
CO ₂		%					
Water of crystallization		%					
Insoluble residue		%					
Silica modulus (MS)			4.7	6.3	4.1	4.5	
Iron modulus (MA)			2.6	3.5	2.0	2.2	
Lime saturation (LSF)		%					
B	C ₃ S	%					
	C ₂ S	%					
O	C ₃ A	%					
G	C ₄ AF	%					
U	C ₂ F	%					
	CaSO ₄	%					
E	Free CaO	%					

Signature: Vi T

OCX/Laboratory XRF calibration for QCX351 Cem. Norte Pacasmayo



F.L. SMIDTH & CO. AVS - Copenhagen

LABORATORY REPORT

CHEMICAL ANALYSES

PLANT: CEMENTOS NORTE, PACASMAYO	LAB.NO.: 950153	ENCL.: 1.9
MATERIAL:	DATE:	

DESCRIPTION OF SAMPLES:

- M 33 : Heiro HIO 2
- M 34 : Heiro HIO 7
- M 35 : Heiro HIO 14
- M 36 : Heiro HIO 17
- M :

			M 33	M 34	M 35	M 36	M
Moisture as received : % H ₂ O							
ANALYSES:	Method:	Und.					
SiO ₂		%	23.6	27.6	9.51	30.0	
Al ₂ O ₃		%	6.06	6.46	1.23	8.70	
Fe ₂ O ₃		%	58.0	54.8	84.7	37.5	
CaO		%	4.97	0.70	0.90	2.97	
MgO		%	0.68	0.65	0.16	1.12	
Mn ₂ O ₃		%	0.96	2.62	1.59	7.06	
TiO ₂		%	0.41	0.53	0.18	0.48	
P ₂ O ₅		%	0.19	0.12	0.09	0.15	
K ₂ O		%	0.72	1.26	0.12	0.51	
Na ₂ O		%					
SrO		%	0.33	0.03	0.02	0.39	
SO ₃		%					
Loss on ignition (LOI)		%	4.01	5.11	1.41	7.56	
TOTAL		%	99.93	99.88	99.91	96.44	
Free CaO		%					
Sulphur, total		%	0.37				
S ²⁻		%					
Cl		%					
F		%					
Cr ₂ O ₃		ppm					
Loss on ign. 400 C.		%					
Ash		%					
Quartz:		%					
Carbon		%					
CO ₂		%					
Water of crystallization		%					
Insoluble residue		%					
Silica modulus (MS)			0.4	0.5	0.1	0.7	
Iron modulus (MA)			0.1	0.1	0.0	0.2	
Lime saturation (LSF)		%					
B C ₃ S		%					
O C ₂ S		%					
O C ₃ A		%					
G C ₄ AF		%					
U C ₂ F		%					
E CaSO ₄		%					
E Free CaO		%					

Signature: Vit

QCX/Laboratory XRF calibration for QCX351 Cem. Norte Pacasmayo



F.L. SMIDTH & CO. A/S - Copenhagen
LABORATORY REPORT

CHEMICAL ANALYSES

PLANT: CEMENTOS NORTE, PACASMAYO	LAB.NO.: 950153	ENCL.: 1.8
MATERIAL:	DATE: 13. June. 1995	

DESCRIPTION OF SAMPLES:

- M 29 : Slag SLG 2
- M 30 : Slag SLG 3
- M 31 : Slag SLG 4
- M 32 : Slag SLG 5
- M :

			M 29	M 30	M 31	M 32	M
Moisture as received : % H ₂ O							
ANALYSES:	<i>Method:</i>	<i>Unit:</i>					
SiO ₂		%	29.8	31.8	31.6	32.8	
Al ₂ O ₃		%	12.0	14.7	12.4	12.8	
Fe ₂ O ₃		%	12.7	10.0	8.16	5.37	
CaO		%	32.0	29.7	32.0	34.2	
MgO		%	4.91	4.92	5.22	5.57	
Mn ₂ O ₃		%	0.28	0.22	0.42	0.36	
TiO ₂		%	0.41	0.49	0.41	0.42	
P ₂ O ₅		%	0.07	0.08	0.06	0.06	
K ₂ O		%	0.62	0.62	0.68	0.68	
Na ₂ O		%	0.61	0.61	0.73	0.73	
SrO		%	0.05	0.06	0.05	0.06	
SO ₃		%					
Loss on ignition (LOI)		%	5.38	5.49	6.04	5.29	
TOTAL		%	98.83	98.69	97.77	98.34	
Free CaO		%					
Sulphur, total		%	1.04	1.14	1.14	1.17	
S ²⁻		%					
Cl		%					
F		%					
Cr ₂ O ₃		ppm					
Loss on ign. 400 C.		%					
Ash		%					
Quartz		%					
Carbon		%					
CO ₂		%					
Water of crystallization		%					
Insoluble residue		%					
Silica modulus (MS)			1.2	1.3	1.5	1.8	
Iron modulus (MA)			0.9	1.5	1.5	2.4	
Lime saturation (LSF)		%	30	26	30	31	
B C ₃ S		%					
O C ₂ S		%					
G C ₃ A		%					
U C ₄ AF		%					
E C ₂ F		%					
CaSO ₄		%					
Free CaO		%					

Signature: ViT

FLS Automation

QCX/Laboratory XRF calibration for QCX351 Cem. Norte Pacasmayo



F.L. SMIDTH & CO. A/S - Copenhagen
LABORATORY REPORT

CHEMICAL ANALYSES

PLANT: CEMENTOS NORTE, PACASMAYO
MATERIAL:

LAB.NO.: 950153

ENCL.: 1.11

DATE: 13. June, 1995

DESCRIPTION OF SAMPLES:

M 40: Pozzolan PZ 1
M 41: Pozzolan PZ 2
M 42: Pozzolan PZ 5
M 43: Pozzolan PUZ 1
M 44: Pozzolan PUZ 3

			M 40	M 41	M 42	M 43	M 44
Moisture as received : % H ₂ O							
ANALYSES:	<i>Method:</i>	<i>Unit:</i>					
SiO ₂		%	48.5	44.5	49.0	60.3	61.5
Al ₂ O ₃		%	8.18	7.83	8.01	19.8	19.6
Fe ₂ O ₃		%	16.2	16.7	16.3	7.26	5.75
CaO		%	1.00	1.82	0.99	0.34	0.78
MgO		%	1.35	1.25	1.24	0.76	1.40
Mn ₂ O ₃		%	0.35	0.33	0.36	0.07	0.05
TiO ₂		%	0.39	0.39	0.39	0.97	0.71
P ₂ O ₅		%	0.10	0.10	0.10	0.30	0.11
K ₂ O		%	2.83	2.72	2.66	2.41	1.38
Na ₂ O		%	1.36	1.31	1.45	0.11	0.38
SrO		%	0.00	0.00	0.00	0.06	0.02
SO ₃		%					
Loss on ignition (LOI)		%	17.6	19.9	16.8	6.63	7.98
TOTAL		%	97.86	96.85	97.30	99.01	99.66
Free CaO		%					
Sulphur, total		%					
S ⁻		%					
Cl		%					
F		%					
Cr ₂ O ₃		ppm					
Loss on ign. 400 C.		%					
Ash		%					
Quartz:		%					
Carbon		%					
CO ₂		%					
Water of crystallization		%					
Insoluble residue		%					
Silica modulus (MS)			2.0	1.8	2.0	2.2	2.4
Iron modulus (MA)			0.5	0.5	0.5	2.7	3.4
Lime saturation (LSF)		%					
B C ₃ S		%					
O C ₂ S		%					
G C ₃ A		%					
U C ₄ AF		%					
E C ₂ F		%					
CaSO ₄		%					
Free CaO		%					

Signature: Vit

FLS Automation

QCX/Laboratory XRF calibration for QCX351 Cem. Norte Pacasmayo



F.L. SMIDTH & CO. A/S - Copenhagen
LABORATORY REPORT

CHEMICAL ANALYSES

PLANT: CEMENTOS NORTE, PACASMAYO

LAB.NO.: 950153

ENCL.: 1.12

MATERIAL:

DATE: 13. June, 1995

DESCRIPTION OF SAMPLES:

M 45: Pozzolan PUZ 5

M

M

M

M

M

			M 45	M	M	M	M
Moisture as received : % H ₂ O							
ANALYSES:	Method:	Unit:					
SiO ₂		%	60.1				
Al ₂ O ₃		%	19.2				
Fe ₂ O ₃		%	7.23				
CaO		%	0.58				
MgO		%	1.90				
Mn ₂ O ₃		%	0.08				
TiO ₂		%	0.64				
P ₂ O ₅		%	0.14				
K ₂ O		%	1.92				
Na ₂ O		%	0.88				
SrO		%	0.02				
SO ₃		%					
Loss on ignition (LOI)		%	7.15				
TOTAL		%	99.84				
Free CaO		%					
Sulphur, total		%					
S ²⁻		%					
Cl		%					
F		%					
Cr ₂ O ₃		ppm					
Loss on ign. 400 C.		%					
Ash		%					
Quartz		%					
Carbon		%					
CO ₂		%					
Water of crystallization		%					
Insoluble residue		%					
Silica modulus (MS)			2.3				
Iron modulus (MA)			2.7				
Lime saturation (LSF)		%					
B C ₃ S		%					
O C ₂ S		%					
G C ₃ A		%					
U C ₄ AF		%					
E C ₂ F		%					
CaSO ₄		%					
Free CaO		%					

Signature ViT

FLS Automation

QCX/Laboratory XRF calibration for QCX351 Cem Norte Pacasmayo



F.L. SMIDTH & CO. AVS - Copenhagen
LABORATORY REPORT

CHEMICAL ANALYSES

PLANT: CEMENTOS NORTE, PACASMAYO
MATERIAL:

LAB.NO.: 950153

ENCL.: 1.6

DATE: 13. June, 1995

DESCRIPTION OF SAMPLES:

M 21 : Clinker KI 21
M 22 : Clinker KI 29
M 23 : Clinker KI 30
M 24 : Clinker KI 64
M 25 : Clinker KV 2

			M 21	M 22	M 23	M 24	M 25
Moisture as received : % H ₂ O							
ANALYSES:	Method:	Unit:					
SiO ₂		%	23.4	22.3	22.0	21.2	22.3
Al ₂ O ₃		%	5.32	5.18	5.18	6.11	4.23
Fe ₂ O ₃		%	3.45	3.58	3.49	3.73	5.33
CaO		%	62.2	63.7	63.5	63.5	62.1
MgO		%	3.60	2.53	2.53	2.55	2.54
Mn ₂ O ₃		%	0.07	0.04	0.04	0.05	0.23
TiO ₂		%	0.29	0.27	0.27	0.35	0.20
P ₂ O ₅		%	0.16	0.13	0.13	0.13	0.14
K ₂ O		%	0.61	0.70	0.62	0.94	0.59
Na ₂ O		%	0.27	0.25	0.21	0.13	0.39
SrO		%	0.13	0.08	0.08	0.10	0.07
SO ₃		%					
Loss on ignition (LOI)		%	0.47	0.91	0.76	0.39	1.57
TOTAL		%	99.97	99.67	98.81	99.18	99.69
Free CaO		%					
Sulphur, total		%	0.25	0.22	0.25	0.29	0.21
S ⁻		%					
Cl		%					
F		%					
Cr ₂ O ₃		ppm					
Loss on ign. 400 C.		%					
Ash		%					
Quartz:		%					
Carbon		%					
CO ₂		%					
Water of crystallization		%					
Insoluble residue		%					
Silica modulus (MS)			2.7	2.6	2.5	2.2	2.3
Iron modulus (MA)			1.5	1.4	1.5	1.6	0.8
Lime saturation (LSF)		%	84	90	91	92	88
B	C ₃ S	%					
	C ₂ S	%					
O	C ₃ A	%					
G	C ₄ AF	%					
U	C ₂ F	%					
	CaSO ₄	%					
E	Free CaO	%					

Signature: Vi T

FLS Automation

QCX/Laboratory XRF calibration for QCX351 Cem. Norte Pacasmayo



F.L. SMIDTH & CO. A/S - Copenhagen

LABORATORY REPORT

CHEMICAL ANALYSES

PLANT: CEMENTOS NORTE, PACASMAYO
MATERIAL:

LAB.NO.: 950153

ENCL.: 1.7

DATE: 13. June. 1995

DESCRIPTION OF SAMPLES:

M 26 : Clinker KV 6
M 27 : Clinker KV 8
M 28 : Clinker KV A
M :
M :

			M 26	M 27	M 28	M	M
Moisture as received : % H ₂ O							
ANALYSES:	<i>Method:</i>	<i>Unit:</i>					
SiO ₂		%	20.8	21.7	21.6		
Al ₂ O ₃		%	4.07	5.07	5.69		
Fe ₂ O ₃		%	5.55	4.49	3.87		
CaO		%	63.4	63.9	64.0		
MgO		%	2.27	1.83	1.38		
Mn ₂ O ₃		%	0.23	0.12	0.03		
TiO ₂		%	0.20	0.25	0.27		
P ₂ O ₅		%	0.15	0.09	0.07		
K ₂ O		%	0.45	0.89	1.10		
Na ₂ O		%	0.28	0.20	0.15		
SrO		%	0.07	0.05	0.03		
SO ₃		%					
Loss on ignition (LOI)		%	1.78	1.29	1.12		
TOTAL		%	99.25	99.88	99.31		
Free CaO		%					
Sulphur, total		%	0.15	0.22	0.20		
S ⁻		%					
Cl		%					
F		%					
Cr ₂ O ₃		ppm					
Loss on ign. 400 C.		%					
Ash		%					
Quartz		%					
Carbon		%					
CO ₂		%					
Water of crystallization		%					
Insoluble residue		%					
Silica modulus (MS)			2.2	2.3	2.3		
Iron modulus (MA)			0.7	1.1	1.5		
Lime saturation (LSF)		%	95	92	92		
B C ₃ S		%					
O C ₂ S		%					
G C ₃ A		%					
U C ₄ AF		%					
E C ₂ F		%					
CaSO ₄		%					
Free CaO		%					

Signature: ViT



F.L. SMIDTH & CO. A/S - Copenhagen
LABORATORY REPORT

CHEMICAL ANALYSES

PLANT: CEMENTOS NORTE. PACASMAYO	LAB.NO.: 950153	ENCL.: 1.13
MATERIAL:	DATE:	

DESCRIPTION OF SAMPLES:

- M 46 : Coal CAR 1
- M 47 : Coal CAR 2
- M 48 : Coal CAR 3
- M 49 : Coal CAR 4
- M 50 : Coal CAR 5

			M 46	M 47	M 48	M 49	M 50
Moisture as received : % H ₂ O							
ANALYSES:	<i>Method:</i>	<i>Unit:</i>					
SiO ₂		%	53.2	53.4	52.7	56.3	52.2
Al ₂ O ₃		%	21.9	23.0	23.7	26.6	30.0
Fe ₂ O ₃		%	7.74	7.33	7.21	6.35	6.24
CaO		%	6.36	5.64	5.63	4.52	3.28
MgO		%	1.02	1.13	1.24	1.80	1.87
Mn ₂ O ₃		%	0.05	0.06	0.08	0.10	0.14
TiO ₂		%	0.84	0.93	1.04	1.07	1.55
P ₂ O ₅		%	0.32	0.29	0.24	0.24	0.19
K ₂ O		%	1.93	2.07	2.24	2.38	2.88
Na ₂ O		%	0.56	0.53	0.50	0.31	0.53
SrO		%	0.08	0.06	0.05	0.08	0.03
SO ₃		%					
Loss on ignition (LOI)		%	1.20	1.38	0.76	0.23	0.28
TOTAL		%	95.20	95.82	95.39	99.98	99.19
Free CaO		%					
Sulphur, total		%					
S ⁺⁺		%	<i>Bit 100</i>	<i>90</i>	<i>80</i>	<i>70</i>	<i>0</i>
Cl		%					
F		%	<i>Ant 0</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>100</i>
Cr ₂ O ₃		ppm					
Loss on ign. 400 C.		%					
Ash *		%	9.21	10.5	12.0	11.8	16.5
Quartz:		%					
Carbon		%					
CO ₂		%					
Water of crystallization		%					
Insoluble residue		%					
Siica modulus (MS)			1.8	1.8	1.7	1.7	1.4
Iron modulus (MA)			2.8	3.1	3.3	4.2	4.8
Lime saturation (LSF)		%					
B C ₃ S		%					
O C ₂ S		%					
O C ₃ A		%					
G C ₄ AF		%					
U C ₂ F		%					
U CaSO ₄		%					
E Free CaO		%					

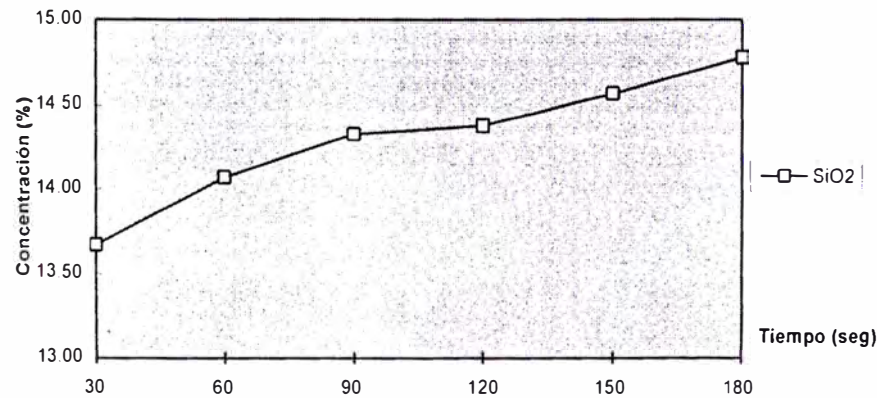
Signature: VIT

OPTIMIZACION TIEMPO DE MOLIENDA PARA CRUDO ANALISIS RAYOS X

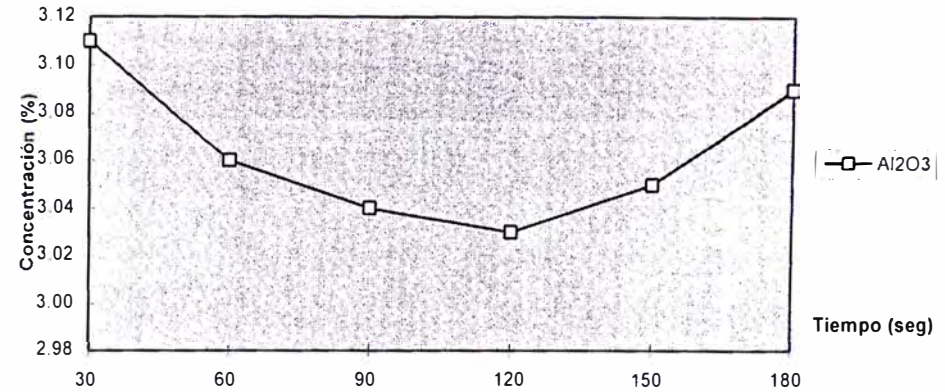
CRUDO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	SO3	LSF	SIM	ALM
Cl-3	14.8	3.08	2.03	42.7	1.44	0.46	0.17	0.23	92	2.9	1.5

Tiempo (seg)	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	SO3	LSF	SIM	ALM
30	13.67	3.11	1.72	43.22	1.38	0.43	0.16	0.25	99.67	2.83	1.81
60	14.07	3.06	1.80	43.00	1.41	0.43	0.16	0.25	96.71	2.90	1.70
90	14.33	3.04	1.85	42.92	1.39	0.44	0.15	0.26	94.67	2.93	1.65
120	14.38	3.03	1.92	42.85	1.41	0.45	0.16	0.25	94.17	2.90	1.58
150	14.57	3.05	1.99	42.76	1.42	0.45	0.16	0.24	92.74	2.88	1.54
180	14.78	3.09	2.04	42.68	1.43	0.45	0.17	0.22	91.56	2.90	1.49

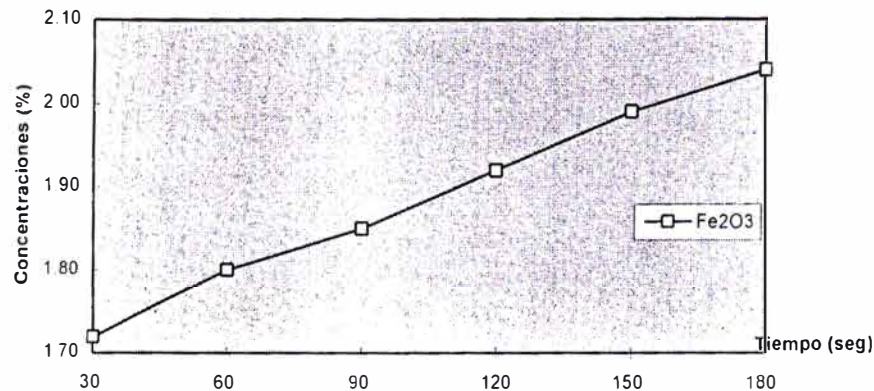
Tiempo Molienda vs. Concentración SiO2



Tiempo Molienda vs. Concentración Al2O3



Tiempo Molienda vs. Concentración Fe2O3



Tiempo Molienda vs. Concentración CaO

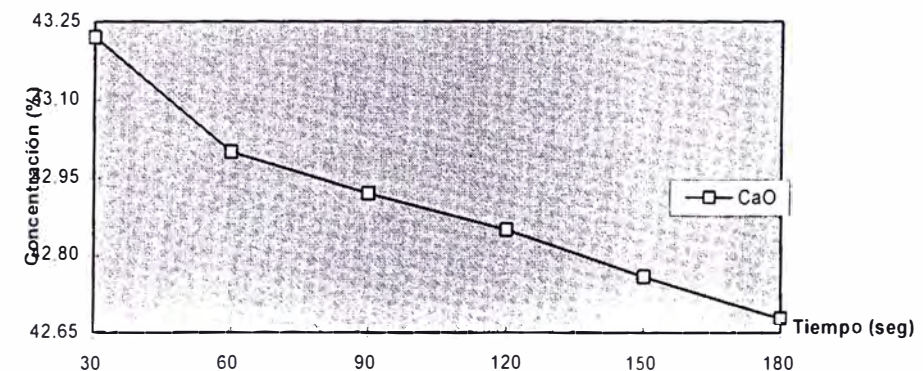


Gráfico N- 1: Optimización Tiempo Molienda Crudo

OPTIMIZACION TIEMPO DE MOLIENDA PARA CALIZA ANALISIS RAYOS X

CALIZA	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	SO3	LOI	LSF	SIM
CAL-09	3.99	0.62	0.42	49.9	2.81	0.1	0.35	41.7	410	3.8

Tiempo (seg)	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	SO3	LOI	LSF	SIM
30	3.47	0.54	0.38	50.22	2.36	0.05	0.31	42.04	474.28	3.77
60	3.51	0.53	0.38	50.15	2.61	0.05	0.31	41.95	299.47	3.85
90	3.59	0.57	0.40	50.11	2.65	0.08	0.32	41.88	458.04	3.71
120	3.62	0.60	0.41	50.14	2.75	0.09	0.33	41.81	454.81	3.58
150	3.72	0.59	0.42	50.04	2.79	0.09	0.33	41.79	442.14	3.68
180	3.97	0.61	0.42	49.99	2.82	0.10	0.34	41.72	411.00	3.85

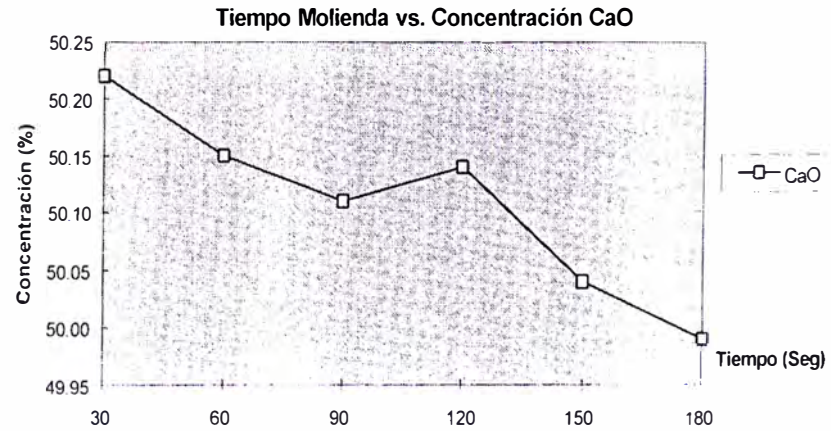
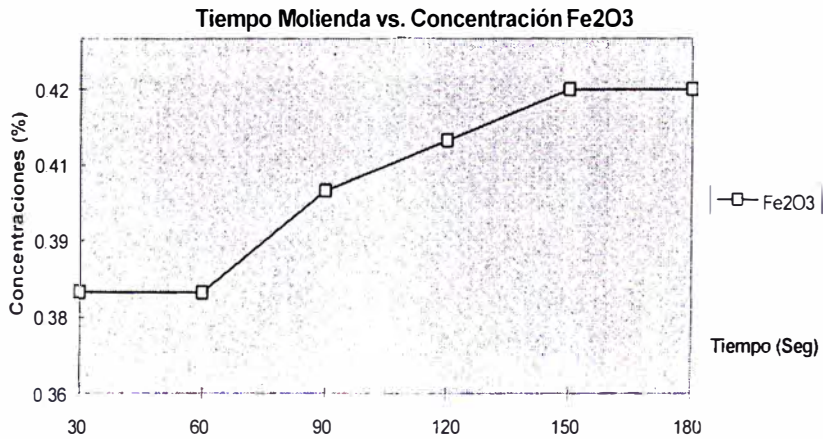
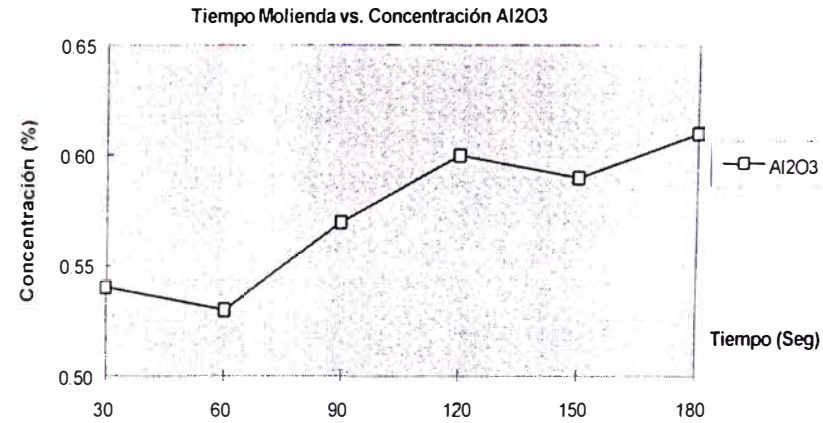
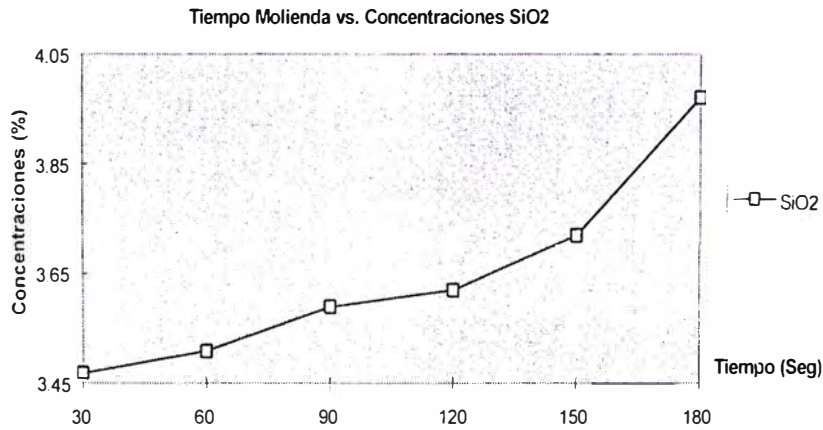


Gráfico N – 2: Optimización Tiempo de Molienda Caliza

OPTIMIZACION TIEMPO DE MOLIEDA PARA ARCILLA ANALISIS RAYOS X

ARCILLA	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	SO3	SIM	ALM
ARC-2	64.5	15.1	7.72	1.76	0.65	2.65	0.68	0.28	2.8	2.0

Tiempo (seg)	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	SO3	SIM	ALM
30	63.21	14.79	6.62	2.19	0.62	2.58	0.89	0.33	2.95	2.33
60	64.27	14.80	6.95	2.03	0.60	2.46	0.85	0.31	2.95	2.13
90	64.42	14.91	7.17	2.00	0.61	2.60	0.75	0.29	2.91	2.02
120	64.57	14.94	7.35	1.99	0.60	2.64	0.74	0.29	2.89	1.94
150	64.60	15.10	7.54	1.97	0.64	2.64	0.71	0.28	2.85	1.87
180	64.55	15.09	7.80	1.76	0.65	2.66	0.67	0.28	2.82	1.89

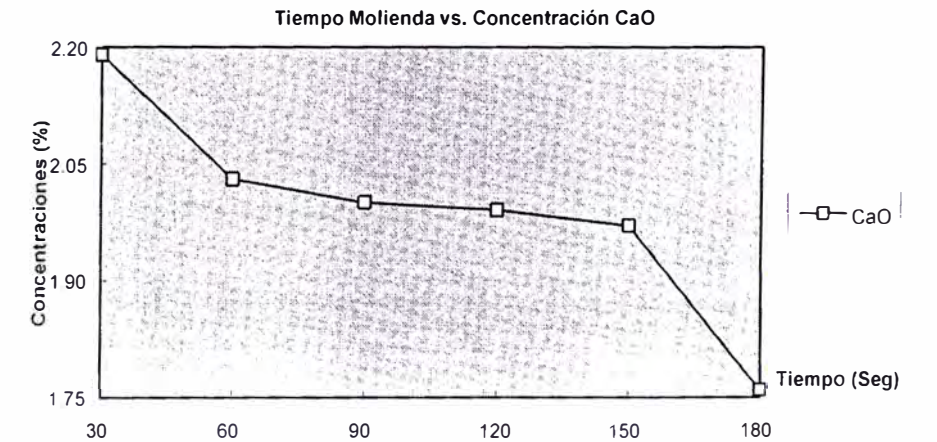
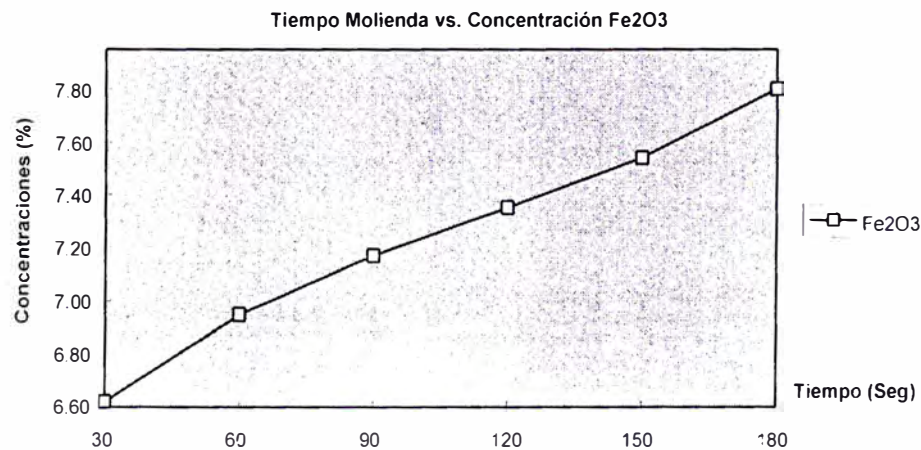
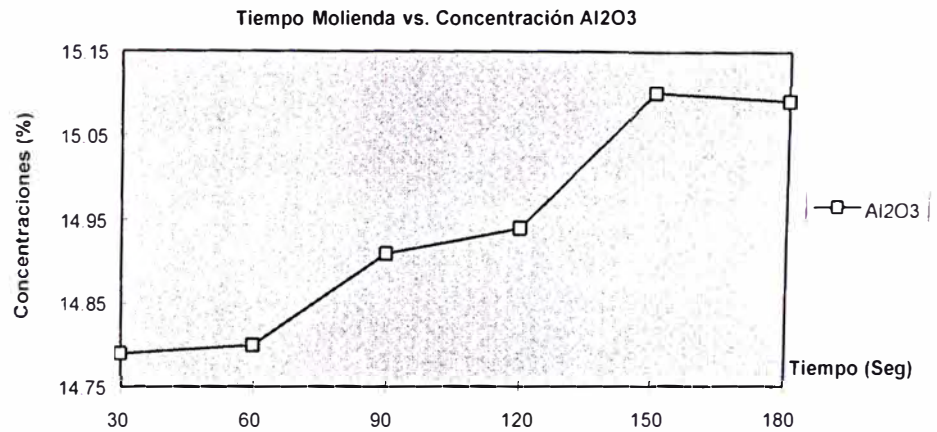
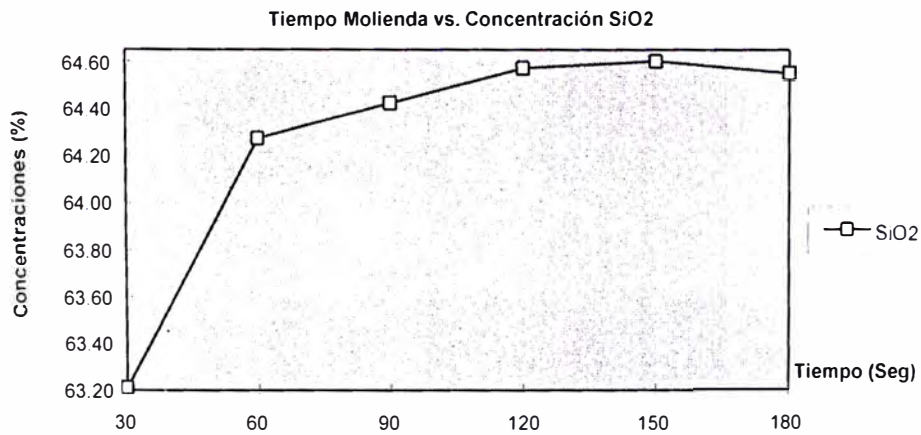


Gráfico N- 3: Optimización Tiempo de Molienda Arcilla

OPTIMIZACION TIEMPO DE MOLIENDA PARA ARENA ANALISIS RAYOS X

ARENA	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	LSF	SIM	ALM
ARE - 1	73	11.3	4.32	3.12	0.99	1.53	1.83	1.41	4.7	2.6

Tiempo (seg)	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	LSF	SIM	ALM
30	72.18	11.25	2.81	2.95	0.86	1.60	1.73	1.36	5.13	4.00
60	72.35	11.14	3.22	2.98	0.92	1.55	1.74	1.37	5.04	3.46
90	72.29	11.02	3.47	3.05	0.92	1.55	1.74	1.40	4.99	3.18
120	72.68	11.11	3.69	3.09	0.94	1.54	1.76	1.41	4.91	3.01
150	72.89	11.25	4.18	3.11	0.97	1.54	1.79	1.41	4.72	2.69
180	73.10	11.29	4.28	3.13	0.99	1.56	1.82	1.42	4.69	2.64

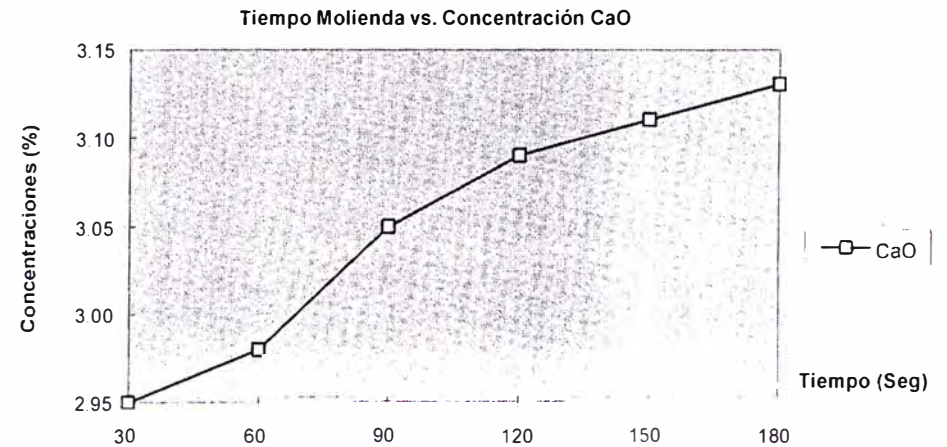
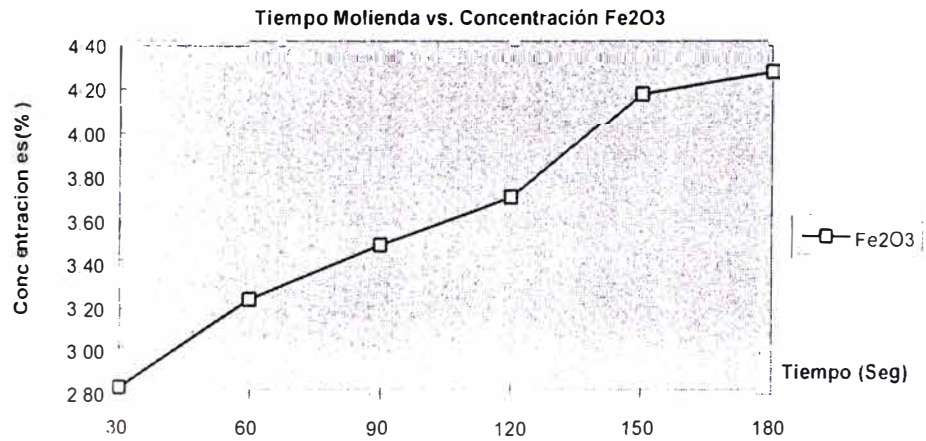
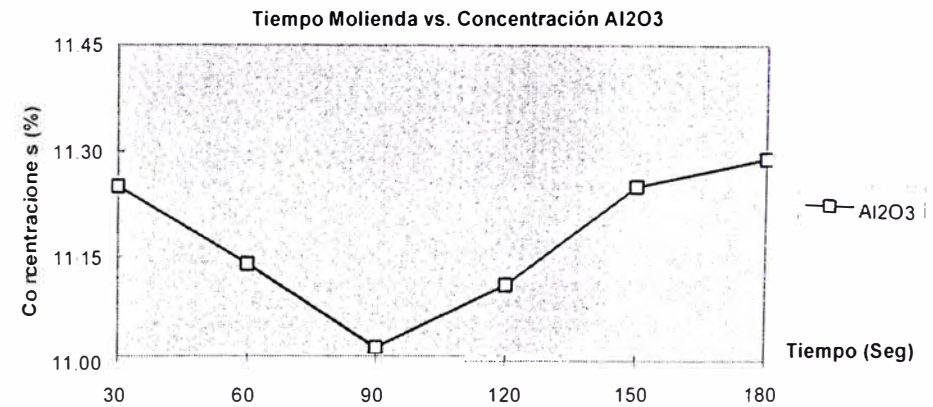
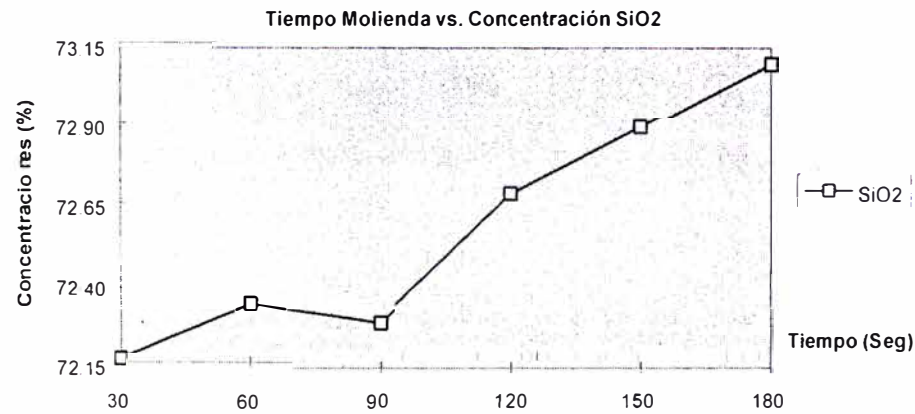


Gráfico N.-4: Optimización Tiempo de Molienda de Arena

33 OPTIMIZACION TIEMPO DE MOLIEDA PARA HIERRO ANALISIS RAYOS X

HIERRO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	SIM
HIE - 14	9.51	1.23	84.7	0.9	0.16	0.12	0.1

Tiempo (seg)	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	SIM
30	11.66	1.73	81.36	1.06	0.18	0.15	0.14
60	10.65	1.66	82.03	1.12	0.18	0.15	0.13
90	10.41	1.52	82.50	1.00	0.15	0.14	0.12
120	10.09	1.44	82.82	0.97	0.15	0.14	0.12
150	9.87	1.32	84.15	0.93	0.14	0.14	0.11
180	9.52	1.25	84.67	1.00	0.15	0.14	0.11

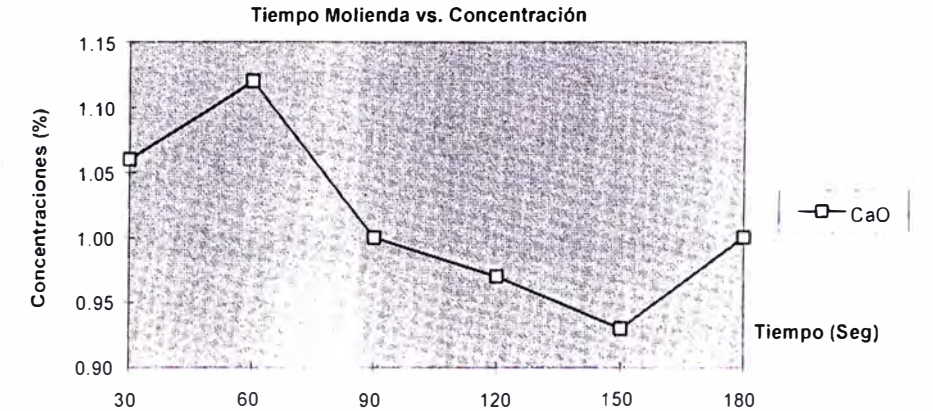
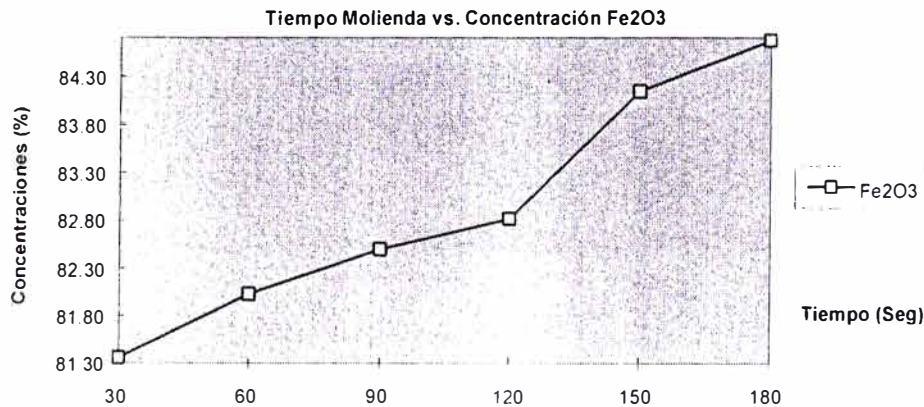
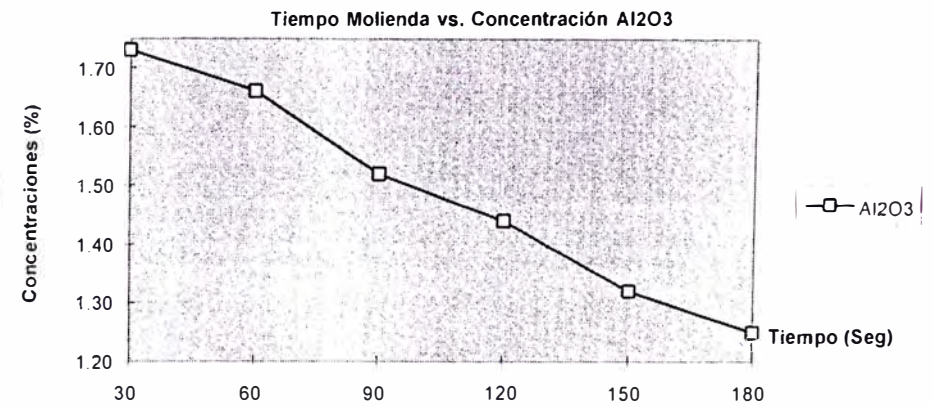
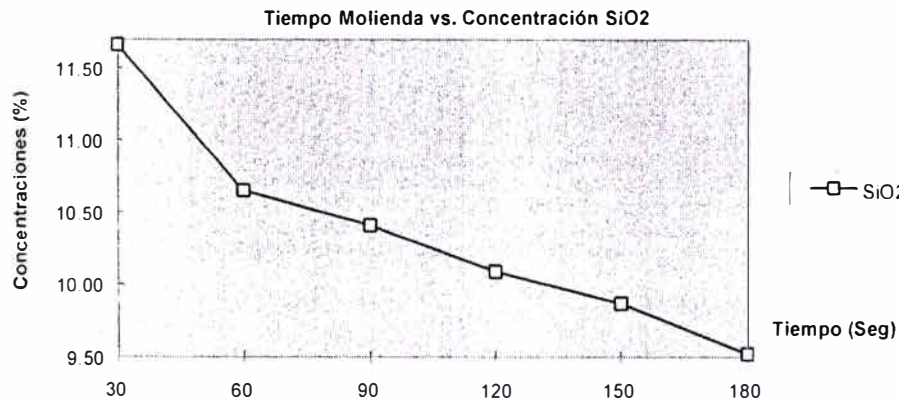


Gráfico N.- 5: Optimización Tiempo de Molienda de Hierro

OPTIMIZACION TIEMPO DE MOLIENDA PARA CLINKER ANALISIS RAYOS X

CLINKER	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	SO3	LSF	SIM	ALM
STANDAR KI-21	23.4	5.32	3.45	62.2	3.6	0.61	0.27	0.63	84	2.7	1.5

Tiempo (seg)	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	SO3	LSF	SIM	ALM
30	22.98	5.02	3.25	61.52	3.24	0.54	0.25	0.57	85.00	2.78	1.54
60	23.15	5.11	3.24	61.66	3.39	0.54	0.25	0.57	84.52	2.77	1.58
90	23.08	5.14	3.34	61.89	3.40	0.06	0.26	0.58	84.94	2.72	1.54
120	23.26	5.26	3.38	61.84	3.45	0.55	0.26	0.61	84.10	2.69	1.56
150	23.35	5.24	3.43	62.05	3.52	0.58	0.26	0.59	84.09	2.69	1.53
180	23.42	5.31	3.46	62.24	3.58	0.60	0.27	0.62	84.01	2.67	1.53

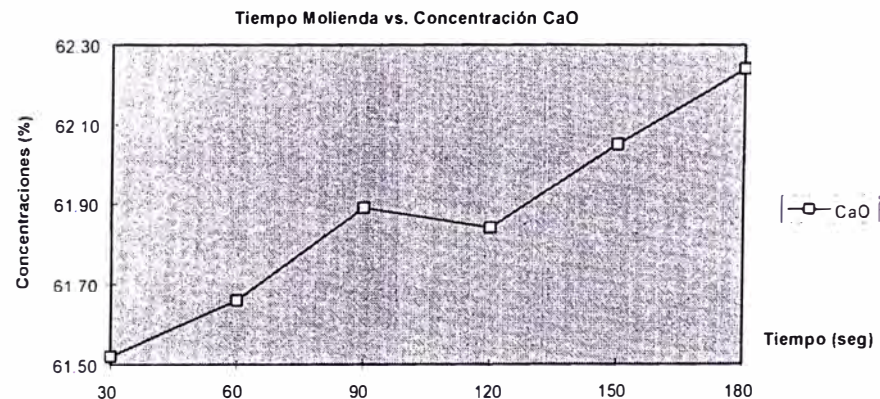
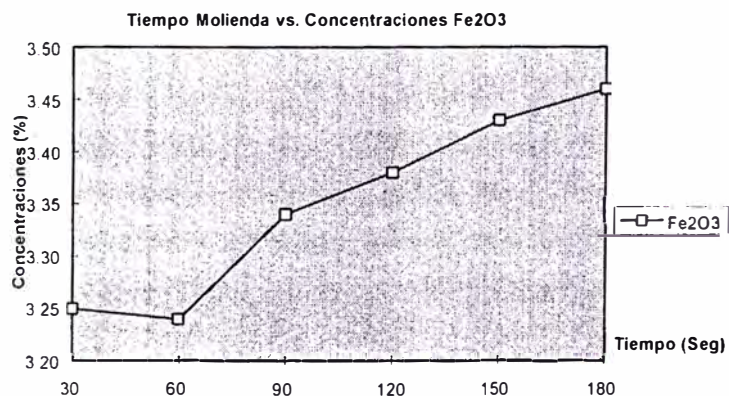
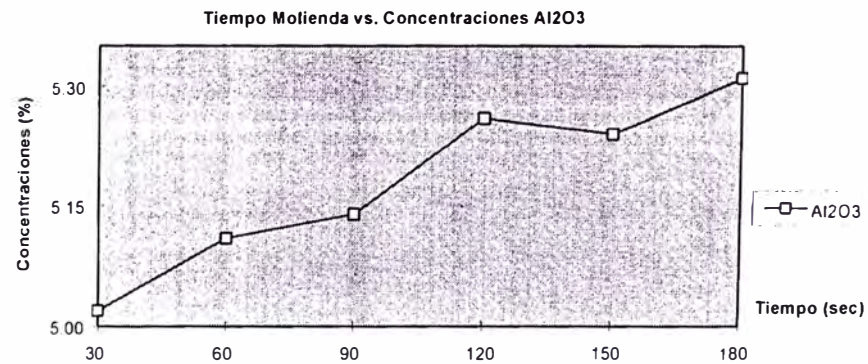
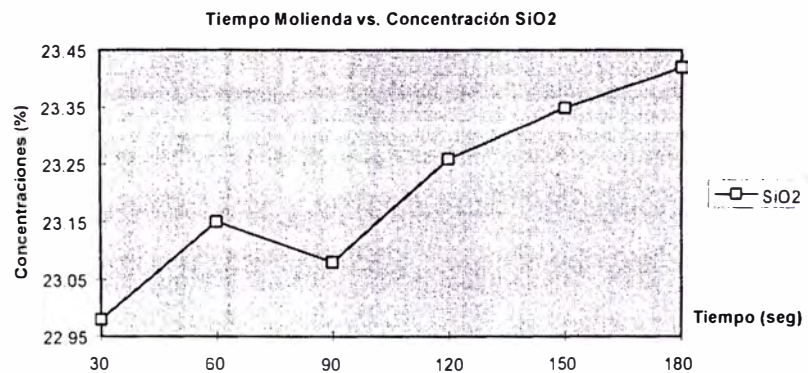


Gráfico N.- 6: Optimización Tiempo de Molienda de Clinker

Resultados

Los resultados que podemos observar de los Gráficos N° 1 al N° 6, reflejan la necesidad de efectuar una molienda muy fina para obtener resultados satisfactorios en los análisis de Rayos X. El tiempo de molienda óptimo se encontró que deben ser 180 seg.

Los elementos de mayor interés como Si, Al, Fe y Ca para determinado material reflejan notorias variaciones en su concentración a medida que se incrementa el tiempo de molienda constituyéndose este parámetro como uno de los de mayor importancia dentro del esquema de preparación de las tabletas de Rayos X

De los resultados obtenidos definimos:

Proporciones Muestra		Molienda		Prensado Prensa HTP- 40		Potencia Rayos X	
Muestra	Parafina	Tiempo	Equipo	Tiempo	Presión	mA	kV
14 gr.	1 gr	180 seg.	HMS-100	60 seg.	15 Ton	30*	80*

Tabla N° 16.- Parámetros de preparación de muestras para análisis por Rayos X

*** Corriente y voltaje del haz de Rayos X**

3.- Preparación de las pastillas para la calibración

Hay que considerar lo siguiente:

- Para preparar las muestras de calibración del equipo se utilizarán exclusivamente las muestras **estándar o patrón** que se enviaron a analizar en un laboratorio de prestigio. Dichas muestras se encuentran guardadas en un lugar especial, herméticamente cerradas en envases especiales y libres del contacto con el aire ambiental.

- Se conocerá el análisis químico certificado por un laboratorio de prestigio de las muestras **estándar o patrón**.
- La preparación de las pastillas para la calibración del equipo deberá hacerse tomando las máximas medidas de seguridad posibles para evitar contaminación de la muestra.
- Se deberá lograr perfección en todos los pasos de preparación para obtener la pastilla más perfecta posible tanto en forma como en procedimiento de preparación.

Todo este trabajo se realiza solo una vez para calibrar el equipo. En la medida que los cuidados sean más rigurosos reflejarán mejores resultados en las calibraciones.

Teniendo un equipo bien calibrado nuestros controles químicos a través de Rayos X están respaldados por la exactitud y veracidad de los resultados lo que mejora la estabilidad de nuestro proceso.

4. - Obtención de las curvas de calibración con las muestras estándar

El **Apéndice D**, muestra las curvas de calibración obtenidas luego de seguir los pasos anteriores. En estas curvas se grafica las Kcuentas/seg. Vs. Concentración del elemento. Las Kcuentas/seg. son las señales que detecta el equipo como resultado de la irradiación de los Rayos X sobre la muestra y la reacción de los elementos de la misma respecto de este ataque. Estas curvas de calibración se obtienen a 30 kV, 80 mA durante 20 segundos de irradiación.

F.3.- Aplicación del control químico por Rayos X a la producción de Cementos Pacasmayo SAA.

F.3.1.- Requerimiento de control químico de la producción de cemento

Es muy importante conocer las características químicas de los materiales en proceso que se presenta en cada línea de producción (ver Apendice A)

El control químico sirve para evaluar y mejorar el proceso, se presenta en cada línea de producción haciéndose necesario controlar mediante análisis químicos en el menor tiempo.

El control deberá cumplir con lo siguiente:

- Asegurar que la línea de producción se controle adecuadamente. La elección del punto de muestreo y el muestreo en sí son los que darán valor a esta condición.
- Reportar en el menor plazo posible los resultados del análisis químico de la línea de producción con esto se logrará acelerar la corrección del proceso o se incrementará la producción de determinada línea. Este objetivo se cumplirá optimizando la preparación de muestras y el análisis por Rayos X de tal manera que la información este disponible en el más breve plazo.
- Mantener siempre los mismos parámetros de muestreo, preparación de muestras y análisis para asegurar la reproductibilidad del control. Este debe ser reproducible en todo momento.
- Mantener siempre el mismo error por variabilidad de tal manera que en el tiempo este error sea el mismo para asegurar la confiabilidad de la información.

A continuación esquematizamos las necesidades de control químico del proceso y las frecuencias con que se requiere este control ordenado por la Superintendencia de Producción en CPSAA para las líneas del Horno 3 y Horno 2 respectivamente.

El control asegurará mantener los estándares de calidad que caracteriza a CPSAA en todos sus productos.

LINEA HORNO 3:

MOLINO CRUDO N° 2

CALIZA EXPLOTACION CANTERAS: Frecuencia: 10 por día; Propósito : Control De Canteras

HIERRO INGRESO FABRICA: Frecuencia : Tres por día; Propósito : Calidad Correctivos

BALANZAS DE ALIMENTACION

Frecuencia : Una por día

Propósito : Control Materia Prima

CRUDO PRODUCCION

Frecuencia: Cada Hora

Propósito: Control QCX

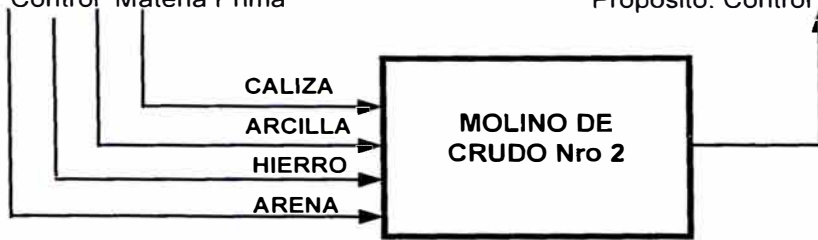


Fig. N ° 4: Control de Calidad para el Crudo

SILO HOMOGENIZACION N° 2

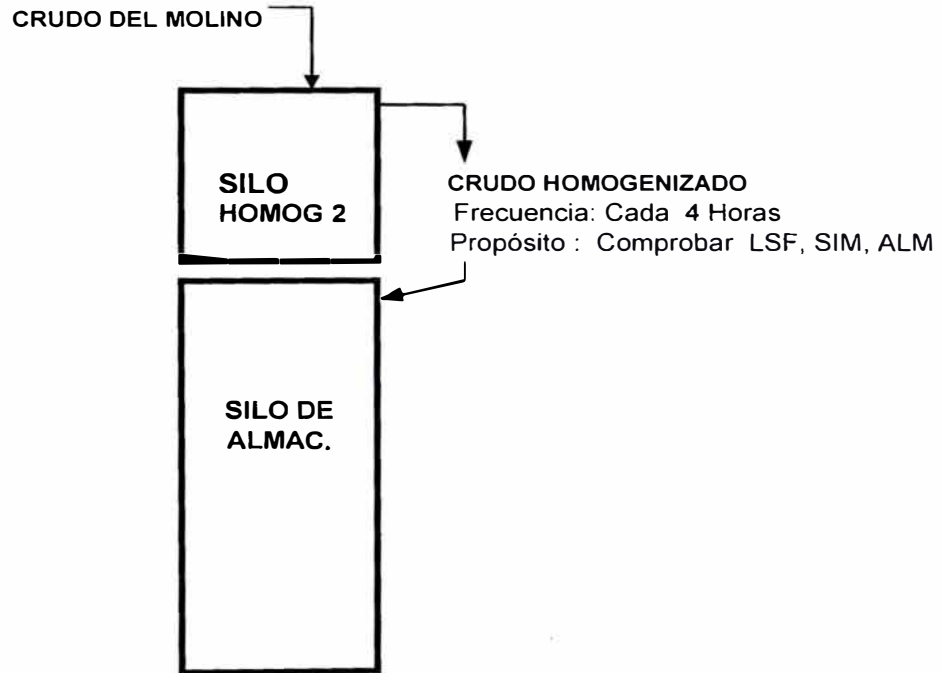


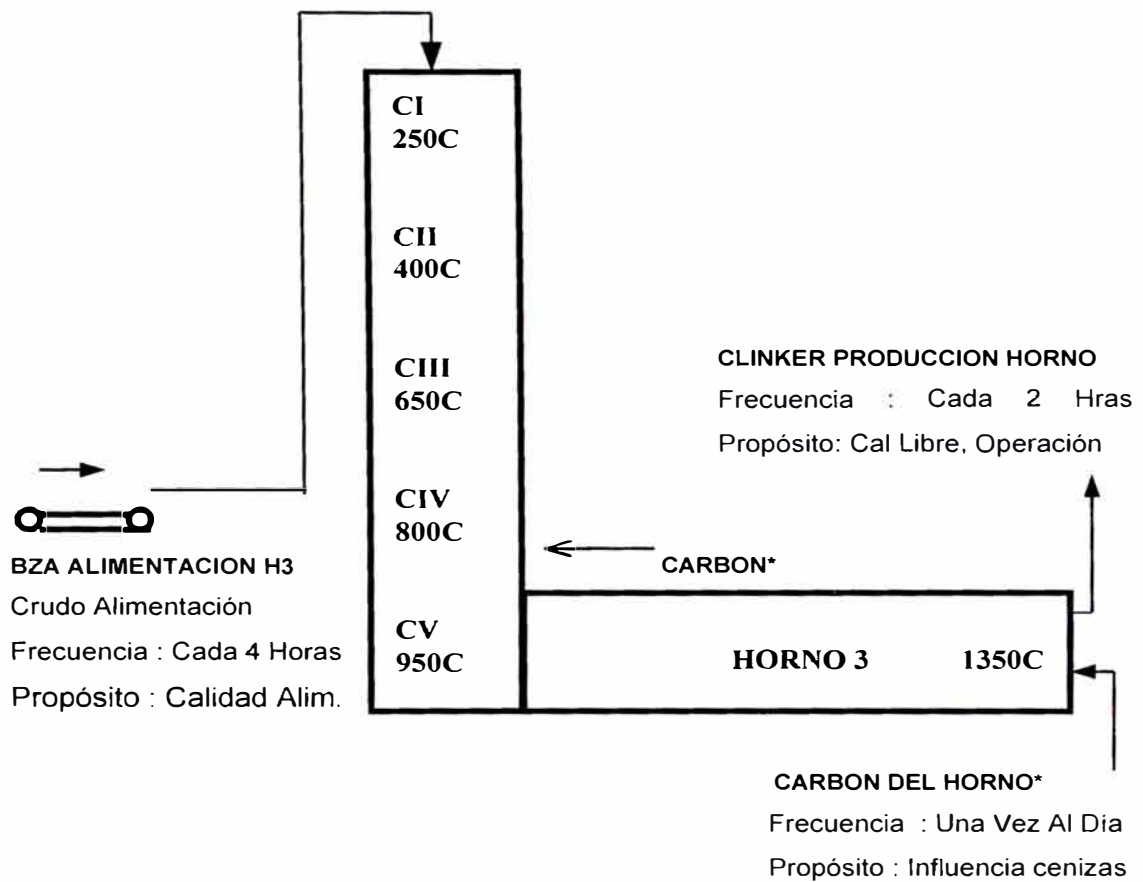
Fig. N° 5: Control de calidad en el Silo de Homogenizacion N° 2

HORNO N° 3

Crudo Alimentación = 190 Tm/hr

***Horno con sistema de precalcinación "Flash Calciner"**

Tonelaje de Carbón utilizado = 13 Tm/hr



En el Horno se produce el Clinker:

El crudo ingresa por la parte superior de la Torre de Precalcinación y cae a través de ésta entrando en contracorriente al flujo de gases. Luego llega a la parte más baja de la torre (CV 950 C) y es trasvasado al horno en estado precalcinado, a temperaturas entre 900-1050 C, pasando a través del horno giratorio hasta fundirse a la temperatura de 1350C, y convirtiéndose en una mezcla de fases artificiales llamada Clinker.

Fig. N° 6: Control de Calidad para el horno N° 3

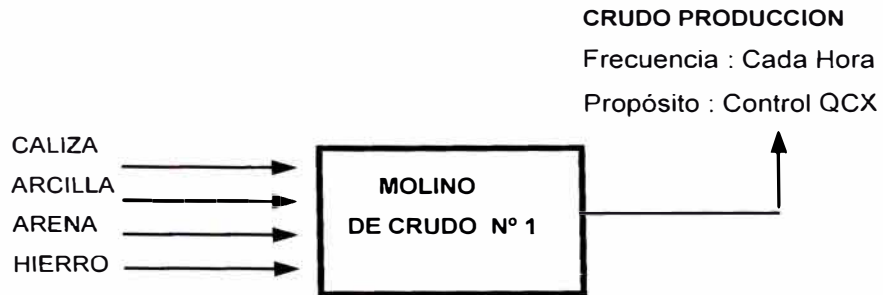
LINEA HORNO 2**MOLINO CRUDO N° 1**

Fig. N° 7: Control de Calidad para el Horno N° 2

SILO HOMOGENIZACION N° 1

Frecuencia: Dos Por Turno
Propósito: Verificar Control Molino

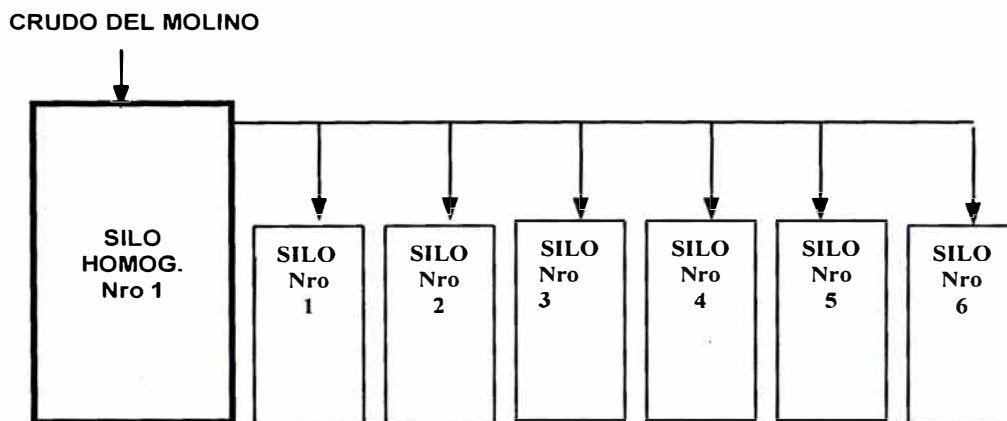


Fig. N° 8: Control de Calidad para el Silo Homogéneo N° 1

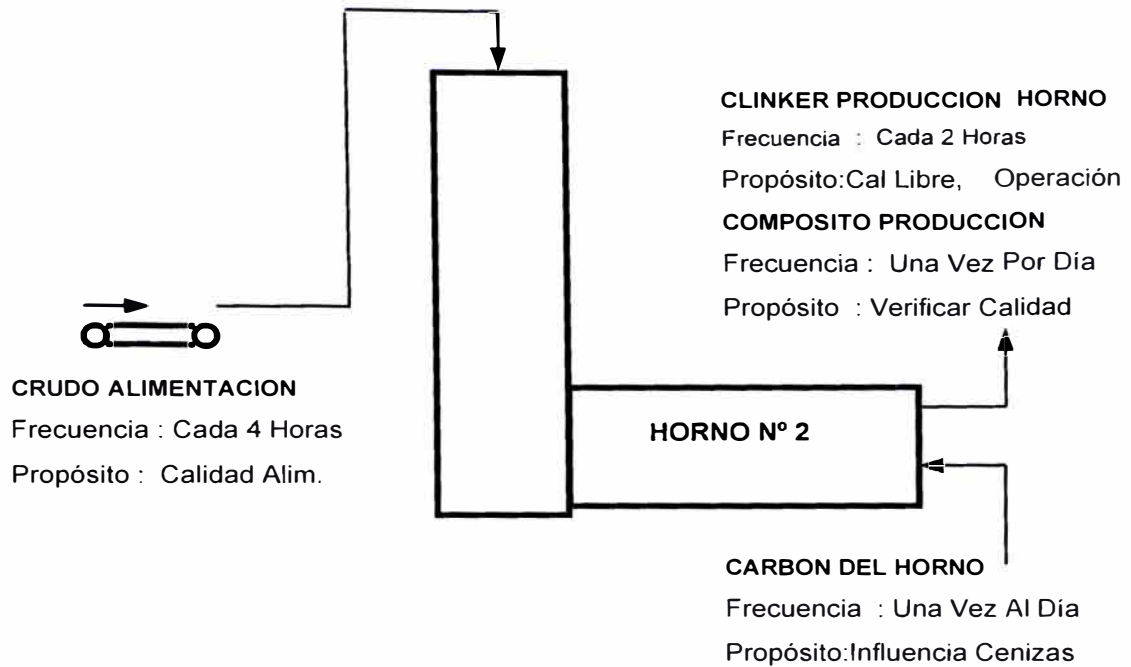
HORNO N° 2

Fig. N° 9: Control de calidad en el Horno N° 2

MOLINO DE CEMENTO N° 3**YESO INGRESO FABRICA (COMPRA TERCEROS)**

Frecuencia : Tres Por Día

Propósito : Calidad Yeso y Control Proveedores

ADICIONES INGRESO FABRICA (COMPRA TERCEROS)

Frecuencia : Una Vez Por Día

Propósito : Calidad Adiciones y Control Proveedores

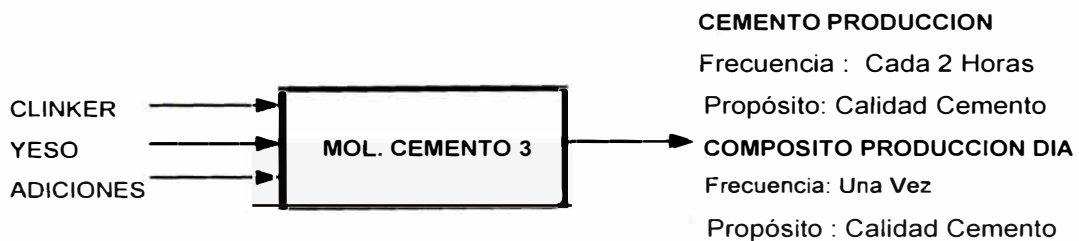


Fig. N° 10: Control de calidad en el Molino de Cemento N° 3

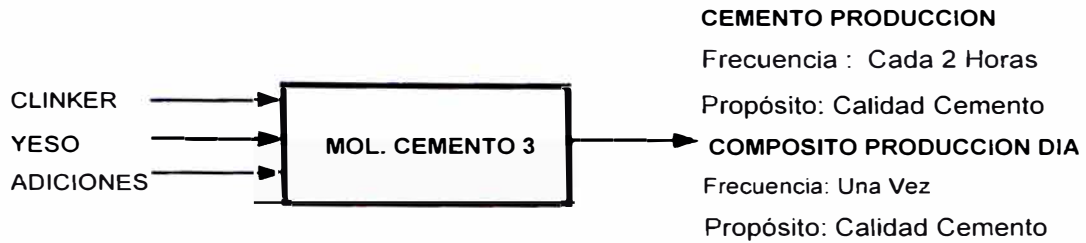
MOLINO DE CEMENTO N° 4

Fig. N° 11: Control de Calidad en el Molino de Cemento N° 4

MOLINO DE CEMENTO N° 5

Fig. N° 12: Control de Calidad en el Molino de Cemento N° 5

Nota.- Las adiciones están conformadas por Escoria Siderúrgica, Caliza Fina y Arena en proporciones determinadas

F.3.2.- Implementación del control químico del proceso por Rayos X

Teniendo el equipo de Rayos X calibrado, los parámetros de preparación de muestras y los puntos de muestreo definidos. Para efectuar la implementación del control propuesto por la Superintendencia de Producción se evaluó lo siguiente:

- **Para el control por Rayos X.-** Se realizó el estudio de tiempos, determinó las frecuencias correspondientes y consumo de tiempo tomando como base una hora para las actividades de control, considerando muestreos, preparación de muestras y análisis para el procedimiento propuesto (*ver Tablas N° 17, 18 y 19*).
- **Para el control por Rayos X.-** Se evalúa el consumo de energía de cada unidad involucrada en el control, consumo de energía por cada actividad de control, consumo de energía por hora y costo de la energía para cada actividad de control. (*ver Tablas N° 20, 21, 22 y 23*)
- **Para el control por Rayos X.-** Se efectúa el cálculo del costo de la mano de obra involucrada por cada actividad de control, costo horario de la mano de obra (*ver Tablas N° 24 y 25*)
- **Para el control clásico por gravimetría.-** Para efectos de comparación la eficacia del control químico por Rayos X frente al control clásico se efectúa el estudio de tiempos, la evaluación del consumo de reactivos, cuadro de tiempos y costos que representaba el control clásico, antes de implementar el control por Rayos X (*ver Tablas N° 26A, 26B, 26C, 27A, 27B, 28A, 28B, 28C, 28D1, 28D2, 28E1, 28E2*)

TABLA Nro 17.-ESTUDIO DE TIEMPOS DE LAS ACTIVIDADES DE CONTROL POR RAYOS X

ACTIVIDAD	t(min) Muestreo	t(min) Chancado	t(min) Pulveriz.	t(min) Pesaje	t(min) Molienda	t(min) Prensado	t(min) Análisis	t(min) total
BF Cru-2H3	3.04			0.69	3.14	2.28	2.61	11.76
BF Cru-1H3	1.90			0.71	3.14	2.26	2.57	10.58
BF Cru-1H2	2.00			0.70	3.15	2.28	2.60	10.73
Homog 2	0.94			0.71	3.14	2.26	2.57	9.62
Homog 1	3.62			0.68	3.15	2.26	2.14	11.85
Bza-H3	1.24			0.61	3.15	2.22	1.82	9.04
Bza-H2	1.89			0.64	3.15	2.28	1.83	9.79
Clk-H3	0.22			0.68	3.14	2.26	3.19	9.49
Clk-H2	0.23			0.68	3.14	2.28	3.12	9.45
Cemento 3	1.91			0.69	3.15	2.26	3.82	11.83
Cemento 4	1.91			0.68	3.15	2.28	3.85	11.87
Cemento 5	1.91			0.68	3.14	2.29	3.85	11.87
Caliza QCX	3.61		1.83	0.64	3.15	2.26	1.79	13.28
Hierro QCX	3.61		1.72	0.68	3.15	2.27	1.79	13.22
Arcilla QCX	3.61		1.64	0.69	3.15	2.25	1.79	13.13
Arena QCX	3.61			0.68	3.14	2.28	1.79	11.50
Carbon Hornos	2.31			0.68	3.15	2.26	1.82	10.22
Comp. Clinker	2.22			0.69	3.15	2.26	3.06	11.38
Comp. Cemento	3.01			0.74	3.14	2.27	3.06	12.22
Ingr. Yeso	13.00	2.35	1.78	0.70	3.15	2.26	1.85	25.09
Ingr. Hierro	12.65	3.87	1.80	0.68	3.15	2.26	1.83	26.24
Bza.H1 cal		1.15	1.78	0.68	3.14	2.28	1.83	10.86
Disp. Canteras				0.68	3.14	2.29	1.83	7.94
Promedio	3.26	2.46	1.76	0.68	3.15	2.27	2.45	12.30

TABLA Nro 18.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS PARA LAS ACTIVIDADES DE CONTROL POR RAYOS X BASE : 1 HORA

ACTIVIDAD	Frec Muestreo	Frec Chancado	Frec Pulveriz.	Frec Pesaje	Frec Molienda	Frec Prensado	Frec Analisis	Necesidad Control
BF Cru-2H3	1.00			1.00	1.00	1.00	1.00	c/1 hr
BF Cru-1H3	1.00			1.00	1.00	1.00	1.00	c/1 hr
BF Cru-1H2	1.00			1.00	1.00	1.00	1.00	c/1 hr
Homog 2	0.25			0.25	0.25	0.25	0.25	c/4 hr
Homog 1	0.25			0.25	0.25	0.25	0.25	c/4 hr
Bza-H3	0.25			0.25	0.25	0.25	0.25	c/4 hr
Bza-H2	0.25			0.25	0.25	0.25	0.25	c/4 hr
Clk-H3	0.50			0.50	0.50	0.50	0.50	c/2 hr
Clk-H2	0.50			0.50	0.50	0.50	0.50	c/2 hr
Cemento 3	0.25			0.25	0.25	0.25	0.25	c/4 hr
Cemento 4	0.50			0.50	0.50	0.50	0.50	c/2 hr
Cemento 5	0.50			0.50	0.50	0.50	0.50	c/2 hr
Caliza QCX	0.04		0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	1xdía
Hierro QCX	0.04		0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	1xdía
Arcilla QCX	0.04		0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	1xdía
Arena QCX	0.04			0.04	0.04	0.04	0.04	1xdía
Carbon Hornos	0.04			0.04	0.04	0.04	0.04	1xdía
Comp. Clinker	0.08			0.08	0.08	0.08	0.08	2xdía
Comp. Cemento	0.08			0.08	0.08	0.08	0.08	2xdía
Ingr. Yeso	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	3xdía
Ingr. Hierro	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	3xdía
Bza.H1 cal		0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	3xdía
Disp. Canteras				0.21	0.21	0.21	0.21	05xdía

TABLA Nro 19.- EMPLEO DE TIEMPO POR HORA DE LAS ACTIVIDADES DE CONTROL POR RAYOS X

ACTIVIDAD	t(min) Muestreo	t(min) Chancado	t(min) Pulveriz.	t(min) Pesaje	t(min) Molienda	t(min) Prensado	t(min) Analisis	Tiempo Total
BF Cru-2H3	3.040			0.690	3.140	2.280	2.610	11.760
BF Cru-1H3	1.898			0.710	3.140	2.260	2.570	10.578
BF Cru-1H2	2.000			0.700	3.150	2.280	2.600	10.730
Homog 2	0.234			0.178	0.785	0.565	0.643	2.404
Homog 1	0.905			0.170	0.788	0.565	0.535	2.963
Bza-H3	0.310			0.153	0.788	0.555	0.455	2.260
Bza-H2	0.473			0.160	0.788	0.570	0.458	2.448
Clk-H3	0.108			0.340	1.570	1.130	1.595	4.743
Clk-H2	0.117			0.340	1.570	1.140	1.560	4.727
Cemento 3	0.476			0.173	0.788	0.565	0.955	2.956
Cemento 4	0.953			0.340	1.575	1.140	1.925	5.933
Cemento 5	0.953			0.340	1.570	1.145	1.925	5.933
Caliza QCX	0.144		0.073	0.026	0.126	0.090	0.072	0.531
Hierro QCX	0.144		0.069	0.027	0.126	0.091	0.072	0.529
Arcilla QCX	0.144		0.066	0.028	0.126	0.090	0.072	0.525
Arena QCX	0.144			0.027	0.126	0.091	0.072	0.460
Carbon Hornos	0.092			0.027	0.126	0.090	0.073	0.409
Comp.Clinker	0.178			0.055	0.252	0.181	0.245	0.910
Comp. Cemento	0.241			0.059	0.251	0.182	0.245	0.978
Ingr. Yeso	1.625	0.294	0.223	0.088	0.394	0.283	0.231	3.136
Ingr. Hierro	1.581	0.484	0.225	0.085	0.394	0.283	0.229	3.280
Bza.H1 cal		0.072	0.111	0.043	0.196	0.143	0.114	0.679
Disp. Canteras				0.142	0.654	0.477	0.381	1.654

TABLA Nro 20.- CONSUMO DE ENERGIA DE LOS PROCESOS DE PREPARACION Y ANALISIS

ACTIVIDAD	Kw	Kw	Kw	Kw	Kw	Kw
	Chancado	Pulverizado	Molienda	Prensado	Analisis	Varios
BF Cru-2H3			1.75	1.85	4.34	1.83
BF Cru-1H3			1.75	1.85	4.34	1.83
BF Cru-1H2			1.75	1.85	4.34	1.83
Homog 2			1.75	1.85	4.34	1.83
Homog 1			1.75	1.85	4.34	1.83
Bza-H3			1.75	1.85	4.34	1.83
Bza-H2			1.75	1.85	4.34	1.83
Clk-H3			1.75	1.85	4.34	1.83
Clk-H2			1.75	1.85	4.34	1.83
Cemento 3			1.75	1.85	4.34	1.83
Cemento 4			1.75	1.85	4.34	1.83
Cemento 5			1.75	1.85	4.34	1.83
Caliza QCX		3.2	1.75	1.85	4.34	1.83
Hierro QCX		3.2	1.75	1.85	4.34	1.83
Arcilla QCX		3.2	1.75	1.85	4.34	1.83
Arena QCX			1.75	1.85	4.34	1.83
Carbon Hornos			1.75	1.85	4.34	1.83
Comp. Clinker			1.75	1.85	4.34	1.83
Comp.Cemento			1.75	1.85	4.34	1.83
Ingr. Yeso	2.3	3.2	1.75	1.85	4.34	1.83
Ingr. Hierro	2.3	3.2	1.75	1.85	4.34	1.83
Bza.H1 cal	2.3	3.2	1.75	1.85	4.34	1.83
Disp. Canteras			1.75	1.85	4.34	1.83

TABLA Nro 21.- CONSUMO DE ENERGIA POR CADA ACTIVIDAD DE CONTROL POR RAYOS X

ACTIVIDAD	Kw-hr Chancado	Kw-hr Pulverizado	Kw-hr Molienda	Kw-hr Prensado	Kw-hr Análisis	Kw-hr Varios	Kw-hr Totales
BF Cru-2H3			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33
BF Cru-1H3			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33
BF Cru-1H2			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33
Homog 2			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33
Homog 1			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33
Bza-H3			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33
Bza-H2			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33
Clk-H3			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33
Clk-H2			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33
Cemento 3			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33
Cemento 4			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33
Cemento 5			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33
Caliza QCX		0.10	0.09	0.07	4.34	1.83	6.43
Hierro QCX		0.09	0.09	0.07	4.34	1.83	6.42
Arcilla QCX		0.09	0.09	0.07	4.34	1.83	6.42
Arena QCX			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33
Carbon Hornos			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33
Comp. Clinker			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33
Comp.Cemento			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33
Ingr. Yeso	0.09	0.09	0.09	0.07	4.34	1.83	6.52
Ingr. Hierro	0.15	0.10	0.09	0.07	4.34	1.83	6.58
Bza.H1 cal	0.04	0.09	0.09	0.07	4.34	1.83	6.47
Disp. Canteras			0.09	0.07	4.34	1.83	6.33

TABLA Nro 22.- CONSUMO DE ENERGIA POR HORA DEL CONTROL POR RAYOS X

ACTIVIDAD	Kw-hr Chancado	Kw-hr Pulverizado	Kw-hr Molienda	Kw-hr Prensado	Kw-hr Análisis	Kw-hr Varios	Kw-hr Totales
BF Cru-2H3			0.092	0.070	4.340	1.830	6.332
BF Cru-1H3			0.092	0.070	4.340	1.830	6.331
BF Cru-1H2			0.092	0.070	4.340	1.830	6.332
Homog 2			0.023	0.017	4.340	1.830	6.210
Homog 1			0.023	0.017	4.340	1.830	6.210
Bza-H3			0.023	0.017	4.340	1.830	6.210
Bza-H2			0.023	0.018	4.340	1.830	6.211
Clk-H3			0.046	0.035	4.340	1.830	6.251
Clk-H2			0.046	0.035	4.340	1.830	6.251
Cemento 3			0.023	0.017	4.340	1.830	6.210
Cemento 4			0.046	0.035	4.340	1.830	6.251
Cemento 5			0.046	0.035	4.340	1.830	6.251
Caliza QCX		0.004	0.004	0.003	4.340	1.830	6.180
Hierro QCX		0.004	0.004	0.003	4.340	1.830	6.180
Arcilla QCX		0.003	0.004	0.003	4.340	1.830	6.180
Arena QCX			0.004	0.003	4.340	1.830	6.176
Carbon Hornos			0.004	0.003	4.340	1.830	6.176
Comp. Clinker			0.007	0.006	4.340	1.830	6.183
Comp.Cemento			0.007	0.006	4.340	1.830	6.183
Ingr. Yeso	0.011	0.012	0.011	0.009	4.340	1.830	6.213
Ingr. Hierro	0.019	0.012	0.011	0.009	4.340	1.830	6.221
Bza.H1 cal	0.003	0.006	0.006	0.004	4.340	1.830	6.189
Disp. Canteras			0.019	0.015	4.340	1.830	6.204
Total	0.033	0.041	0.654	0.499	4.340	1.830	7.397

TABLA Nro 23.- COSTO DE LA ENERGIA POR HORA PARA EL CONTROL POR RAYOS X

Costo USD/kw-hr = 0.05

ACTIVIDAD	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	Chancado	Pulverizado	Molienda	Prensado	Analisis	Varios	Totales
BF Cru-2H3			0.0046	0.0035	0.2170	0.0915	0.3166
BF Cru-1H3			0.0046	0.0035	0.2170	0.0915	0.3166
BF Cru-1H2			0.0046	0.0035	0.2170	0.0915	0.3166
Homog 2			0.0011	0.0009	0.2170	0.0915	0.3105
Homog 1			0.0011	0.0009	0.2170	0.0915	0.3105
Bza-H3			0.0011	0.0009	0.2170	0.0915	0.3105
Bza-H2			0.0011	0.0009	0.2170	0.0915	0.3105
Clk-H3			0.0023	0.0017	0.2170	0.0915	0.3125
Clk-H2			0.0023	0.0018	0.2170	0.0915	0.3125
Cemento 3			0.0011	0.0009	0.2170	0.0915	0.3105
Cemento 4			0.0023	0.0018	0.2170	0.0915	0.3126
Cemento 5			0.0023	0.0018	0.2170	0.0915	0.3126
Caliza QCX		0.0002	0.0002	0.0001	0.2170	0.0915	0.3090
Hierro QCX		0.0002	0.0002	0.0001	0.2170	0.0915	0.3090
Arcilla QCX		0.0002	0.0002	0.0001	0.2170	0.0915	0.3090
Arena QCX			0.0002	0.0001	0.2170	0.0915	0.3088
Carbon Hornos			0.0002	0.0001	0.2170	0.0915	0.3088
Comp. Clinker			0.0004	0.0003	0.2170	0.0915	0.3091
Comp.Cemento			0.0004	0.0003	0.2170	0.0915	0.3091
Ingr. Yeso	0.0006	0.0006	0.0006	0.0004	0.2170	0.0915	0.3107
Ingr. Hierro	0.0009	0.0006	0.0006	0.0004	0.2170	0.0915	0.3110
Bza.H1 cal	0.0001	0.0003	0.0003	0.0002	0.2170	0.0915	0.3094
Disp. Canteras			0.0010	0.0007	0.2170	0.0915	0.3102
Total	0.002	0.002	0.033	0.025	4.991	2.105	7.157

TABLA Nro 24.- COSTO DE LA MANO DE OBRA POR CADA ACTIVIDAD DE CONTROL POR RAYOS X

M.Obra \$/hr = 7.53

ACTIVIDAD	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	Muestreo	Chancado	Pulveriz.	Pesaje	Molienda	Prensado	Analisis	total
BF Cru-2H3	0.38			0.09	0.39	0.29	0.33	1.48
BF Cru-1H3	0.24			0.09	0.39	0.28	0.32	1.33
BF Cru-1H2	0.25			0.09	0.40	0.29	0.33	1.35
Homog 2	0.12			0.09	0.39	0.28	0.32	1.21
Homog 1	0.45			0.09	0.40	0.28	0.27	1.49
Bza-H3	0.16			0.08	0.40	0.28	0.23	1.13
Bza-H2	0.24			0.08	0.40	0.29	0.23	1.23
Clk-H3	0.03			0.09	0.39	0.28	0.40	1.19
Clk-H2	0.03			0.09	0.39	0.29	0.39	1.19
Cemento 3	0.24			0.09	0.40	0.28	0.48	1.48
Cemento 4	0.24			0.09	0.40	0.29	0.48	1.49
Cemento 5	0.24			0.09	0.39	0.29	0.48	1.49
Caliza QCX	0.45		0.23	0.08	0.40	0.28	0.22	1.67
Hierro QCX	0.45		0.22	0.09	0.40	0.28	0.22	1.66
Arcilla QCX	0.45		0.21	0.09	0.40	0.28	0.22	1.65
Arena QCX	0.45			0.09	0.39	0.29	0.22	1.44
Carbon Hornos	0.29			0.09	0.40	0.28	0.23	1.28
Composito Clinker	0.28			0.09	0.40	0.28	0.38	1.43
Comp. Cemento	0.38			0.09	0.39	0.28	0.38	1.53
Ingr. Yeso	1.63	0.29	0.22	0.09	0.40	0.28	0.23	3.15
Ingr. Hierro	1.59	0.49	0.23	0.09	0.40	0.28	0.23	3.29
Bza.H1 cal		0.14	0.22	0.09	0.39	0.29	0.23	1.36
Disp. Canteras				0.09	0.39	0.29	0.23	1.00

TABLA 25.- COSTO POR HORA DE LA MANO DE OBRA POR CADA ACTIVIDAD DE CONTROL POR RAYOS X

Costo Hra-h \$/hra = 7.53

ACTIVIDAD	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	Muestreo	Chancado	Pulveriz.	Pesaje	Molienda	Prensado	Analisis	total
BF Cru-2H3	0.38			0.09	0.39	0.29	0.33	1.48
BF Cru-1H3	0.24			0.09	0.39	0.28	0.32	1.33
BF Cru-1H2	0.25			0.09	0.40	0.29	0.33	1.35
Homog 2	0.03			0.02	0.10	0.07	0.08	0.30
Homog 1	0.11			0.02	0.10	0.07	0.07	0.37
Bza-H3	0.04			0.02	0.10	0.07	0.06	0.28
Bza-H2	0.06			0.02	0.10	0.07	0.06	0.31
Clk-H3	0.01			0.04	0.20	0.14	0.20	0.60
Clk-H2	0.01			0.04	0.20	0.14	0.20	0.59
Cemento 3	0.06			0.02	0.10	0.07	0.12	0.37
Cemento 4	0.12			0.04	0.20	0.14	0.24	0.74
Cemento 5	0.12			0.04	0.20	0.14	0.24	0.74
Caliza QCX	0.02		0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.07
Hierro QCX	0.02		0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.07
Arcilla QCX	0.02		0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.07
Arena QCX	0.02			0.00	0.02	0.01	0.01	0.06
Carbon Hornos	0.01			0.00	0.02	0.01	0.01	0.05
Composito Clinker	0.02			0.01	0.03	0.02	0.03	0.11
Comp. Cemento	0.03			0.01	0.03	0.02	0.03	0.12
Ingr. Yeso	0.20	0.04	0.03	0.01	0.05	0.04	0.03	0.39
Ingr. Hierro	0.20	0.06	0.03	0.01	0.05	0.04	0.03	0.41
Bza.H1 cal		0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.09
Disp. Canteras				0.02	0.08	0.06	0.05	0.21

TABLA Nro. 26A.- ESTUDIO TIEMPOS ANALISIS LAB.QUIMICO (METODO CLASICO)

Análisis : Clinker y Cemento

Actividad	ANALISIS								
	P.Fuego	SiO2	R2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	CaOlib	Res.insol
Pesaje	2.00	2.00		2.00			1.00	1.50	3.00
Ataque		20.00	5.00	10.00	5.00	5.00	20.00		10.00
Fusión									
Ebullición			3.00		3.00		10.00	30.00	5.00
Enfriamiento		5.00	5.00		45.00	720.00	10.00	5.00	10.00
Secado		30.00		25.00					
Filtrado		10.00	8.00	5.00	60.00	30.00	30.00	5.00	10.00
Calcinación	45.00	45.00	45.00		45.00	45.00	45.00		45.00
Enfriamiento	5.00	5.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00		5.00
Titulación				2.00				0.50	
Pesaje	2.00	2.00	2.00		2.00	2.00			2.00
Total	54.00	119.00	73.00	54.00	165.00	807.00	121.00	42.00	90.00

TABLA Nro 26B.- ESTUDIO TIEMPOS LABORATORIO QUIMICO

Análisis : Crudo y Materia Prima

Ensayo	TIEMPOS							
	P.Fuego	SiO2	R2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	CaCO3
Pesaje	2.00	2.00						1.50
Ataque		30.00	5.00	15.00	10.00	5.00	25.00	
Fusión		45.00						
Ebullición			3.00		3.00	30.00	10.00	3.00
Enfriamiento		5.00	5.00	10.00	45.00	720.00	5.00	5.00
Secado		300.00						
Filtrado		40.00	5.00		60.00	30.00	30.00	
Calcinación	45.00	45.00	45.00		45.00	45.00	45.00	
Enfriamiento	5.00	5.00	5.00		5.00	5.00	5.00	
Titulación				5.00				2.00
Pesaje	2.00	2.00	2.00		2.00	2.00		
Total	54.00	474.00	70.00	30.00	170.00	837.00	120.00	11.50

ANALISIS COMPLEXIMETRICOS

Actividad	TIEMPOS	
	Fe2O3	Al2O3
Pesaje	2.50	
Ataque	8.00	2.00
Fusión	45.00	
Ebullición	5.00	7.00
Enfriamiento	5.00	10.00
Ajuste pH	2.00	2.00
Titulación	5.00	5.00
Total	72.50	26.00

TABLA 26C.- CONTROL PROCESO POR HORA EN LABORATORIO QUIMICO

TABLA DE FRECUENCIAS

Base : 1 hora

Pto. Control	Control CaCO3	An. EDTA Fe2O3	An. EDTA Al2O3	Analisis Cal Libre	Analisis Sulfatos	Perdida al Fuego	Analisis Quimico
BF Cru-2	2.000						
BF Cru-1	2.000						
Homog 2	1.000	0.375	0.375				
Homog 1	1.000	0.375	0.375				
Bza-H3	0.250					0.042	0.007
Bza-H2	0.250					0.042	0.007
Clk-H3				0.500			0.042
Clk-H2				0.500			0.042
Cemento 1					0.250		0.021
Cemento 3					0.250		0.021
Cemento 4					0.250		0.021
Cemento 5					0.250		0.021
Ingr. Yeso							0.021
Ingr. Hierro							0.028
Disp. Canteras	0.028						0.028
Ciclón V H3						0.500	
Ciclón IV H2						0.500	

TABLA Nro 27A.- EVALUACION DEL CONSUMO DE REACTIVOS DE LOS ANALISIS POR GRAVIMETRIA

Análisis : Clinker y Cemento

Reactivo	Unidad	Costo USD	CANTIDADES								
			P.Fuego	SiO2	R2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	CaOLibre	Res.Insol
HCl	cm 3	0.0104		5.00	2.00	15.00			5.00		5.00
NH4OH	cm 3	0.0167			10.00	15.00		75.00			
HCl 1:1	cm 3	0.0131		20.00			15.00				
NH4OH 1:1	cm 3	0.0079					30.00				
NH4Cl QP	grs	0.1204		1.50							
Papel 41	unidad	0.1450		1.00	1.00				1.00		2.00
Papel 42	unidad	0.1200					1.00		1.00	1.00	
Rojo Metilo	cm 3	0.0212			1.00		1.00	1.00			1.00
Agua desmineraliz.	cm 3	0.0002		200.00	50.00	100.00			250.00		1500.00
Ind. Sulf. de Bario cc	gr	11.8000				0.50					
Sol SnCl2.	cm3	0.0109				5.00					
Sn metálico	grs	0.2171				5.00					
HgCl2 sol.sobresat..	cm3	0.0917				10.00					
H3PO4 1:1	cm3	0.0234				10.00					
solución K2Cr2O7	cm3	0.0005				10.00					
Oxalato Amonio 50g/l	grs	0.0040					40.00				
NH4(PO4)2 100g/l	cm3	0.0010						40.00			
BaCl2 100g/l	cm3	0.0034							10.00		
Etilenglicol	cm3	0.0238								70.00	
Propanol	cm3	0.0112								30.00	
NaOH 50 gr/lto	cm3	0.0015									200.00

TABLA 27B.- EVALUACION DE CONSUMO DE REACTIVOS EN LOS ANALISIS POR GRAVIMETRIA

Análisis : Crudo y Materia Prima

Reactivo	Unidad	Costo USD	CANTIDADES							
			P.Fuego	SiO2	R2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	CaCO3
HCl	cm 3	0.0104		10.00	2.00	15.00			5.00	
NH4OH	cm 3	0.0167			10.00	15.00		75.00		2.00
HCl 1:1	cm 3	0.0131		20.00			15.00			
NH4OH 1:1	cm 3	0.0079					30.00			
NH4Cl QP	grs	0.1204								
Papel 41	unidad	0.1450		1.00	1.00				1.00	
Papel 42	unidad	0.1200					1.00		1.00	
Rojo Metilo	cm 3	0.0212			1.00					
Agua desmineraliz.	cm 3	0.0002		200.00	50.00	100.00			250.00	
Ind. Sulf. de Bario cc	cc	0.0698				0.50				
Sol SnCl2.	cm3	0.0109				5.00				
Sn metálico	grs	0.2171				5.00				
HgCl2 sol.sobresat..	cm3	0.0917				10.00				
H3PO4 1:1	cm3	0.0234				10.00				
solución K2Cr2O7	cm3	0.0005				10.00				
Oxalato Amonio 50gr/lt	cc	0.0040					40.00			
NH4(PO4)2 100g/l	cm3	0.0010						10.00		
BaCl2 100g/l	cm3	0.0034							10.00	
Na2CO3	gr	0.1121		3.00						
Tetraborato de Li tio	gr	0.2124		1.00						
NaOH 0.25 N	cc	0.0004								30.00

ANALISIS COMPLEXIMETRICOS

Reactivo	Unidad	Costo USD	CANTIDADES	
			Fe2O3	Al2O3
Na2CO3	gr	0.1121	3.00	
Tetraborato de Litio	gr	0.2124	1.00	
HCl 1:1	cm 3	0.0131	10.00	
NH4OH 1:1	cm 3	0.0079	15.00	15.00
Ind. Naranja Xilenol	cm 3	0.0344	0.50	
Ind. Acido Sulfosali cil.	cm 3	1.5057		1.00
EDTA	cm 3	0.0016	5.00	10.00
Buffer	cm 3	0.0014		5.00

TABLA 28A.- COSTO POR HORA DEL CONTROL POR EL LABORATORIO QUIMICO

TABLA DE COSTOS

Base : 1 hora

Control : Producción Crudo. Clinker y Cemento

Costo Total USD/hra = 80.499

Pto. Control	Control CaCO3	An. EDTA Fe2O3	An. EDTA Al2O3	Analisis Cal Libre	Analisis Sulfatos	Perdida al Fuego	Analisis Quimico
BF Cru-2	3.243						
BF Cru-1	3.243						
Homog 2	1.621	4.034	1.954				
Homog 1	1.621	4.034	1.954				
Bza-H3	0.405					0.204	1.376
Bza-H2	0.405					0.204	1.376
Clk-H3				2.965			4.022
Clk-H2				2.965			4.022
Cemento 1					2.840		2.011
Cemento 3					2.840		2.011
Cemento 4					2.840		2.011
Cemento 5					2.840		2.011
Ingr. Yeso							5.503
Ingr. Hierro							5.503
Disp. Canteras	0.045						5.503
Ciclón V H3						2.448	
Ciclón IV H2						2.448	
Total Analisis	10.584	8.067	3.907	5.930	11.360	5.304	35.343

TABLA 28B.- EVALUACION DEL COSTO DE LOS ANALISIS POR GRAVIMETRIA

Análisis : Clinker y Cemento

Total USD/Análisis = 96.52

	us/kw-hr	kw	hrs	kw-hr		emp.us/hr	obr. us/hr
Energía	0.05	13.8	24	331.2	M. Obra	4.75	7.53

COSTO	CANTIDADES								
	P.Fuego	SiO2	R2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	CaOlib	Res.Insol
Reactiv. USD/Análisis		0.67	0.36	8.62	0.89	1.31	0.39	2.12	0.89
Energía USD/Análisis	0.62	1.37	0.84	0.62	1.90	9.28	1.39	0.48	1.04
MO USD/Análisis	4.28	9.42	5.78	4.28	13.06	6.89	9.58	3.33	7.13
Total USD/Análisis	4.90	11.46	6.98	13.51	15.85	17.48	11.36	5.93	9.05

TABLA Nro 28C.- EVALUACION DEL COSTO DE LOS ANALISIS POR GRAVIMETRIA

Análisis Completo : Crudo y Materia Prima

Total USD/Análisis = 198.11

	us/kw-hr	kw	hrs	kw-hr		emp.us/hr	obr. us/hr
Energía	0.05	13.8	24	331.2	M. Obra	4.75	7.53

COSTO POR ANALISIS								
RUBRO	P.Fuego	SiO2	R2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	CaCO3
Reactiv. USD/Análisis		0.54	0.36	2.75	0.71	1.26	0.39	0.05
Energía USD/Análisis	0.62	5.45	0.81	0.35	15.64	77.00	11.04	0.13
MO USD/Análisis	4.28	37.53	5.54	2.38	13.46	6.89	9.50	1.44
Total USD/Análisis	4.90	43.52	6.71	5.47	29.81	85.15	20.93	1.62

EVALUACION DEL COSTO DE LOS ANALISIS POR COMPLEXIMETRIA

Análisis Parcial : Crudo y Materia Prima

Total USD/Análisis = 15.97

COSTO ANALISIS		
RUBRO	Fe2O3	Al2O3
Reactiv. USD/Análisis	0.82	1.65
Energía USD/Análisis	0.83	0.30
MO USD/Análisis	9.10	3.26
Total USD/Análisis	10.76	5.21

TABLA Nro. 28D.- COMPARACION COSTOS CONTROL RAYOS X Y LABORATORIO QUIMICO

LABORATORIO QUIMICO

1.1.- Costo de la Depreciación por Hora

Inversión en \$	Equipo Laboratorio	Material de Vidrio	Servicios Vent, Aire
	23.920	5.980	3.588
	Vida Util (años)	3	

Total Inversión \$	33.488
Depreciación \$/hora	1.27

1.2.-Costo de la Supervisión por Hora

Supervisión	Numero Ingenieros	Costo \$ Hora
	2	9.62

COSTOS FIJOS EN US\$/hr = 10.89

2.0 COSTOS VARIABLES

TABLA 28D-1

2.1.- Costo de la M.Obra por hora

M.Obra	Numero Total Obreros	Numero Turnos/Día	Numero Obreros/Turno	Costo \$ Hra-h
	3	3	1	7.53

2.1.- Costo de la Energía por hora

Energía	Kw-hr Lab. Químico	Costo \$ por Kw-hr	Costo Energía \$/Hr
	13.8	0.05	0.69

COSTO VARIABLE EN US\$/hr = 8.22

COSTO TOTAL LAB. QUIMICO EN US\$/hr = 19.11

COSTO DE CONTROL DE PROCESO POR LABORATORIO QUIMICO

Nro análisis turno	Nro horas turno	Nro Análisis por hora	Costo Control LQ Usd/Hra	Costo por Analisisxhr
8	8	1	19.11	19.11

TABLA Nro. 28E.- COMPARACION COSTOS CONTROL RAYOS X Y LABORATORIO QUIMICO

RAYOS X

1.0.- COSTOS FIJOS

1.1.- Costo de la Depreciación por Hora

Inversión en \$	Equipo Rayos X	Equipo Preparación	Computador Comunicaciones	Software Rayos X	Software QCX	Servicio + Ingeniería	Impuestos Aeropuerto
	155.453	26.775	6.479	108.461	188.250	241.183	47.691

Total Inversión \$	Vida Util (años)	Depreciación \$/hora
774.292	5	17.68

1.2.-Costo de la Supervisión por Hora

Supervisión	Numero Ingenieros	Costo \$ Hora
	2	9.62

COSTOS FIJOS EN US\$/hr 27.30

2.0 COSTOS VARIABLES

TABLA 28E-1

2.1.- Costo de la M.Obra por hora

M.Obra	Numero Total Obreros	Numero Turnos/Dia	Numero Obreros/Turno	Costo \$ Hra-h
	3	3	1	7.53

2.1.- Costo de la Energía por hora

Energía	Kw-hr Control R X	Costo \$ por Kw-hr	Costo Energía \$/Hr
	7.534	0.05	0.3767

COSTO VARIABLE EN 7.91

COSTO TOTAL CONTROL RAYOS X EN US\$/hr = 35.20

COSTO DE CONTROL DE PROCESO POR RAYOS X

Nro análisis turno	Nro horas turno	Nro Análisis por hora	Costo Control RX Usd/Hra	Costo por Análisisxhr
42	8	5	35.20	7.04

F.4.- Aplicación del QCX en el control de la elaboración del Crudo

El **QCX** (Control de Calidad por Rayos X) es un sistema de análisis químico y control creado para procesos cementeros.

Este consiste en un Equipo de Rayos X desde el que se puede realizar el control químico del proceso en tiempo real equipado con 8 canales de medición y comunicado al proceso mediante un computador conectado a los **PLC** del proceso.

El QCX realiza el control químico en la molienda de crudo, proporcionando una operación automática entre el análisis y la dosificación de los materiales que intervienen en la fabricación de crudo. Los resultados de los análisis químicos son convertidos en módulos químicos los que fueron previamente programados (LSF, MS, MA).

Los resultados de los análisis son visualizados y guardados para reportes junto con la información del tipo de análisis, datos de día y hora.

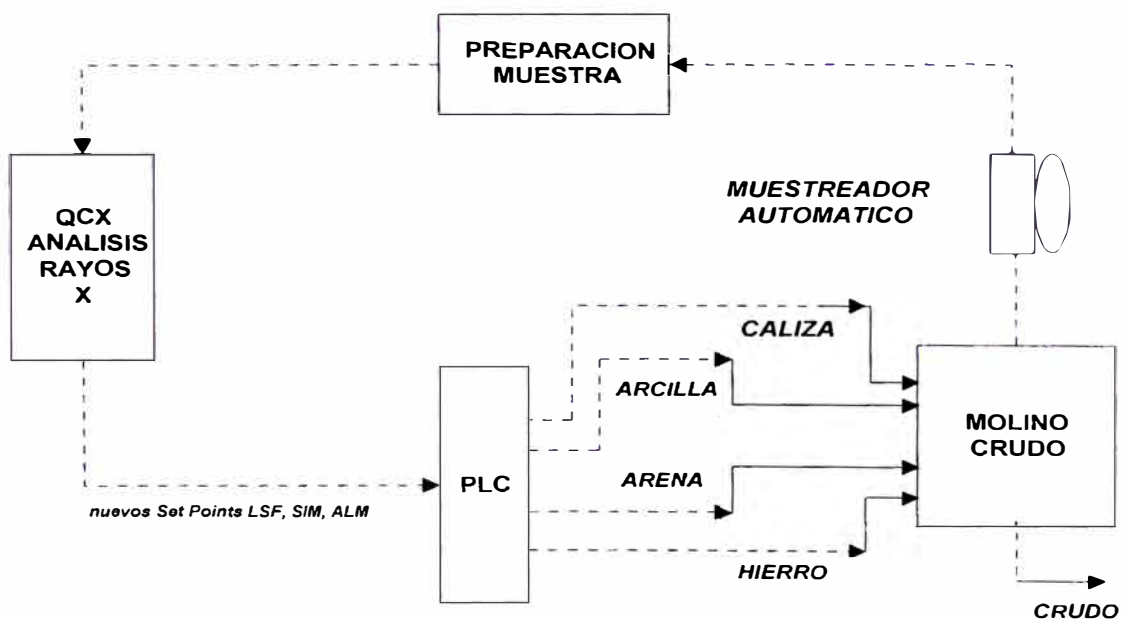
Las regulaciones de las balanzas son calculadas para un control de modo *en línea* y poder de esta manera optimizar la composición química del crudo que se produce.

Las funciones que puede realizar QCX son las siguientes:

- Entablar comunicación con las balanzas de los cuatro materiales que intervienen en la elaboración de harina cruda, operación que se lleva a cabo en el molino.
- Después que la computadora recibe la composición química del crudo, enviada por el equipo de Rayos X calcula los valores de la LSF, MS, MA (valores actuales).

- Los valores objetivo deseados para la LSF, MS, MA fueron programados previamente (set points). La computadora entonces calcula las desviaciones de los set-points y de los valores actuales.
- Los valores esperados para LSF, MS y MA serán calculados tomando en cuenta de las desviaciones del proceso respecto de los últimos 23 controles realizados antes.
- A través de un procedimiento de optimización, la computadora calcula la mezcla requerida de los constituyentes del crudo (caliza, arcilla, arena y mineral de fierro).
- La composición química promedio de la materia prima es insertada al programa como parámetro de operación del mismo.
- En caso de algún cambio en el promedio de la composición química de la materia prima el programa corrige estas variaciones.

En el siguiente esquema se muestra el proceso de control automático de la línea de producción de crudo en CPSAA; donde se observa la interrelación entre el control (Rayos X – PLC) y el proceso (molino)



G.- Conclusiones:

- El control por Rayos X es mucho más ventajoso que el control por análisis químico clásico. Es más barato, se controlan más puntos del proceso, existe mayor volumen de preparación de muestras, se elimina el error humano y se obtienen los resultados de los análisis químicos completos en segundos.
- Se utiliza materia prima eficientemente, por el control exacto de la dosificación automática alimentándose al molino la materia prima necesaria para conseguir los parámetros químicos objetivo y producir un crudo homogéneo en composición.
- Mejora la estabilidad del horno, como consecuencia de la poca variación en la composición química de crudo alimentado al horno.
- Reduce en las variaciones de calidad del clinker, debido a la poca variación en la calidad de crudo alimentado al horno, lo cual permite a su vez ir incrementando paulatinamente la calidad del clinker.
- Mejora los reportes de datos químicos actuales como históricos del proceso, permitiendo disponer de la información en tablas y gráficos.
- Este método de análisis por su velocidad y la conveniencia del procedimiento, permite análisis multicomponentes completos en unos pocos minutos que comparado al método antiguo resulta enormemente ventajoso.
- La exactitud y la precisión de los métodos de fluorescencia de rayos X supera a otros métodos químicos. Por su sensibilidad la medición está en el intervalo de 0.01 al 100 %, pero en algunos casos se pueden llegar a medir hasta de unas pocas partes por millón.
- Este ventajoso método de análisis permite además disminuir la mano de obra. Un técnico, previamente capacitado, puede realizar el trabajo de análisis bajo la supervisión de un Ingeniero.

SEGUNDA ACTIVIDAD

*Administración y Control de Producción en una
Planta de Selección de Escoria Siderúrgica*

A. EL ORGANO EMPRESARIAL

A.1.- Nombre y razón social de la empresa:

Cementos Pacasmayo S.A.A.

A.1.1.- Dirección:

Carretera Panamericana Norte Km 666 - Pacasmayo La Libertad

A.2.- Sector al cual pertenece:

Sector de Energía y Minas
Subsector Industria de los no-metálicos

B. RELACION PROFESIONAL - EMPLEADOR

B.1.- Condición:

Nombrado

B.2.- Documentos Probatorios

Certificado de trabajo adjunto. *Ver Apéndice B*

C. TRABAJO PROFESIONAL DESARROLLADO

C.1.- Cargo Desempeñado

Ingeniero Jefe de Sección Producción

Responsable Administración y Control Operaciones Pta. Selección Escoria

C.2.- Funciones Asignadas al Cargo desempeñado

La operación de la Planta de Selección de Escorias es continua en turnos rotatorios de ocho horas cada uno con personal contratado. Las operaciones se desenvuelven de manera coordinada y siguiendo una rutina preestablecida para mantener la eficiencia del proceso.

En este ambiente se involucran varias áreas de ingeniería como operaciones de movimiento de tierras (minería), nociones básicas de mantenimiento (electricidad, electrónica y mecánica), maquinaria pesada (motores diesel) y naturalmente ingeniería química (operaciones de selección de partículas y secado)

Las funciones asignadas se resumen en lo siguiente:

- Abastecer a la planta Pacasmayo de la cantidad de Escoria suficiente para sus programas de ventas.
- Cumplir con los parámetros de calidad establecidos para la Escoria que se envía a Pacasmayo tanto en el contenido de fierro metálico como en el contenido de humedad.
- Responsable del normal desenvolvimiento de las operaciones, coordinar reparaciones, mantenimiento mecánico y mantenimiento eléctrico tanto a la Planta como a la maquinaria pesada al servicio de esta.
- Capacitación del personal coordinando con especialistas de cada área involucrada.
- Fijar parámetros de operación y establecer control y reporte diario de producción.

C.2.1.- Supervisión Operativa

- a) Debido a la distancia en que se encuentra la Planta de Selección 250 Km al sur de Pacasmayo en Chimbote es necesario viajar semanalmente para verificar el normal desenvolvimiento de las operaciones.
- b) Según el caso lo requiera las inspecciones que se realizan a la Planta son durante todo un día determinado y se toman nota de las necesidades, y se decide el plan operativo de las semanas siguientes.
- c) Se verifican procedimientos de control de parámetros de calidad. Supervisión de los parámetros de calidad de la Escoria que llega a Pacasmayo
- d) Se abastece a la Planta de consumibles para su normal desenvolvimiento.
- e) Diariamente y varias veces al día se establece comunicación telefónica con la Planta de Selección para informarnos del desarrollo de la producción.

C.2.2.- Supervisión Administrativa

- a) Evaluar al personal contratado en las funciones asignadas.
- b) Controlar el consumo de combustible para la maquinaria pesada (cargador frontal, tractor con rastra y volquete) necesaria para el movimiento del material.
- c) Dotar al personal de implementos de seguridad para el normal desarrollo de sus funciones.
- d) Coordinar con el contratista cambios de personal y reparaciones menores.
- e) Programar y coordinar con la empresa que efectúa el traslado de la escoria desde Chimbote a Pacasmayo.

D. FUNCIONES DESEMPEÑADAS QUE NECESITARON CONOCIMIENTO DE TECNICAS PROFESIONALES

D.1 Tipo de técnicas de ingeniería necesarias

- Control estadístico de la Calidad.
- Ingeniería de métodos.
- Balance de Masa.
- Planeamiento y Control de la Producción.
- Análisis Químico cualitativo.
- Análisis Químico Cuantitativo.
- Operaciones en Ingeniería Química.
- Economía de los Procesos.

D.2 Cantidad y tipo de personal administrado

D.2.1 Operadores Planta Selección

Personal Contratado: 3 operadores

D.2.2 Operadores Maquinaria Pesada

Personal Contratado 3 Operadores

D.2.3 Operadores de Tractor con rastra

Personal Contratado: 01 operador

D.2.4 Operadores Volquete

Personal Contratado: 01 operador

E. OBJETIVOS ALCANCES Y CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA ACTIVIDAD

E.1 Selección de Escoria Siderúrgica para Adición al Cemento

E.1.1.- Objetivos

En el marco del proyecto de Cementos Pacasmayo S.A.A de producir cementos mezclados se realizó una investigación con vistas al desarrollo de cemento con escoria de alto horno. La escoria en cuestión para la producción de tal cemento, proviene de Sider-Peru Chimbote, ubicada a 250 Km. al sur.

Los objetivos principales de la actividad son:

- Mejorar la operatividad de los molinos de cemento por el uso de escoria seleccionada y seca.
- Mejorar la calidad de esta adición mediante la eliminación de residuos metálicos contaminantes y humedad.
- Eliminar los sobrecostos de transportar residuos no utilizables y humedad de Chimbote a Pacasmayo.
- Mejorar la calidad del cemento tipo MS por el uso de escoria seleccionada.

E.1.2.- Características Principales

El presente trabajo enfocará el proceso de selección a que se somete la escoria para acondicionarla a su uso en la producción de cemento. Esta selección envuelve procesos de movimiento de tierras, zarandeo, separación magnética y secado.

- Operación supervisada indirectamente mediante la designación de un responsable del grupo laboral en la Planta Chimbote.
- Reporte de producción diaria por vía telefónica y partes diarios.
- Evaluación de la producción por cubicación y por horas de operación de la Planta.
- Personal operador con capacidad de resolver emergencias mecánicas.

F. DESARROLLO Y SUSTENTACIÓN DE LOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA ASESORÍA

F.1 Conceptos Fundamentales

F.1.1 El Cemento Portland de Escoria

Se constituye de Clinker de Cemento Portland, Yeso y Escoria granulada en porcentajes comprendidos entre el 25 % y 65 % del total, molidos conjuntamente.

En Cementos Pacasmayo SAA se viene produciendo desde el 13 de Setiembre 1996 el cemento MS cuya principal adición es la escoria de Sider-Peru y que le confiere propiedades de moderada resistencia al ataque de los sulfatos y posibilidad de usarlo en suelos salitrosos. La demanda de este cemento ha llegado a superar las ventas de Cemento tipo I que era el cemento de uso tradicional.

F.1.2 La Escoria Granulada

La Escoria de alto horno en Sider-Peru es un subproducto formado de silicatos y de aspecto vidrioso, proveniente del tratamiento de minerales de fierro en alto horno. Este subproducto es enfriado rápidamente con un chorro de agua y almacenado en grandes extensiones de terreno, considerado material de desecho para la siderúrgica. El uso de la escoria en la fabricación de Cemento tiene su sustento económico-técnico en lo siguiente: debido a que es un sustituyente del Clinker* en la molienda, permitió bajar los costos por su menor valor respecto al Clinker y el sustento técnico se basa en que es un producto que se activa químicamente por los productos de reacción en el momento de la hidratación de clinker que constituye el Cemento de Escoria.

- Todo material sustituyente de clinker que proporcione propiedades ventajosas tanto químicas como físicas al cemento, se considera como adición.

F.1.3 Características de la Escoria de SiderPeru

F.1.3.1 Composición Química y Mineralógica

La composición química y mineralógica se presenta en la tabla N° 33 los parámetros químicos de la escoria indican un buen potencial hidráulico ya que los valores de la relación CaO/SiO_2 y $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ son del orden de 1.3 y 1.5 respectivamente.

Tabla 29. - COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MINERALÓGICA DE LA ESCORIA DE ALTO HORNO

Composición Química %		Escoria de Alto Horno
Perdida al Fuego	P.F.	0.98
Oxido de Sílice	SiO_2	32.50
Oxido de Aluminio	Al_2O_3	12.10
Oxido de Hierro	Fe_2O_3	1.10
Oxido de Calcio	CaO	42.30
Oxido de Magnesio	MgO	6.90
Trióxido de Azufre	SO_3^*	2.90
Oxido de Potasio	K_2O	0.33
Oxido de Sodio	Na_2O	0.52
Oxido de Titanio	TiO_2	0.43
Oxido de Manganeso	Mn_2O_3	0.22
Pentóxido de Fosforo	P_2O_5	0.01
Cloruros	Cl^-	0.02
Total		100.3

Composición Mineralógica %	Escoria Alto Horno
Fase Vítreo	90 – 95
Fase Cristalina**	5 – 10

* azufre de sulfuro: 1.2 %

** componentes cristalinos: merwinita, akermanita

Aparte de la química favorable se observó también un alto contenido de fase vítrea de más de 90% en el análisis mineralógico indicando un buen enfriamiento de la misma. A partir de la composición química y mineralógica se puede esperar entonces una buena actividad de la escoria.

La composición de las escorias corresponde principalmente a óxidos de cal, de sílice, aluminio y magnesio. La composición mineralógica esta compuesta básicamente de minerales como la calcita, merwinita, limonitas, plagioclasas, cuarzo, micas y gehlenita acompañados de un material amorfo y abundante.

F.1.3.2 La Actividad Hidráulica

La escoria de alto horno, finamente molida y mezclada con agua, no está en condiciones de endurecerse de manera apreciable. Si la escoria se mezcla con agua, en presencia de pequeñas cantidades de cal, yeso, cemento portland o de otras sustancias como por ejemplo hidróxido de sodio o potasio, capaces de volver alcalina el agua de amasijo, la mezcla se endurece comportándose como un verdadero aglutinante hidráulico.

Las escorias están constituidas por elementos silico-calcáreos del mineral y las cenizas del coque; presentando constituyentes de la misma naturaleza que el clinker de cemento portland pero en diferentes y variables proporciones.

La actividad hidráulica que puede ser evaluada por la resistencia mecánica de un mortero, depende en primer lugar, de su estado vidrioso y aumenta con su contenido de vidrio.

La actividad hidráulica de la escoria depende además de su composición, aunque de una manera muy compleja: esta aumenta con la relación CaO/SiO_2 , hasta llegar al valor límite donde se vuelve prácticamente imposible la granulación de la escoria, puesto que mientras mayor es el contenido de CaO , mayor es la tendencia de la escoria fundida a cristalizarse.

Actualmente se usa una fórmula para expresar la actividad hidráulica de la escoria sobre la base de su análisis químico:

$$i(h) = \frac{\text{CaO} + \text{CaS} + \frac{1}{2} \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \text{MnO}}$$

Donde : $i(h) > 1.9$ escoria óptima
 $1.9 > i(h) > 1.5$ escoria buena

F.1.3.3.- Cementos de escoria–Características y ventajas del uso de escoria

El Cemento de Escoria presenta un color un poco más claro que el Cemento Portland, mientras que su masa volumétrica varía por lo general entre 3.0 y 3.05 gr./cm³ ligeramente más baja que la del Cemento Portland (3.10 - 3.15)

El agregado de sales influye en el fraguado y en el endurecimiento del Cemento de Escorias de manera análoga al Cemento Portland.

Las variaciones de las dimensiones de la pasta de Cemento de Escoria relacionadas por la contracción por secado o con el desplazamiento por viscosidad, son substancialmente las mismas que se observan en el Cemento Portland.

Un concreto fabricado con Cemento de Escoria, en el momento de la hidratación eleva el pH entre 11 y 12.5 lo cual es suficiente para pasivar el fierro, protegiéndolo de la corrosión.

Desde el punto de vista de la durabilidad el Cemento de Escoria presenta indudablemente ciertas ventajas adicionales respecto al Cemento Portland ofreciendo mayor resistencia a la acción del agua deslavadora que contiene anhídrido carbónico agresivo, las aguas que contienen sulfatos en general, incluyendo el agua de mar.

El agregado de escoria provoca efectos beneficiosos en relación con la resistencia al ataque de los sulfatos especialmente en el caso del cemento portland relativamente rico en C3A (8 - 11%).

En las tablas 30 y 31 se presentan las características físicas y químicas del cemento MS que produce Cementos Pacasmayo SAA el cual lleva una adición hasta de 32% de escoria.

Tabla N° 30.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO TIPO MS (CON ESCORIA)

Característica	Normalizado	Cemento T MS
Finura Blaine, cm ² /gr	--	3900
Expansión Autoclave, max %	0.80	0.12
Fraguado Inicial , (min)	> 45	122
Fraguado Final , (min)	< 420	276
Resistencia a la Compresión, 3 días, Mpa	10.0	24.72
Resistencia a la Compresión, 7 días, Mpa	17.0	30.38
Resistencia a la Compresión, 28 días Mpa	--	38.20
Expansión de mortero en barra 14 días %	max 0.020	0.017
Expansión por Sulfatos, 6 meses	max 0.10	0.078

Tabla N° 31. - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL CEMENTO TIPO MS (con escoria)

Análisis Químico	Requerimiento	Cemento T MS
Oxido de Silicio % SiO ₂	--	22.05
Oxido de Aluminio % Al ₂ O ₃	--	6.35
Oxido de Hierro % Fe ₂ O ₃	--	3.30
Oxido de Calcio % CaO	--	57.92
Oxido de Magnesio % MgO	max. 6.0	3.58
Trióxido de Azufre % SO ₃	max. 3.0	2.78
Oxido de Sodio % Na ₂ O	--	0.51
Oxido de Potasio % K ₂ O	--	0.61

F.2 Desarrollo de la actividad

F.2.1.- Identificación de la Escoria de Sider-Peru

F.2.1.1.- Ubicación

La escoria en la Siderúrgica se almacena en grandes extensiones de terreno y en las laderas del Cerro de la zona "Pallasca" al noroeste del complejo y a cuatrocientos metros del Océano Pacífico

El flujo diario de escoria fresca recién producida en el alto horno para almacenar es de aproximadamente 350 Tmpd. la cual es transportada con volquetes de volteo que van dejando el material en el talud del depósito.

F.2.1.2.- Reservas aprovechables

Del levantamiento topográfico del depósito se determinó un potencial almacenado de 264,490.915 Tm que aseguran un abastecimiento de escoria por tres años para producción de cemento tipo MS en CPSAA.

F.2.1.3.- Tipos de escoria disponible

Existen dos tipos de escoria almacenada en el depósito:

F.2.1.3.1.- Escoria 'Cerro'

Denominada de esta manera por que es una escoria antigua, almacenada durante mucho tiempo, sometida al intemperismo del ambiente y que ha formado extensos bloques compactados de material que tiene considerable humedad 12 % aproximadamente.

Adicionalmente, como este material fue considerado de desecho por mucho tiempo es que en este depósito se eliminaba restos metálicos de toda índole.

Esta escoria presenta una granulometría muy variable pudiéndose encontrar tamaños hasta de 25 cm de diámetro de escoria muy compactada la que sería necesario chancar, adicionalmente como describimos la escoria se encuentra mezclada con residuos metálicos de tamaños que llegan hasta 50 cm.

A este material es que CPSAA le aplica un proceso de selección en una Planta de Zarandeo montada en el terreno al pie del denominado 'Cerro' dentro de las instalaciones de SiderPeru.

El proceso de selección considera desde el desbroce de material compactado del 'cerro', pasando por la eliminación magnética de metales de gran tamaño > 4", Zarandeo, eliminación magnética de partículas de fierro menores de 3/4" y secado por venteo.

F.2.1.3.2.- Escoria 'Fresca'

Es un material mucho más limpio, de aspecto granular, poroso, que indica un buen enfriamiento, exento de contaminantes metálicos de gran tamaño y mínimo contenido metálico (limadura de hierro).

Debido al proceso de enfriamiento de la escoria, esta arrastra gran contenido de humedad llegando hasta 20 % - 25%

Esta escoria CPSAA la somete al proceso de secado por venteo y la envía a Pacasmayo lista para su uso en adición al cemento.

F.2.2.- Planta de Selección de Escoria CPSAA

F.2.2.1.- Ubicación de la Planta

La planta de Selección de Escorias de CPSAA se encuentra en ubicada dentro de las instalaciones de Siderperu en la Zona de Balanza Pallasca en un área vecina al depósito de la Escoria Cerro. *(Ver Plano 1: Proceso Selección Escoria en Sider-Perú, Chimbote)*

Siderperu cedió a CPSAA 40,300 m² para realizar las operaciones de selección de escoria, área cedida a raíz del acuerdo firmado por ambas compañías para que el cliente CPSAA seleccione la escoria antes de enviarla a Pacasmayo.

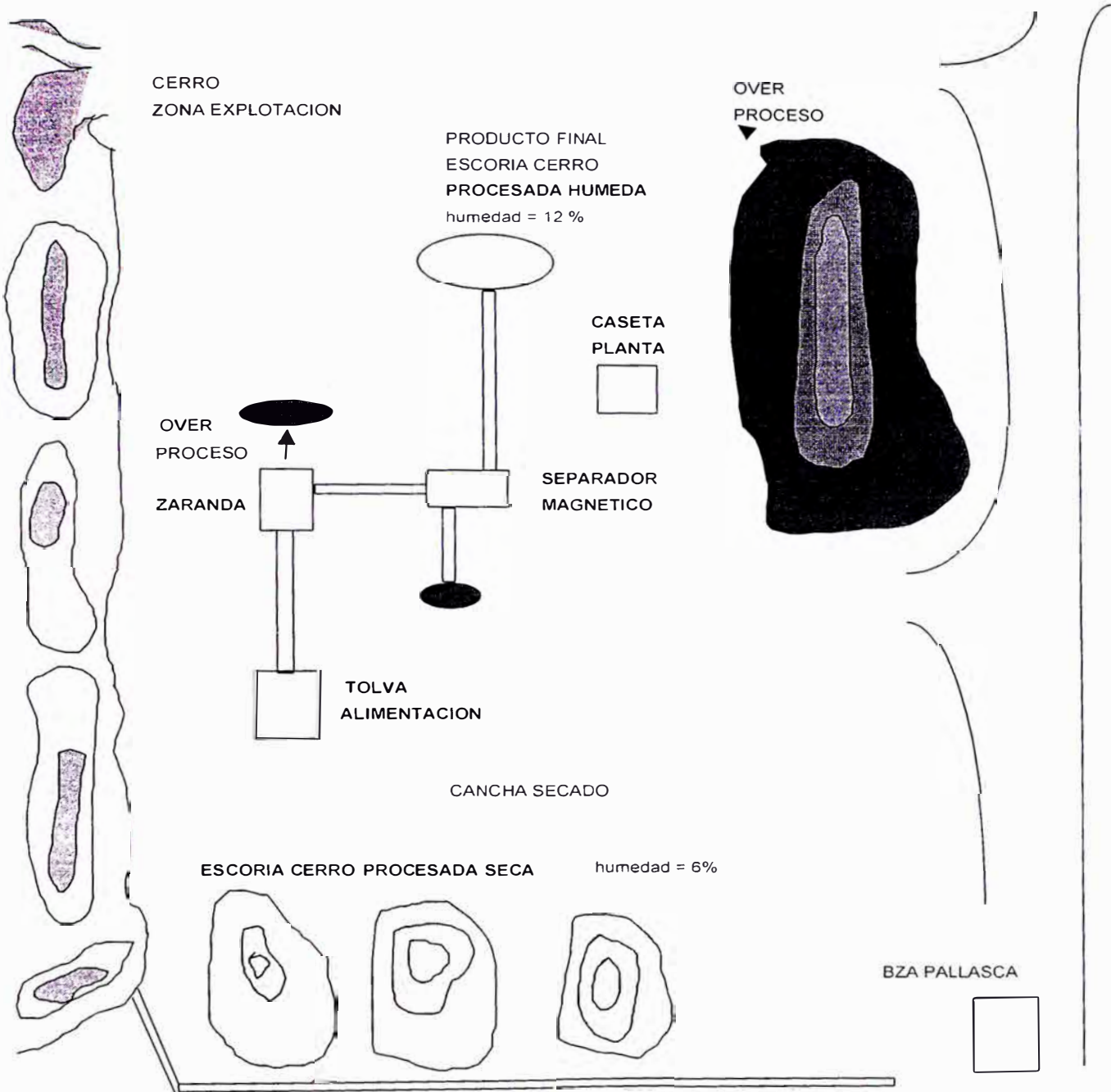
F.2.2.2.- Descripción de la planta de Selección de Escorias

La Planta de Selección de Escorias fue adquirida a **Svedala-Fima** cuyo modelo es **Combi Screen Super Hydro-S**.

La característica principal es que la planta de zarandeo es completamente hidráulica, fajas y zaranda son accionadas por motores hidráulicos que reciben la alimentación de aceite de una bomba principal reduciéndose de esta manera el costo por energía eléctrica en casi un 50%. Al final del proceso se le ha dotado de un módulo de separación magnética que se encarga de eliminar los residuos de metal finos que pasan el proceso de zarandeo.

- La Planta de Selección de Escorias fue construida como una unidad móvil de zarandeo para clasificar materiales de diferentes tamaños
- El material a clasificar es alimentado por medio de un cargador frontal en la tolva de alimentación. Una parrilla de 4" de abertura en la parte superior de la tolva de alimentación detiene los tamaños muy grandes de material antes que llegue a la zaranda.

PLANO Nro 1
UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA DE SELECCIÓN



- En la parte inferior de la tolva de alimentación existe la faja de alimentadora de capacidad variable y que coloca el material sobre la faja transportadora principal, la cual alimenta a la zaranda vibratoria. La zaranda vibratoria clasifica el material dividiéndolo en tres fracciones de tamaño diferente los que son llevados por dos fajas transportadoras diferentes a sus respectivas zonas de almacenamiento.
- El material fino que pasa las mallas de la zaranda es transportado por una faja hacia la tolva del separador magnético, el cual es alimentado mediante un vibrador alimentador con el material de la tolva. Una vez que la escoria pasa por la separación magnética donde se le ha quitado el contenido metálico fino (limadura de hierro y residuos metálicos pequeños) esta es conducida a su almacenamiento para su posterior secado

F.2.3.- Operaciones en la planta de selección de escorias

F.2.3.1 Preparación de Escoria

La operación de preparación de Escoria Cerro se realiza con un Tractor de orugas Caterpillar D8N en campañas mensuales de 06 días a 24 horas día. Esta operación considera trasladar y remover escoria por empuje para facilitar su carguío con cargador frontal. Se adjunta **Tabla Nro 32** con los cálculos de la preparación de Escoria que se extrae de la zona de explotación (cerro).

F.2.3.2.- Operaciones de Carguío y Acarreo en la Planta de Selección de Escoria

La operación de Carguío se hace empleando un cargador frontal Caterpillar 950 F.

El acarreo se hace empleando un volquete Volvo de 12 m³ de capacidad.

Estas operaciones se realizan para abastecer a la Planta, separar el producto final y eliminar productos de desecho. En la **Tabla Nro 33** se adjunta la evaluación del costo de carguío y acarreo en que se incurre en la planta para abastecerla.

F.2.3.3.- Alimentación a la Planta

La alimentación de la escoria al proceso de Selección se realiza con el Cargador Frontal CAT 950 F que esta a servicio de Planta tomando el material que el volquete trae del 'Cerro' a Planta. En el **Plano Nro 2** se adjunta el diagrama de flujo del proceso de selección donde se detallan los tonelajes/hra, humedades y % de residuos metálicos que tiene la escoria.

F.2.3.4.- Zarandeo de la Escoria

El proceso de zarandeo se realiza luego de que la escoria es alimentada al sistema por la tolva de alimentación de la que sale la faja principal que alimenta a la zaranda donde se realiza la separación de la granulometría fina de la gruesa.

En esta zaranda tenemos dos mallas, una superior de 2" y la otra de 3/4" las que permiten un mejor flujo del material grueso y fino en el zarandeo. Por la naturaleza de la escoria (granulometría heterogénea) es que en esta zaranda se utilizan dos mallas. Se adjunta **Tabla Nro 34** donde se detallan los datos de esta operación

F.2.3.5.- Separación Magnética

Una vez que el material sale del proceso de selección granulométrica, se encuentra en tamaños menores de 3/4" se hace pasar por un proceso de Selección Magnética en el cual se separa el contenido metálico que siempre arrastra la escoria consigo.

Para el proceso de selección magnética se dispone de una tolva de alimentación con capacidad de 3 Tm. que se encuentra después de la zaranda, por la parte inferior de la tolva se dispuso un vibrador alimentador.

El vibrador alimentador descarga la escoria en un separador magnético rotatorio el que elimina la parte metálica del material como limadura de hierro, costras metálicas, etc. Se adjunta **Tabla Nro 34** donde se detallan los datos de esta operación

F.2.3.6.- Operación de Secado

La operación de secándose realiza al medio ambiente aprovechando el aire y el fuerte calor de la zona. La escoria seleccionada es acomodada en una cancha de gran área haciendo una cama de 40 cm. de espesor.

Esta escoria es removida cada dos horas empleando un tractor con rastra que realiza el trabajo de remoción de la escoria extendida haciendo que el material que se encuentra cubierto en el fondo se exponga a la superficie.

El proceso de secado sigue un mecanismo capilar donde el sólido es la escoria, el gas secante es el aire caliente de los vientos y la carga a remover es el agua que fluye a la superficie externa por capilaridad (escoria porosa). Adjuntamos cuadro resumen de la operación y su costeo correspondiente. Se adjunta **Tabla Nro 34** donde se detallan los datos de esta operación.

G.- Conclusiones

- Se demostró el hecho de reciclar materiales que algunas industrias consideran de desecho.
- Se demuestra también que la industria cementera es un gran sector que ayuda a disminuir los perjuicios que la contaminación puede acarrear. La eliminación de la escoria que ocupa grandes extensiones en Sider-Peru, permitirá construir ambientes con áreas verdes y pantanos que contribuirán a la mejora del equilibrio ecológico de la zona.
- Los grandes ahorros en reemplazar clinker por escoria mejoran la rentabilidad de la empresa generando gran disminución de costos.
- Mediante el proceso de secado de la escoria, al aire libre, aprovechando las condiciones ambientales, también se generó gran ahorro y se protege a la ecología, puesto que no se gastó en construir la planta de secado ni se quemó un litro de petróleo para secar la escoria.

**TABLA Nro 32.- GASTOS DE OPERACION PREPARACION
ESCORIA CERRO SIDERPERU**

PRECIO UNITARIO ESCORIA US\$/ TM.
GASTO DE OPERACION US\$. 2.743 **P.U.** 0.16 **US\$/TM.**
PRODUCCION ESCORIA TM. 17.069

1.- PREPARACION

1.1 TRACTOR : D8N-3 **INDICE** **HRS MEC.** 161.5

DESCRIPCION	UND./H.	CANT.	P.U.	P.P.
PETROLEO (GL)	8.8545	1430.00	1.15	1644.50
ACEITE HIDRAULICO (GL)	0.0266	4.00	5.42	21.68
GRASA (KG.)	0.0365	2.00	2.69	5.38
TOTAL				\$1.671.56

GASTO DE OPERACION DE LIMPIEZA US\$/H. 10.4
RENDIMIENTO (TM/HR) 105.69
PRODUCCION (TM). 17.069
COSTO UNITARIO DE LIMPIEZA US\$/TM. 0.10

3.- SERVICIOS AUXILIARES

2 VIAJES TRASLADO

3.1 TRACTOCAMION **INDICE** **HORAS MEC.** 18

DESCRIPCION	UND./H.	CANT.	P.U.	P.P.
PETROLEO (GL)	3.9086	70.35	1.15	80.91
ACEITE DELVAC 1240 (GL)	0.0754	1.36	5.94	8.06
ACEITE DELVAC 1310 (GL)	0.0236	0.03	5.42	0.15
GRASA (KG.)	0.0425	0.76	2.69	2.06
TOTAL				\$91.18

GASTO OPERACION PREPARACION US\$/H. 5.1
PRODUCCION MES DE SETIEMBRE (TM). 17069.0
COSTO UNITARIO TRASLADO TRACTOR D8N-3 (CAMABAJA) US\$/TM. 0.01

3.2 CAMIONETA LADA SUPERVISION **INDICE** **KM.** 500

DESCRIPCION	UND./KM.	CANT.	P.U.	P.P.
GASOLINA 95%(GL)	35.0000	14.29	2.39	34.13
MANTENIMIENTO (SERV.)	0.0020	1.00	0.06	0.06
TOTAL				\$34.19

GASTO OPERACION MOVILIDAD (US\$/KM) 0.068
PRODUCCION MES DE SETIEMBRE (TM). 17069.0
COSTO UNITARIO DE MOVILIDAD CAMIONETA LADA US\$/TM 0.002

4.- GASTO DE MANO DE OBRA Y VIATICOS

H.N

VIATICOS

2.1.- TRACTOR D8N-3 248 166.68
 2.2.- SERV.AUXILIARES 32 10.65
 2.3.- CAMIONETA LADA 16 5.38
US\$ 182.70

TOTAL HRS.NORM.	296	182.70
P.U. US\$/HR.	2.58	1
P.P US\$	763.68	182.70

GASTO DE VIATICOS 946.38
GASTO UNITARIO MANO DE OBRA Y VIATICOS US\$/TM 0.06

GASTO DE LA OPERACION PREPARACION US\$/TM 0.16
GASTO TOTAL PREPARACION (INC. DEPRECIACION) US\$/TM 0.71

TABLA Nro 33.- COSTO OPERACION SELECCION ESCORIA SIDERPERU

PRODUCCION (TM)	24.938	FECHA INICIO : 20/ENERO/1998	
GASTO (US\$)	11.658	FECHA FINAL : 19/FEBRERO/1998	
GASTO GRAL (10%)	1.166	DIAS OPERACION	27
GASTO TOTAL (US\$)	12.824		
GASTO UNITARIO (US\$/TM)	0.5		

1.- CARGUIO

CARGADOR VOLVO BM L120C H. MEC. 540

DESCRIPCION	INDICE GLN/HR	UNIDAD	CANT. GLN	P.U. USD/GLN	P.P USD	US\$/HR.	US\$/TM
a.- Petróleo							
Enero	3.24	GLN	712.80	1.70	1211.76		
Febrero	3.24	GLN	1036.80	1.70	1762.56		
Total			1749.60	1.70	2974.32		
b. Mantto.			1.00	211.10	211.10		
GASTO HORARIO DE OPERACION : US\$/H.					3185.42	5.90	
COSTO UNITARIO DE OPERACION : US\$/TM							0.13

2.- ACARREO

VOLQUETE VOLVO NL-12 H. MEC. 216

DESCRIPCION	INDICE GLN/HR	UNIDAD	CANT.	P.U. USD/GLN	P.P USD	US\$/HR.	US\$/TM
a.- Petróleo							
Enero	1.86	GLN	163.68	1.7	278.26		
Febrero	1.86	GLN	238.08	1.7	404.74		
Total			401.76	1.7	682.99		
b. Mantto			1	536.4	536.40		
COSTO HORARIO DE OPERACION : US\$/H.					1219.39	5.65	
COSTO UNITARIO DE OPERACION : US\$/TM							0.05

3.- MANO DE OBRA OPERADORES PLANTA Y MAQ. PESADA

DESCRIPCION	Nº OPERAD.	UNIDAD	CANT.	P.U. USD/UND	P.P US\$.	US\$/HR.	US\$/TM
Enero	8	HR.HBRE	1760.00	1.50	2640		
Febrero	8	HR.HBRE	2560.00	1.50	3840		
GASTO HORARIO DE OPERACION : US\$/H.					6480	1.50	
COSTO UNITARIO DE OPERACION : US\$/TM							0.26

4.- SUPERVISION

DESCRIPCION	SUPERV. HRS	UNIDAD	CANT.	P.U. US\$/UND.	P.P US\$.	US\$/HR.	US\$/TM
Supervisión	72	DIAS	6	100.24	601.44		
Movilidad	72	DIAS	6	28.6	171.6		
GASTO HORARIO DE OPERACION : US\$/H.					773.04	10.74	
COSTO UNITARIO DE OPERACION : US\$/TM							0.03
COSTO UNITARIO TOTAL DE OPERACION : US\$/TM							0.47

TABLA Nro 34**PLANTA SELECCION ESCORIAS - DATOS DEL PROCESO**

ALIMENTACION A TOLVA : ESCORIA CERRO

MAQUINARIA : CARGADOR CAT 966

	ESCORIA ALIMENTADA	MATERIAL ELIMINACION
		OVER TOLVA RECEPCION
#.PALADAS/HR	14	1
TM/PALADA	3.71	3.50
TM/HR	51.14	3.50
% HUMEDAD	13.30	9.59
% METALES	7.78	19.88
TMPD	1151	79

OPERACION SELECCION : ZARANDEO

	ESCORIA ALIMENTADA	MATERIAL ELIMINACION
		OVER PROCESO
TM/HR	47.64	5.92
% HUMEDAD	13.57	12.00
% METALES	6.90	35.00
TMPD	1071.90	133.20

OPERACION SEPARACION MAGNETICA

	ESCORIA ALIMENTADA	MATERIAL ELIMINACION	PRODUCTO FINAL
		METALES	ESCORIA SELECCIONADA
TM/HR	41.72	0.67	41.05
% HUMEDAD	13.78	1.50	14.00
% METALES	2.92	99.32	1.34
TMPD	939	15	924

OPERACION SECADO ESCORIA SELECCIONADA

MAQUINARIA : TRACTOR MF-309

	ESCORIA HUMEDA	PRODUCTO FINAL
		ESCORIA SECA*
TM/CANCHA	924	850
% HUMEDAD	14.00	6.00
TM AGUA	129.31	50.98

* consideramos escoria seca cuando tiene menos de 6% de humedad

III.- RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES DEL INFORME TECNICO

PRIMERA ACTIVIDAD

“Implementación del control químico del proceso de producción de cemento por Rayos X en Cementos Pacasmayo S.A.A.”

Durante muchos años, desde su creación, Cementos Pacasmayo SAA. adoptó el control químico de su proceso mediante métodos de análisis basados en la gravimetría.

El método empleado tomaba mucho tiempo para encontrar los resultados del análisis, era demasiado lento. Tenía que cumplirse con estos procedimientos de análisis porque estaban normalizados.

La presente actividad se desarrollo debido a que Cementos Pacasmayo S.A.A. en su afán de modernizar su proceso productivo adquirió en 1995 un sistema experto de control químico del proceso.

Este sistema consiste en lo siguiente:

El proceso, a controlar: un molino con cuatro balanzas de alimentación (caliza, arcilla, arena y hierro)

Un muestreador automático, a la salida del molino que recoge muestras del producto del molino cada 30 segundos. Este muestreador almacena las muestras durante una hora en un recipiente, luego es trasladada al laboratorio de Rayos X para su análisis.

Una sala de preparación de pastillas, para el análisis por Rayos X, donde se efectúan los procedimientos de molienda de muestra y prensado de las pastillas.

Un equipo de Rayos X, que realiza el análisis químico completo de la muestra y envía la información de los análisis al QCX.

Un software: el QCX, que recibe la información de los análisis realizados por el equipo de Rayos X, la procesa y efectúa el diseño de las nuevas proporciones de alimentación de las cuatro balanzas del molino (proceso).

Una red de computadoras interconectadas, al proceso que se comunican con los PLC de planta para enviar las ordenes del QCX.)

Este sistema permitió estabilizar el proceso de clinkerización en los hornos lograndose incrementar la producción muy ventajosamente.

Como se ha determinado en el presente informe el nuevo método de control por Rayos X permite analizar 42 muestras por turno de 8 hras a un costo por análisis de 7.04 \$/(Análisis x hra) frente a las 8 muestras/turno que se analizarían por el método gravimétrico a 19.11 \$/(Análisis x hra). Lo anterior adiciona grandes ventajas al nuevo sistema por su ahorro en costos.

SEGUNDA ACTIVIDAD

“Administración y control de una planta de selección de Escoria Siderúrgica”

La tendencia en la industria de cemento es la reducción continua de costos y se logra esto cuanto más barato resulte producir clinker o cuanto menos clinker se use en la molienda de cemento.

Las adiciones en la molienda de cemento ayudan a la segunda opción. Una adición es un material que tenga cualidades hidráulicas y que permita sustituir el clinker en la molienda de cemento.

La escoria siderúrgica es uno de los materiales que se utilizan como adición en la molienda de cemento para ahorrar clinker por sustitución.

Sider-Perú tiene en sus canchas de escoria grandes cantidades de este material el cual presenta el inconveniente de estar contaminado con residuos gruesos de metal y piedras.

La selección se hace para hacer viable su utilización en la elaboración de cemento eliminándose la contaminación.

Cementos Pacasmayo instaló dentro de Sider-Peru una planta de selección de escoria que consta de una zaranda con sistemas de fajas de alimentación y

descarga. Adicionalmente para la eliminación del contenido metálico fino se instaló un separador magnético.

La actividad describe las características del proceso de selección y considera también el respectivo costeo y determinación de flujo de materiales en todo el proceso de zarandeo.

Los objetivos de la selección de escoria se cumplieron de tal forma que el material se envía limpio y seco a Pacasmayo para su utilización en la elaboración del cemento tipo MS.

La ejecución del proyecto permite ahorrar 35% de clinker desde 1996 y determinó también el ahorro de aproximadamente 1M\$ en la etapa de su ejecución al reemplazar el secado de escoria con un secador quemando petróleo Búnker 6 por un sistema que aprovecha las características climatológicas de la zona.

IV BIBLIOGRAFIA

ASTM, 1994, Book of ASTM Standards Cement; Lime; Gypsum, Vol 4.01, pag. 20 – 130

ASTM, 1995, Book of ASTM Standards Cement; Concrete and Agregates; Vol 4.02, pag. 50–200.

Bogue, Herman Robert, La química del cemento Portland, Editorial Dossat S.A., Plaza Santa Ana, 9 – Madrid (1962), 642 pág.

Duda, Walter, Manual Tecnológico del Cemento, Editores Técnicos Asociados S.A., Maignón 26 – Barcelona (1977), 332 pág.

Eficacia, octubre 1993, Industria del Cemento 1988 – 1993, vol 10, pag 29-30

Forero Lora J; López Torres C; Quiroz Rojas E, 1985, Impacto económico de la sustitución de petróleo por carbón en la industria del cemento; vol I, editorial ESAN, vol I, pag. 30-150

ARL, ARL X-Ray Fluorescence Analisis Equipment Manual, 8680 TCA, ARL Suiza, 1994, 350 pag.

Gonzales de la Cotera, Manuel, Industria del Cemento en el Perú, ASOCEM, Lima, 1989, 32 pag.

Holderbank, 1996, Seminario del Cemento 1996 San José de Costa Rica, Volumen I, 350 pag.

Holderbank, 1996, Seminario del Cemento 1996 San José de Costa Rica, Volumen II, 400 pgs.

Holderbank, 1996, Seminario del Cemento 1996 San José de Costa Rica, Volumen III, 280 pgs

Holderbank, 1996, Seminario del Cemento 1996 San José de Costa Rica, Volumen IV, 300

V) APENDICES

APENDICE A

PROCESO DE FABRICACION DE **CEMENTO PORTLAND EN** **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**

PROCESO DE FABRICACION DE CEMENTO PORTLAND EN CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Introducción :

Para garantizar una mejor comprensión y acercamiento al proceso de producción de cemento portland en Cementos Pacasmayo S.A.A. describimos su proceso de producción de manera que el lector se familiarice mejor con los términos que se emplean en el presente trabajo.

Para mejor entendimiento hemos dividido el proceso sus partes más diferenciadas y paso a paso desde el tratamiento de la materia prima hasta la obtención del producto final.

Un panorama general del proceso se describe como a continuación observamos:

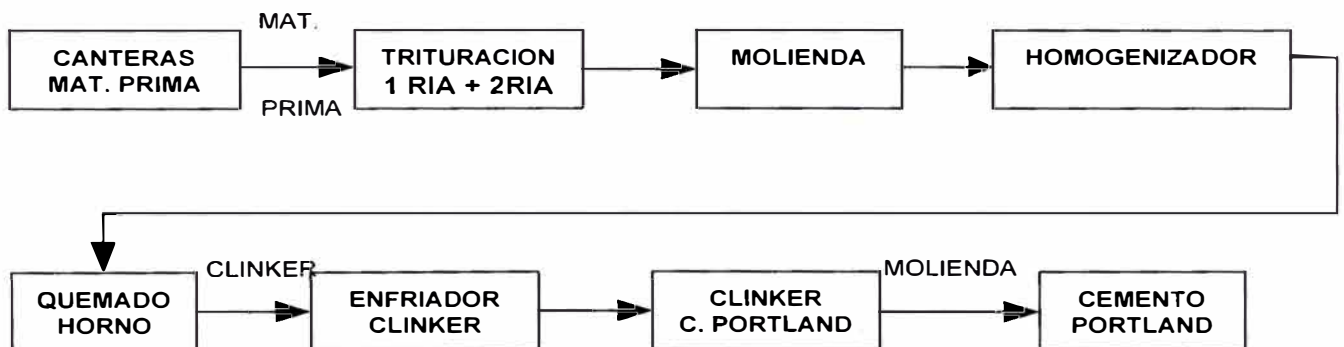


Fig. 1. Panorama del proceso de fabricación de Cemento

1.- Materia Prima

1.1. Materia Prima para Crudo

1.1.1. Caliza:

Roca sedimentaria formada por la precipitación del Carbonato Cálcico (CaCO_3) en las regiones batiales y abisales de los fondos marinos. Se encuentran en áreas continentales con unidades estratigráficas de gran extensión intercaladas con lutitas y margas. Se considera caliza o material calcáreo aquel que presente un valor de titulación de CaCO_3 mayor de 75%

Los materiales calcáreos más comunes son: Caliza, Caliza Margosa, Greda (tiza), Caliza Coralífera, Mármol, Caliza de Concha.

Cementos Pacasmayo SAA tiene su cantera de Caliza en la localidad de Tembladera a 65 Km de la Planta y emplea su propio equipo de explotación y transporte para llevarla a Pacasmayo. Se utiliza Caliza por su aporte de CaO al crudo y mejor es la caliza cuanto más CaO aporte.

1.1.2. - Arcilla:

Partículas finas, generalmente de silicatos de dimensiones menores de $1/256$ de mm procedente de la alteración física y química de las rocas y minerales. Casi todas las arcillas son silicatos aluminicos complejos hidratados.

Los materiales arcillosos más comunes son: Marga, Marga Arcillosa, Arcilla Margosa, Arcilla, Esquisto. Se utiliza arcilla para corregir la deficiencia de Al_2O_3 y SiO_2 en la formulación del crudo.

Cementos Pacasmayo SAA posee su propia cantera de arcilla ubicada a 1 Km de la planta y emplea su propio equipo de explotación y transporte para llevarla a planta.

1.1.3. - Arena:

Roca sedimentaria detrítica no cementada formada de dimensiones comprendidas entre 1/16 y 2 mm. Compuestas mayormente de cuarzo y feldespato además de otros minerales. Las arenas se encuentran depositadas en playas, depresiones, y desiertos luego de haber sido transportadas desde lugares alejados por el mar, ríos, y esencialmente por el viento.

Cementos Pacasmayo SAA, posee sus propias canteras de este material, son de origen eólico, ubicadas a 1 Km de la planta empleando su propio equipo de carguío para enviarla a planta. Se le usa en la formulación del crudo para corregir la deficiencia de SiO₂.

1.1.4. - Hierro:

Generalmente se le encuentra formando óxidos magnetita, hematita, limonita, como sulfuros, pirita, pirrotita, etc. Se utiliza fierro para corregir la deficiencia de Fe₂O₃ en el diseño del crudo.

Cementos Pacasmayo SAA, posee una mina de este mineral y emplea sus propios recursos para su explotación.

La mina se encuentra ubicada a 70 Km de la planta. Para satisfacer su demanda de mineral de hierro, también compra de terceros los que proveen de material adecuado a los requisitos exigidos por CPSAA. El control de calidad al ingreso de este material a la planta se hace antes de que los viajes descarguen en las canchas de fábrica.

1.2. - Características Físicas y Químicas

Dentro de las principales características Físicas y químicas de la materia prima que utiliza Cementos Pacasmayo SAA se muestra las principales características físicas y químicas de los materiales que se utilizan para la producción de crudo.

Características que constantemente se evalúan para planificar, explicar, definir y resolver los problemas que comúnmente están asociados a estas propiedades y que mostramos en la tabla siguiente:

PROPIEDADES QUIMICAS DE MAT.PRIMA C.N.P.S.A				
%	CALIZA	ARCILLA	ARENA	HIERRO
P.F	40.22	6.89	2.40	8.95
SiO ₂	5.30	63.54	76.66	20.44
Al ₂ O ₃	1.88	15.87	10.33	4.66
Fe ₂ O ₃	0.70	8.14	3.05	51.52
CaO	49.00	1.07	2.77	9.94
MgO	1.57	0.60	0.74	0.65
Na ₂ O	0.00	0.00	1.82	0.00
K ₂ O	0.28	3.27	1.62	0.10
SO ₃	0.28	0.14	0.00	0.00

Tabla 1. - Composición Química Promedio de Materia Prima para Crudo

PROPIEDADES FISICAS DE LA M.PRIMA C.N.P.S.A.				
W. index kwhr/Tm	12.85	6.94	37.26	10.47
θ aparente tm/mt ³	1.74	1.62	1.33	2.06
Molurabilidad gr./rev	1.56	3.43	2.18	2.12
Gravedad Específica	2.69	2.23	2.68	3.76

Tabla 2. - Propiedades Físicas más importantes de la Materia Prima para Crudo

Cada una de las propiedades es ampliamente usada para caracterizar la Materia Prima que se utiliza en la producción de crudo el que luego se quemará para obtener clinker y posteriormente Cemento.

Esta información es de valiosa ayuda acerca de las consideraciones que se tendrá en cuenta al momento de preparar el crudo.

Por lo anteriormente mencionado la caliza viene a ser la principal fuente para la obtención de crudo y los demás componentes como arcilla, arena y hierro se utilizan como correctores.

1.3. - Explotación de la Materia Prima para Crudo

En la siguiente tabla resumimos las operaciones y características principales de la explotación de la materia prima para producir crudo.

MATERIA PRIMA C.N.P	Tipo de Extracc.	Forma Extracción	Operación en Cantera	Equipo Minado Disponible	Tm/mes Producto Cantera	Calidad del Material	Tamaño del Producto
CALIZA	Tajo abierto por derrumbes	Perforado bancos caliza de 7 x 68 x 10 mts. y Voladura	Perforado Voladura Carguio Acarreo Trituración	Perforador Tractor Pala Cargador Volquete Trituradora	150,000 Tm Caliza por mes para la planta	La ley de CaCO ₃ varía entre 87 % y 91%	Tamaño producto menor 4"
ARCILLA	Tajo abierto convencional	Fragmentación con Tractor CAT D8N bancos 25 x 6 x 5	Perforado Voladura Limpieza Zarandeo Carguio	Tractor CAT D8N y Cargador Frontal CAT 988B Volquetes	8,000 Tm de arcilla zarandeada mes	Aporte de SiO ₂ 63 - 66% y Al ₂ O ₃ 16 - 17%	Al igual que la caliza menor de 4"
ARENA	Tajo abierto	Carguio directo	Carguio	Cargador Volquetes	11,000 Tm por mes	74 - 75 % de SiO ₂	Menos de 600 μ m
HIERRO	Tajo abierto convencional	Por bancos y niveles 5m x 7m x 25m	Desbroce Perforado Voladura Limpieza Selección	Tractor CAT D8N Perforador Cargador	3,000 Tm de Min. Hierro Mes	Aporte de 60-70% en Fe ₂ O ₃	Tamaños Menos de 4"

Tabla 3. - Resumen Operaciones explotación de la Materia Prima para Crudo

1.4. - El Papel de Control de Calidad

La intervención de Control de Calidad en cada una de las operaciones de explotación y obtención de la Materia Prima es de suma importancia, puesto que determina la utilización del material que se va extraer y permite ahorrar gran cantidad de recursos económicos y técnicos. Control de Calidad interviene determinando análisis químico y físico en:

	EXPLORACION DE CANTERA	EXPLORACION DE CANTERA	OPERACIONES DE CANTERA	INGRESO A FABRICA	CANCHAS ALMACEN
CALIZA	Muestreo Sondeo Voladuras	Niveles Bancos Perforación	Voladura Carguío Chancado	Recepción Almacenaje Lotes Espec.	Muestreos Vibradores Zonas
ARCILLA	Muestreo Sondeo Calicatas	Niveles Bancos Afloraciones	Desbroce Voladura Zarandeo	Recepción Almacenaje	Muestreos
ARENA	Muestreos	Bancos	Carguío	Recepción	Muestreos
HIERRO	Muestreos Calicatas Sondeos	Bancos	Desbroce Selección Carguío	Recepción	Muestreos

Tabla 4. - Principales actividades de control de calidad en la explotación de la materia prima para crudo

2.0. - Canchas de Almacenamiento

Las canchas de almacenamiento en CPSAA están diseñadas de tal manera que los materiales que se van a guardar a la intemperie se encuentren protegidos contra contaminación por otros materiales y asegure la maniobrabilidad de los equipos de carga y descarga en cancha.

	Cancha de Almacenamiento	Capacidad de Almacenamiento	Ubicación y distancia	Traslado proceso
CALIZA	Es la más grande 130 x 20 x 26 mts	120,000 Tm de Caliza menor 4"	Planta a 100 mts del proceso	Sistema de vibradores y fajas
ARCILLA	Dimensiones : 40 x 23 x 4 mts	6,000 Tm de arcilla menor 4"	Planta a 300 mts del proceso	Carguio en volquetes
ARENA	Dimensiones : 10 x 12 x 6 mts	1,000 Tm de arena fina	Planta a 30 mts del proceso	Carguio por Grúa puente
HIERRO	Dimensiones : 65 x 15 x 6 mts	12,000 Tm de min. Hierro menor 4"	Planta a 150 mts del proceso	Carguio en volquetes

Tabla 5. - Movimiento M.Prima en planta para su procesamiento

3. - Diseño de crudo para clinker

En el ambiente cementero se conoce como crudo a la mezcla dosificada de la materia prima. En el caso de Cementos Pacasmayo SAA viene a ser la mezcla proporcional de Caliza, Arcilla, Arena y Hierro. Esta mezcla se produce en un molino de bolas proporcionando un material fino y homogéneo.

Un crudo característico es aquel que posee el análisis siguiente:

%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%Na ₂ O	%K ₂ O	%SO ₃
13-14	2.90-3.30	2.0-2.5	42.0-42.8	1.1-1.5	0.1-0.2	0.3-0.6	0.1-0.2

Tabla N°6. - Rangos de variación típicos de un análisis químico

3.1. - Criterios para diseñar un crudo

- El diseño de una mezcla cruda no comprende solamente la dosificación de la mezcla cruda sino también consideraciones de factores como dosificaciones estándar de los tipos de cemento que se quieren producir la situación del mercado y las instalaciones disponibles para el proceso.
- El diseño de una mezcla cruda no comprende solamente el proporcionamiento (cálculo), sino incluye también una evaluación de los resultados obtenidos.
- Las especificaciones del producto determinan la calidad del clinker y cemento, los que a su vez determinan la composición química de la mezcla cruda y finalmente la selección de los componentes de la materia prima.

3.2. - Criterios químicos para el proporcionamiento de la mezcla cruda

Para el diseño del crudo el químico en la industria de cemento emplea los módulos calculados a partir de la composición química:

Saturación de Cal.- Indica la cantidad de CaO que puede combinarse con los “componentes ácidos” disponibles (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) en una mezcla cruda durante el quemado en el horno.

La saturación de cal se expresa de la forma siguiente:

$$\text{LSF} = 100 * \text{CaO} / (2.8 * \text{SiO}_2 + 1.18 * \text{Al}_2\text{O}_3 + 0.65 * \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

Módulo de Sílice.- Que relaciona la cantidad de sílice con los fundentes

$$\text{SIM} = \text{SiO}_2 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3)$$

Módulo de Alumina.- Que proporciona la razón entre el Al₂O₃ y el Fe₂O₃

$$\text{ALM} = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3$$

Como en el quemado del crudo se va a producir la fusión del mismo y producción de fases minerales es común emplear fórmulas teóricas que nos permitan efectuar el estimado del potencial de estas fases

Silicato Tricálcico

$$\mathbf{C3S = 4.07 \times CaO - 7.06 \times SiO_2 - 6.72 \times Al_2O_3 - 1.43 \times Fe_2O_3}$$

Silicato Bicálcico

$$\mathbf{C2S = 8.6 \times SiO_2 + 5.07 \times Al_2O_3 + 1.08 \times Fe_2O_3 - 3.07 \times CaO}$$

$$\mathbf{C2S = 2.87 \times SiO_2 - 0.754 \times C3S}$$

Aluminato Tricálcico

$$\mathbf{C3A = 2.65 \times Al_2O_3 - 1.69 \times Fe_2O_3}$$

Ferro-Aluminato Tetracálcico

$$\mathbf{C4AF = 3.04 \times Fe_2O_3}$$

3.3.- Tipos de mezclas Crudas

- Caliza arcillosa (marga) que tiene la composición de un cemento natural. La misma roca trae consigo material homogéneo. Las reacciones pueden realizarse inclusive con una mezcla cruda de grano grueso.
- La misma roca en condiciones metamórficas contiene, en vez de minerales, de arcilla, silicatos cristalizados. La reactividad es menor que en el caso anterior.
- A diferencia de los dos primeros casos, la mezcla
- La de caliza y arcilla para lograr un contacto estrecho entre arcilla y silicato, requiere de la molienda fina y homogénea de los componentes. Según el tipo de minerales de arcilla las mezclas pueden ser más o menos reactivas.
- Otro tipo de mezcla esta constituida por la combinación de caliza, Arcilla Arena y Hierro. El cuarzo introducido por la presencia de arena reducirá la aptitud a la molienda y cocción hasta cierto punto.

3.4. - Constituyentes desfavorables del crudo

CONSTITUYENTES DESFAVORABLES	MARGEN "NORMAL" % BASE CLINKER	LÍMITES % BASE CLINKER
K ₂ O	0.58 - 0.80	
NA ₂ O	0.20 - 0.40	0.6 COMO NA ₂ O
MGO	1.00 - 3.00 %	5.00 - 6.00 %
SO ₃	0.20 - 0.10 %	1.00 - 1.50 %
P ₂ O ₅	0.00 - 0.30 %	0.50 - 0.80 %
CL	0.01 - 0.03 %	SEGÚN EL PROCESO
F	0.01 - 0.04 %	SEGÚN EL PROCESO

Tabla N° 8. - Elementos secundarios desfavorables para el crudo

3.5 Evaluación de la mineralogía del crudo

Minerales	Efectos en el proceso
Aragonita (CaCO ₃)	Molienda : formación de costras e incrustaciones en el molino y alto consumo de energía
Cuarzo (SiO ₂)	Molienda : abrasión, desgaste y alto consumo de energía Cocción : reduce aptitud a la sinterización
Feldespato	Cocción : reduce aptitud a sinterización baja reactividad
Arcillas : Montmorillonita Ilita Caolinita Mica Paligorskita	Preparación : Absorción de agua, características pegajosas Cocción : mejora aptitud a sinterización Producción de polvo : amortiguan la producción de polvo Características de costra : favorece costras y formación de incrustaciones
Minerales cristalinos	Baja reactividad, requiere más energía para su transformación
Minerales no cristalinos	Alta reactividad, requieren menos energía para transformarse

Tabla N° 9. - Minerales más comunes en el crudo

3.6. - Control de calidad

Las etapas que se consideran como la parte final del diseño de una mezcla son la preparación, el examen y la evaluación de los resultados de pruebas efectuadas en el laboratorio.

En Laboratorio se efectúan los siguientes ensayos para acreditar un diseño:

Aspectos Materiales	Designación de la Prueba	Importancia Practica
Aptitud a la Cocción	Ensayos de aptitud a la cocción	Tendencias solamente, pero buen nivel de relevancia práctica
Aptitud a la molienda	Ensayos de molturabilidad	Cuantifica requerimiento de kWh/Tm para molienda
Volatilidad elementos circulación	Ensayos de Volatilidad	Estimación cuantitativa de la volatilidad en varias atmósferas
Aptitud a la formación de costras	Ensayos de formación de costras	Tendencias solamente relevancia práctica aceptable

Tabla Nº 10. - Ensayos a que se somete el crudo para su evaluación

Normalmente estas pruebas están acompañadas por análisis químicos y físicos en laboratorio

4. - Preparación de la Materia Prima para la molienda

La molienda de crudo es la fase de reducción de tamaño de la materia prima, que se efectúa entre los procesos de trituración secundaria y cocción. La preparación de la materia prima mediante chancado secundario para pasar al proceso de molienda es necesario para acondicionar la granulometría de los materiales que se van a mezclar para producir crudo en el molino.

Materia Prima	Tamaño entrada	Proceso	Tamaño salida	Equipo disponible
Caliza, Arcilla, Hierro	4" max.	Trituración secundaria	1" max.	Trituradoras de impacto

Tabla Nº 11. - Acondicionamiento de granulometría de la materia prima

4.1. - Trituración secundaria

El chancado secundario permite el desmenuzamiento mecánico de la roca.

En Cementos Pacasmayo SAA se utiliza esta operación que está centralizada en la preparación de materia prima como caliza, arcilla, y hierro. La arena no necesita de este procesamiento por su finura granulométrica.

4.1.1. - Trituración de Hierro y Arcilla:

La trituración de Hierro y Arcilla se realiza en dos turnos durante seis días de la semana

Equipo disponible

Trituradora de Impacto Hazemag

Método de operación

Trituración y lanzamiento del material de alimentación contra blindaje de impacto y molturación.

Acción

Continua.

Capacidad de trituración

50 Tm/hr tanto de mineral de hierro como arcilla

Operación

Se dispone de una chancadora de impacto la cual posee una tolva de recepción del material que se va a triturar, faja de alimentación, elevador y zaranda para retornar el material grueso.

4.1.2. - Trituración de Caliza

La trituración de Caliza se hace de forma continua en cada uno de los molinos de crudo. La caliza se extrae de su cancha de almacenamiento mediante fajas transportadoras, este material es conducido a las tolvas de gruesos de los molinos de crudo 1 y 2 respectivamente.

Una vez en las tolvas de gruesos la caliza es transportada hacia la parte superior de la chancadora de donde cae a la boca de la misma hasta llegar a los martillos de impacto donde se realiza la desintegración de la piedra

Equipo disponible

Trituradora de martillos Hazemag N° 2 en molino de crudo N° 1

Trituradora de martillos Hazemag N° 3 en molino de crudo N° 2

Método de operación

Trituración y lanzamiento del material de alimentación contra un muro de impacto y molturación subsiguiente en las parrillas de descarga

Acción

Continua.

Capacidad de trituración

120 Tm/hr para el molino de crudo N° 1 y 280 Tm/hr para el molino de crudo N° 2

Operación

Para la trituración de caliza se alimenta el material de 4" a la tolva de la chancadora de cada uno de los molinos de crudo y de esta mediante alimentador vibratorio se introduce a la boca de la chancadora para obtener el producto triturado que luego se zarandea cuyos gruesos se reciclan y los finos se almacenan en la tolva del molino con una granulometría menor de 1".

4.2. - Dosificación al Molino

La dosificación de los materiales Caliza, Arcilla Arena y Hierro a los molinos de crudo en planta se hacen automáticamente.

El control del proceso esta centralizado en la sala de control de fábrica en la que operadores en tres turnos durante las 24 hrs. del día supervisan el desarrollo de las operaciones.

Cada molino posee cuatro tolvas que sirven para abastecerlos en operación continua durante las 24 hrs. del día.

Las tolvas de caliza mantienen un nivel de llenado automático mientras que las tolvas de Arcilla, Arena y Hierro son llenadas por grúa puente (ver diagrama de flujo)

4.3. - Control de Calidad

Control de Calidad interviene en esta fase del proceso asegurando:

- **Supervisión**

El proceso de trituración se supervisa desde el carguío en cancha de materiales, alimentación a la trituradora, trituración y manipulación de los materiales triturados. En todas estas etapas se descarta contaminación, productos mal procesados y se vela por alcanzar los mejores estándares de rendimiento de la maquinaria.

- **Análisis**

Se analiza el material que va alimentarse a los molinos de crudo para alimentar de información al programa gestor de las dosificaciones de materiales en los dos molinos de crudo que tiene la planta.

5. - **Molienda para la producción de crudo**

5.1. - **Molienda de crudo**

La molienda de crudo es la fase de reducción de tamaño de la materia prima, que se efectúa entre los procesos de triturado y cocción y debe cumplir los siguientes requisitos:

- Producir un crudo cuya finura (granulometría) sea adecuada para la producción de clinker de la calidad requerida.
- Obtener la mezcla cruda apropiada mediante el suministro de componentes en proporción correcta.
- Mezclar los componentes del crudo

De esta fase depende el buen proporcionamiento y logro de módulos químicos (LSF, SIM, ALM) que siempre serán objetivo a lograr durante la molienda.

Tabla N° 12. - Granulometría de materia prima alimentación molino

Tamaño	Caliza	Arcilla	Arena	Hierro
1 pulg	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4 pulg	1.13	8.05	0.00	4.73
1/2 pulg	9.94	13.11	0.00	10.36
3/8 pulg	21.69	20.38	0.00	14.92
4.75 mm	41.68	39.68	0.00	30.02
2.36 mm	63.42	56.81	0.00	46.14
1.18 mm	77.85	68.83	0.00	59.87
600 λ m	84.96	77.41	0.00	69.42
300 λ m	89.72	83.02	2.90	76.36
212 λ m	91.24	88.76	29.20	81.22
90 λ m	95.13	91.02	86.00	88.91
-90 λ m	100.00	100.00	100.00	100.00

Equipo disponible

En CPSAA existen dos molinos de crudo, cada uno de ellos esta dedicado a un horno y producen crudo para estos.

Los molinos se denominan por números de tal manera que el Molino de Crudo N° 1 produce crudo para el Horno 2 y el Molino de Crudo N° 2 produce crudo para el Horno N° 3.

Los molinos operan continuamente hasta llenar los silos de almacenamiento del crudo que producen

Tabla N° 13. - Características principales de los molinos de crudo CPSAA.

	MOLINO DE CRUDO N° 1	MOLINO DE CRUDO N° 2
Dimensiones	4 mts ϕ x 9.6 mts de largo	4.115 mt ϕ x 14.592 mts
Marca	Krupp	Fuller
Capacidad	100 tm/hr de crudo	200 Tm/hr de crudo
Tipo	De bolas	De bolas
Sistema Molienda	Molino de descarga central	Molino de descarga central
N° de Cámaras	Dos	Dos

Método de operación:

Los molinos de crudo de CPSAA son alimentados con la mezcla de materia prima preparada y adecuadamente dosificada con balanzas automáticas operadas desde el tablero de control de planta.

En la primera cámara de los molinos se produce la trituración final de la mezcla y solo las partículas más duras pasan a la segunda cámara, mientras que las partículas más finas son arrastradas por la corriente de aire que induce el ventilador del molino hacia un separador estático (ciclón).

Una vez que el material pasa por la segunda cámara, donde se da el refinamiento final al crudo, se envía al separador dinámico donde los gruesos retornan al molino y los finos se bombean hacia el silo de homogenización.

Acción :

Los molinos de crudo trabajan de forma continua durante las 24 horas del día y su producción se envía a homogenización para su posterior almacenamiento.

5.2. - Dosificación automática mediante QCX

El sistema QCX (Control de Calidad por Rayos X) supervisa y controla los parámetros de calidad química en los diversos procesos de fabricación de cemento.

El sistema forma un lazo de control entre la alimentación al molino y el equipo de Rayos X de tal manera que el muestreo, preparación y análisis de muestras horarias aseguren corrección a las desviaciones del proceso. Este sistema incluye un controlador que tiene los Set Points como objetivo

SISTEMA QCX CEMENTOS PACASMAYO SAA

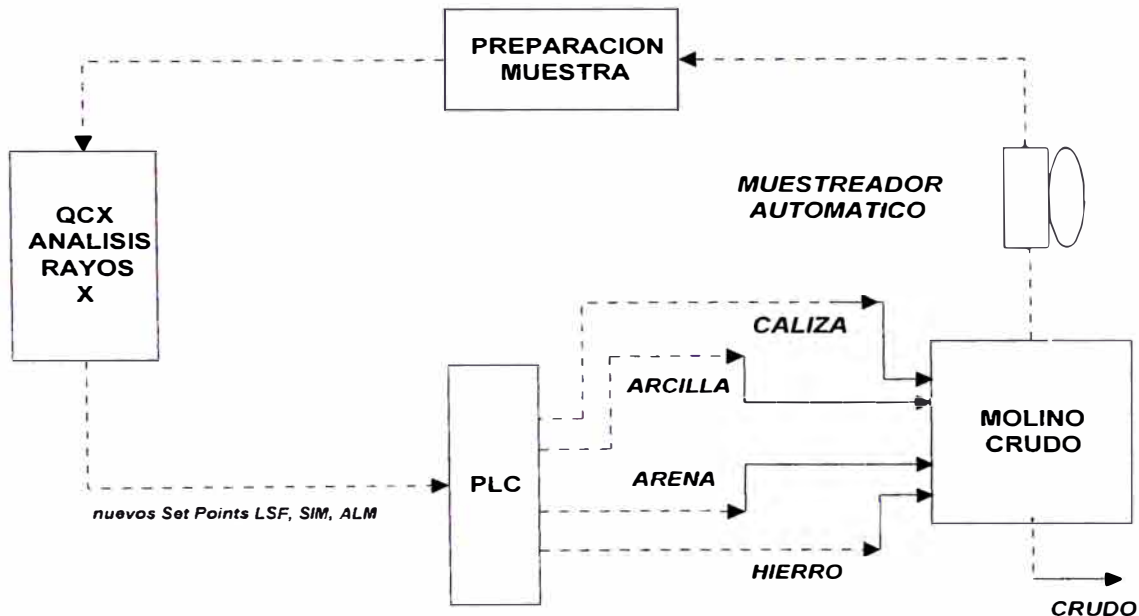


Fig. N° 2. - Esquema de la configuración del sistema QCX para control automático de producción de Crudo

5.3. - Características del Control

5.3.1. - Administrador de Muestras

- Procedimientos de ingreso/salida y rechazo en todas las etapas.
- Programación automática/manual de las rutinas de muestreo.
- Asignación automática/manual de análisis.
- Ingreso automático/manual de datos de análisis y/o variables de calidad.
- Control de límites de aprobación y validez de datos.

5.3.2. - Base de datos

- Agrupamiento de datos de muestras relacionados a puntos específicos de muestreo, etapas de proceso y tipos de productos.
- Base de datos flexible para el registro de toda la información de análisis relativo al proceso.
- Archivos de fácil acceso para los datos

5.3.3. - Reportes

- Amplio y flexible sistema de generación de reportes y presentaciones gráficas.
- Display e impresión de datos de muestras
- Display e impresión de curvas de tendencia para el análisis de datos.
- Display e impresión de curvas de correlación.
- Impresión de reportes por turnos, días, semanas y/o meses.
- Procesamiento estadístico de los datos de análisis.

5.3.4. - Integración

Equipos de aplicación en Laboratorio de Rayos X, granulómetro láser, equipo Blaine, equipos de ensayo de cemento, etc.

5.3.5. - Configuración

- El módulo controla y supervisa la operación de equipos y/o instrumentos analíticos conectados a través de puertos de comunicación serial en red.

5.4. - Control de Calidad

Control de Calidad es responsable del buen manejo de todas las herramientas de control que ofrece el QCX. Se encargará de supervisar y acondicionar los programas que el software brinda para el desarrollo del proceso.

6. - Homogenización y almacenamiento de crudo para su quemado en el horno

6.1. - Principio de la Homogenización

La homogenización se realiza en un silo que sirve como almacén temporal del crudo luego que sale del proceso de molienda. Es común a todos los procedimientos de homogenización que, por aireación de la totalidad de la superficie del fondo del silo a través de cajas dispersoras se logre en primer término la separación individualizada de las partículas, a la cual sigue un violento movimiento turbulento, como consecuencia de una aireación intensiva de una parte del fondo del silo. Los elementos para la aireación son semipermeables, el aire penetra a través de las placas hacia arriba, mientras que cuando se suspende el acceso de aire, el polvo no puede caer hacia abajo a través de las placas. Existen diversos procesos de homogenización aplicables a la industria de cemento en Cementos Pacasmayo SAA tiene el proceso Fuller. Este proceso de mezcla por aire también se le conoce con el nombre de sistema por cuadrantes. En este caso las cajas de dispersión de los fondos de silos están reunidas en cuadrantes, de los cuales, cada uno de la serie actúa como cuadrante de mezcla según cierta secuencia, mientras que los otros tres lo hacen como cuadrantes de aireación. La aportación total de aire la suministran dos compresores, uno para el aire de mezcla y el otro para el aire de aireación. El volumen de aire para mezcla alcanza el 75% y el aire para los tres cuadrantes de aireación el 25% del aire total. Mediante esto, se crea una columna de material muy aireado, de pequeña densidad, por encima del cuadrante de mezcla. El material sobre los cuadrantes de aireación, más denso, penetra de modo constante en la columna de material dispuesta sobre el cuadrante de mezcla y desplaza al material ligero hacia arriba, con lo cual se establece una circulación vertical y permanente de material.

Cada uno de los cuatro cuadrantes, se alimenta con aire para mezcla a intervalos de tiempo previamente fijados, con lo que se alcanza una homogenización casi perfecta del crudo.

6.2. - Almacenamiento de crudo

El almacenamiento de crudo se hace en uno o varios silos para tener material suficiente que pueda satisfacer la demanda de crudo del horno cuando el molino de crudo se encuentre parado.

El crudo de este silo se encuentra homogenizado, con las características de calidad que se programaron mediante el QCX y listo para ser quemado en el horno para luego convertirse en clinker.

En Cementos Pacasmayo SAA se tienen silos de crudo entre homogenización y almacenamiento según el siguiente cuadro:

	LINEA HORNO 2		LINEA HORNO 3	
	HOMOGENIZACION	ALMACENAMIENTO	HOMOGENIZACION	ALMACENAMIENTO
N°SILOS	UNO	SEIS	UNO	UNO
CAPAC.	1480 TM	495 TM	4265 TM	10557 TM

Tabla N° 14. - Características de silos de homogenización y almacenamiento

6.3. - Alimentación al Horno para su quemado

La alimentación de crudo al horno se hace a través de todo un sistema sofisticado de canaletas, válvulas, silos, elevadores y balanzas automáticas de tal manera que permita dosificar constante y exactamente la misma cantidad de material al proceso de quemado. En Cementos Pacasmayo S.A.A., posee dos Hornos rotatorios para quemar crudo, el Horno N° 2 y el Horno N° 3 cada uno con su sistema de silos de Homogenización y Almacenamiento.

La línea del Horno N° 2, extrae crudo mediante un alimentador de paletas rotatorio que deposita el material en una balanza automática que se encuentra enclavada a la velocidad de giro del alimentador de tal forma que en ningún momento la velocidad de giro del alimentador sobrepase el set point que se ordena de la sala de control. Una vez pesado el crudo es bombeado hacia la parte superior de la torre de intercambio del Horno N° 2 que tiene una altura aproximada de 40 mts.

La línea del Horno N° 3, tiene un sistema más moderno de extracción de crudo que se hace mediante una serie de canaletas que están en el fondo del silo a las que se les insufla aire comprimido constantemente para que fluidifiquen el crudo del fondo y permita extraerlo fácilmente. Una vez fluidificado el crudo pasa a una canaleta externa al silo la cual se llena de crudo mediante una válvula moduladora automática. Este crudo va por una serie de elevadores y canaletas a un pequeño silo de almacenamiento temporal el que seguidamente descargará el material que contiene en una de las dos balanzas automáticas que este seleccionada desde la sala de control. Luego de este proceso de pesaje el material es conducido a un elevador de cangilones que llevará el material hacia la parte superior de la torre de precalcinación del Horno N° 3 aproximadamente 70 mts para entrar al proceso de quemado.

6.4. - Control de Calidad

Igual que en todas las partes del proceso Control de Calidad esta obligada a controlar el material que se alimenta a los hornos para confirmar la dosificación programada en los molinos tanto en el aspecto químico como físico del crudo. Esto permitirá elaborar la base de datos que es una herramienta muy útil cuando se desea evaluar los efectos de la composición del crudo en el clinker Esta es una herramienta básica para decidir los reajustes de composición y diseñar un nuevo crudo si es que el proceso necesita.

7. - Obtención de clinker en el Horno

7.1.- Torre de Intercambio de calor en el Horno

Las torres de Intercambio de calor de los hornos rotatorios en la industria cementera, son edificios generalmente de 4-5 etapas (o pisos), etapas en las que se colocan uno o dos grandes ciclones, los que servirán para que el crudo que entra frío reciba el calor de los gases calientes que se generan en el proceso de clinkerización y calcinación. En Cementos Pacasmayo existen dos Hornos Rotatorios que en la actualidad están produciendo clinker, estos son el Horno N° 2 y el Horno N° 3.

El Horno N°2 tiene Torre de precalentamiento por suspensión de cuatro etapas. En estas torres se produce la transmisión de calor extremadamente eficaz. Podemos distinguir entre intercambios de calor a contraflujo y en flujo concurrente. El primer tipo está representado por las etapas verticales y el segundo por los ciclones. En las etapas verticales de suspensión a contraflujo el material cae a través de la corriente de gas ascendente. El intercambio de calor tiene lugar durante el tiempo de retención del crudo en el sistema. En las etapas de ciclón, el crudo se introduce en el conducto de gas de entrada. El intercambio de calor tiene lugar durante el transporte neumático del crudo a través de este conducto en flujo concurrente con el gas. Seguidamente un ciclón separa las partes sólidas de las gaseosas. El siguiente esquema explica mejor estas características:

El Horno N°3 tiene una torre de precalcación de cinco etapas con tres quemadores en la última, esta tecnología es más moderna que la del horno N° 2 y esta es la diferencia principal entre las dos tecnologías.

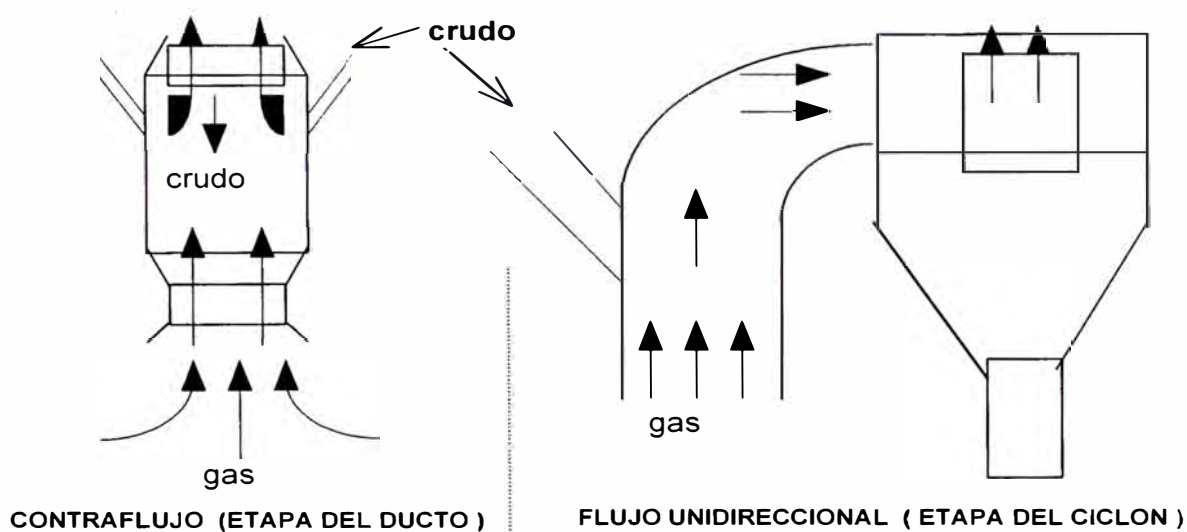


Fig. N° 3 .- Forma en que se transporta el crudo dentro de los ciclones en la torre de precalcación.

Entre todas las reacciones que se producen durante la cocción del clinker, la calcinación o descarbonatación requiere una mayor cantidad de energía según:



La calcinación arranca entre los 600° - 700 °C y finaliza entre los 900° - 1000 °C

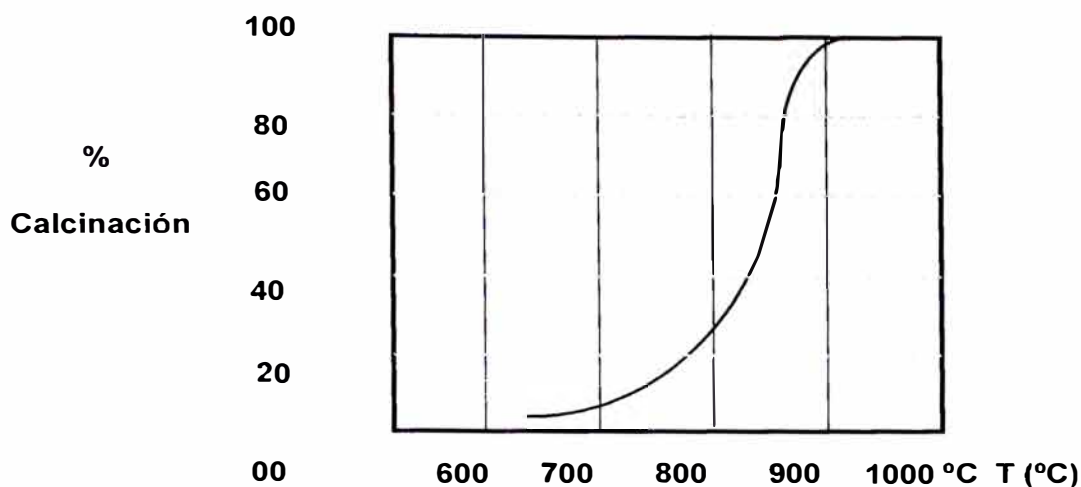


Fig. N° 4 .- Gráfico de la curva de calcinación de un crudo para cemento

En la torre de precalcinación se logra una calcinación casi completa del material a consecuencia de la que el crudo ingresa preparado al horno mejorándose sustancialmente el aprovechamiento de energía. No solo la temperatura sino el tiempo de retención del material es importante para la calcinación. Mientras que la transferencia de calor del gas al crudo en suspensión en una etapa de precalentador transcurre en una fracción de segundo, la calcinación completa a una temperatura de 900° C en suspensión requiere un tiempo de reacción comprendido entre 2 y 12 segundos. No obstante, dado que solo debería producirse entre el 90 y 95% de la calcinación en el precalcinador para evitar todo problema de atascamiento, se ha comprobado que es suficiente un tiempo de residencia de 1 a 3 segundos. El objetivo de proceso de precalcinación entonces será de satisfacer, ambos, mantener el crudo en suspensión durante unos pocos segundos a una temperatura comprendida entre 850 y 900° C, en un recipiente estacionario, sin que ocurran atascamientos.

Las reacciones del crudo en cada etapa de las torres de precalentamiento son como sigue:

PRINCIPALES REACCIONES EN LAS TORRES DE PRECALENTAMIENTO

TEMPERATURA PROCESO	REACCION	ETAPA
20 ° - 100 °C	Evaporación de agua libre	Endotérmica I
100° - 300 °C	Pérdida del agua físicamente absorbida	Endotérmica II
400° - 900 °C.	Desidroxilación de minerales arcillosos	Endotérmica III - I
> 500 °C	Cambio mineralogía arena	Endotérmica III
600° - 900 °C	Descomposición de CaCO ₃	Endotérmica I
900 °C	Recristalización de minerales arcillosos	Exotérmica

7.2. - Quemado del crudo en el Horno

Una vez calcinado el crudo en la torre de precalcación, inmediatamente pasa por caída libre al horno rotatorio en donde entra a una etapa de transformaciones en su estructura y empiezan a llevarse a cabo las reacciones que al final del proceso formen el clinker.

El Horno Rotatorio es un cilindro de acero de grandes dimensiones forrado interiormente por ladrillos refractarios especiales y dispuesto horizontalmente con una leve inclinación (5°). En Cementos Pacasmayo SAA existen dos Hornos Rotatorios N° 2 y N° 3.

	Diam. X long. (mt)	N° Etapas	Combustible
Horno N° 2	3.60 x 50	4	Carbón pulveriz.
Horno N° 3	4.00 x 57	5	Carbón pulveriz.

Tabla N° 15. - Características principales de los Hornos Rotatorios en CPSAA

Las principales características del proceso de formación del clinker son:

- Sistema de calcinación del clinker es complejo y ocurre a través de una serie de mecanismos diversos.
- La transformación requiere de energía mecánica, térmica y eléctrica.

- La velocidad de reacción es lenta en comparación con reacciones homogéneas (reacciones en fase líquida o gaseosa) esto implica la necesidad de altas temperaturas, tiempos de reacción prolongados y materiales finamente distribuidos.
- Los minerales deseados de clinker hidráulicamente activos no son todos estables a temperaturas normales, por ello el clinker caliente debe enfriarse rápidamente.
- La calidad de producto viene determinada por: la química del clinker y microestructura del clinker.

El control del proceso de la formación de clinker viene influenciado por aspectos tanto del material como de la tecnología del proceso esta dado por las siguientes consideraciones:

- Comportamiento del crudo durante la calcinación, incluyendo aptitud a la formación de polvo y de costras, clinkerización, granulometría del clinker, etc.
- Cantidad y características de la fase líquida
- Perfil de temperatura.
- Atmósfera del horno.
- Tipo de combustible.
- Características de la llama, etc.

Los tipos de reacciones que ocurren dentro del horno son:

- **Reacciones de cambios de estructura**

Sucede dentro de un mismo mineral en estado sólido denominado transición polimórfica. La composición química del mineral permanece invariable, pero el reordenamiento de los átomos de los componentes en el espacio varía, al llegar una temperatura específica. Ejemplos de estas reacciones nos dan el **cuarzo** (inversión bajo - alto cuarzo a 573 °C), inversión **aragonita** - calcita por calentamiento del crudo, transformaciones **alita** - **belita** ocurre durante la formación y enfriamiento del clinker contribuyendo a la complejidad del sistema.

- Reacciones de descomposición

Tipo sólido - gas:

Deshidratación de los minerales de arcilla (caolinita, etc.)

Descarbonización de los carbonatos (magnesita, dolomita, calcita, espumita)

Tipo sólido - sólido:

descomposición de alita en belita + CaO libre

- Reacciones de combinación.

Las principales reacciones de combinación son la formación de las dos fases mayores, los silicatos de calcio alita y belita.

La formación de belita es el resultado de una combinación entre los componentes de la calcita y la sílice del crudo, esta reacción empieza a los 800 °C y es básicamente una reacción en estado sólido.



La formación de la alita, fase más importante de la producción de clínker, comienza solamente cuando la temperatura es mayor a su límite inferior de estabilidad de 1250 °C. a esta temperatura también empieza a formarse la fase líquida.

La formación de alita es una reacción líquido - sólida. A la temperatura a la cual comienza la formación de alita (1250 °C) el material consiste principalmente en cal libre, belita y fase líquida.

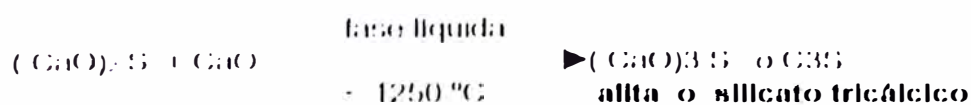


TABLA Nro 15ª.- PRINCIPALES REACCIONES DEL CRUDO EN EL HORNO ROTATORIO DE CEMENTO

TEMPERATURA	PROCESO	REACCION
900 ° C - 1200 ° C	Rxn CaO - Aluminio-Silicatos	Exotérmica.
1200 ° C – 1280 ° C	Formación de fase líquida	Endotérmica
1280 ° C	Formación de C2S	Exotérmica
1280 ° C – 1330 ° C	Formación fase líquida y C3S	-
1330 ° C – 1450 ° C	Crecimiento del C3S y C2S	-
1500 ° C	Cristalización de la fase líquida	Exotérmica

Estas reacciones se producen dentro del horno rotatorio una vez que el crudo paso por la torre de precalcinación y no se descarta que algunas de estas inclusive se adelanten y también se produzcan en la misma torre de precalcinación lo cual normalmente suele suceder.

7.3. - Influencia de la Composición Química

La composición química del crudo es el factor más importante en la obtención de clinker de cemento portland. Según las características que este crudo posea se dará el proceso. Un proceso de obtención de clinker puede demandar alto o bajo consumo de energía, un clinker para cemento puede ser de muy buena o mala calidad. En el capítulo 3 de este apéndice definimos el Módulo de Saturación de Cal (LSF), Módulo de Sílice (SIM) y el Módulo de Alúmina (ALM). estos módulos se calculan en base a la composición química del crudo y su influencia en el proceso señalamos en el cuadro siguiente:

RELACIONES Y SATURACION DE CAL (LSF)				
Efecto	Influencia Sobre el Proceso de Obtención de Clinker (Tendencia)		Influencia Sobre la Composición del Clinker y Tipo de Cemento	
Proporción	Temperatura Clinkerización	Condición	Clinker	Tipo Cemento
Elevado SIM	elevada difícil de quemar	Sí $\text{SiO}_2\uparrow$, $\text{Al}_2\text{O}_3\downarrow$, $\text{Fe}_2\text{O}_3\downarrow$	$\Rightarrow \text{C}_3\text{A}\downarrow$, $\text{C}_4\text{AF}\downarrow$	\Rightarrow ASTM Tipo 1
Bajo SIM	baja fácil de quemar y sí LSF, formación de anillo	Sí $\text{SiO}_2\downarrow$, $\text{Al}_2\text{O}_3\circ\uparrow$, además $\text{Fe}_2\text{O}_3\uparrow$	$\uparrow \text{C}_3\text{A}$, $\text{C}_4\text{AF}\uparrow$	\Rightarrow ASTM Tipo 1
Elevado ALM	menor \Rightarrow no hay cambio	Sí $\text{Al}_2\text{O}_3\uparrow$, $\text{Fe}_2\text{O}_3\downarrow$	$\Rightarrow \text{C}_3\text{A}\uparrow$, $\text{C}_4\text{AF}\downarrow$	\Rightarrow ASTM Tipo 1
Bajo ALM	menor \Rightarrow reacción acelerada	Sí $\text{Al}_2\text{O}_3\downarrow$, $\text{Fe}_2\text{O}_3\uparrow$	$\Rightarrow \text{C}_3\text{A}\downarrow$, $\text{C}_4\text{AF}\downarrow$	ASTM Tipo 2 y Tipo V resistente al ataque de sulfatos
Elevada LSF Baja LSF	difícil de quemar fácil de quemar		$\Rightarrow \text{C}_3\text{S}\uparrow$, $\text{C}_2\text{S}\downarrow$ $\Rightarrow \text{C}_3\text{S}\downarrow$, $\text{C}_2\text{S}\uparrow$	\Rightarrow ASTM Tipo 3 \Rightarrow ASTM Tipo 2 y 5

Tabla N° 16. - RELACIONES ENTRE LOS MÓDULOS DEL CLINKER

MINERALOGIA DEL CLINKER

- La cristalización de las fases del clinker está en función de la composición y finura del crudo, del tratamiento térmico (condiciones de enfriamiento y clinkerización) y de reacciones de difusión en fase sólida y líquida.
- Las fases de clinker industriales no son puras, pues tienen impurezas de elementos secundarios como Al, Fe, Mg, Na, K, Cr, Ti, Mn, P, etc., como soluciones sólidas.
- Frecuentemente aparecen fases de periclusa y Cal libre.

SILICATO TRICALCICO (C3S)

- Mineral del clinker que se presenta como un gran número de formas polimórficas desde los 1100 ° C existen 6 formas polimórficas:

Romboédrica (R)	1050 ° C
Monoclínica II (MII)	990 ° C
Monoclínica 1 (MI)	980 ° C
Triclínica III (TIII)	920 ° C
Triclínica II (TII)	600 ° C
Triclínica Y (TI)	500 ° C

- Las transformaciones son de tipo dislocativas y las reactividades variables.
- La variación de los grados de reactividad parecen relacionarse a factores de desorden estructural de los cristales de C3S provocados por la sustitución y adición de elementos menores como Al, Fe, Na, K, Mn, Cr, Ti y F que sustituyen al Ca y/o si provocando cambios en las propiedades e influyen en el crecimiento del cristal.
- La composición típica de un cristal de C3S es:

Ca70.6 %	SiO ₂ 25.2 %
K ₂ O0.1 %	Na ₂ O 0.3 %
Fe ₂ O ₃ 1.4%	Al ₂ O ₃ 1.2 %
TiO ₂ 0.1%	MgO0.9 %
Mn ₂ O ₃ 0.01 %	

Fe ++. K₂O y CaFe aceleran la descomposición de la Alita.

- La morfología más frecuente del C3S es en forma de cristales tabulares compactos que en secciones transversales son hexagonales.
- De todas las fases del clinker la Alita (C3S) es la que presenta mayor influencia en el desarrollo de resistencias a toda edad, del cemento liberado, gran cantidad de Ca (OH) 2 con 120 Cal/Gr. durante su hidratación.

SILICATO BICALCICO (C2S)

- El C2S presenta cinco formas polimórfica bien definidas desde temperatura ambiente hasta 1550 - 1500 ° C.
- El C2S presenta estructuras nitidamente diferenciadas pudiéndose prever propiedades hidráulicas diferentes.
- Esta inercia se debe a la coordinación simétrica de ion calcio y a la gran fuerza de ligación Ca - O, debida a la baja coordinación del Calcio. Segundo, a ciertas condiciones termodinámica la forma β puede pasar con variación de volumen del 12% provocando la pulverización del Clínter.
- La composición típica de un Cristal de C2S es:

% SiO ₂	= 32.1%	K ₂ O	= 0.30%	TiO ₂	= 0.30
% Fe ₂ O ₃	= 0.80%	Na ₂ O	= 0.30%	MnO ₂	= 0.03
% Al ₂ O ₃	= 1.70%	MgO	= 0.40%	P ₂ O ₅	= 0.15
% CaO	= 63.20%	SO ₃	= 0.01		

FASE INTERSTICIAL (C3A + C4AF)

- La fase intersticial es formada por cristalización durante el enfriamiento de la fase líquida.
- Tiene un papel importante en las reacciones de formación de Silicatos, sigue el mecanismo de granulación del Clínter, influyendo en la formación de anillos en el horno.
- Esta formada esencialmente por C3A y C4AF
- Al microscopio se puede presentar homogénea y sin distinción entre el C3A y C4AF, en que es considerada vítrea por condiciones favorables de enfriamiento.
- Si se presenta con diferencias notables entre C3A y C4AF, se considera cristalizada, esto debido a condiciones de 2º enfriamiento lento.

ALUMINATO TRICALCICO (C3A)

- Constituye la fase intersticial entre los cristales de Alita y Belita cristaliza en el Sistema Cúbico, más su estructura aún no fue definida.

- Desempeña un rol importante en la formación y desenvolvimiento de la fase líquida en la Clinkerización.
- En Clínteres comerciales y debido a la presencia de Na, K, Mg, Ti, Si y Fe en su estructura, forma soluciones sólidas, dentro de ciertos límites.
- Mediante estudios muy sofisticados se verificó que los álcalis tienden a fijarse preferentemente sobre el C3A.

- La composición Típica de un Cristal de C3A es:

%SiO ₂	= 4.00%	MgO	= 0.50%	TiO ₂	= 0.50%
%Al ₂ O ₃	= 29.00%	SO ₃	= 10.00%	MnO ₂	= 0.03%
%Fe ₂ O ₃	= 6.00%	Na ₂ O	= 1.00%	P ₂ O ₅	= 0.15%
%CaO	= 59.00%	K ₂ O	= 1.00%		

La presencia de álcalis principalmente Na, por enfriamiento lento puede formar un compuesto del tipo Na₂O · 8CaO · 3Al₂O₃, provocando cambio de simetría cúbica a Ortorrómbica, presenta al microscopio con naturaleza acicular al cristal del C3A.

- El C3A industrial puede presentarse en tres formas: Cúbica, Ortorrómbica y Tetragonal.
- Todas las formas pueden coexistir y tienen diferencias en reactividades: la forma cúbica se hidrata más rápidamente que las otras dos que son semejantes.

El C3A tiene un papel importante en la resistencia de los cementos frente a las aguas agresivas. Siendo su tipo de cristalización un factor preponderante en cuanto a su comportamiento en ambiente agresivo. Un cemento con 16% de C3A Tetragonal presenta expansión comparable a uno con 7% de C₃A Cúbico.

- El C₃A tiene un efecto interactivo (catalizador) del comportamiento del C3S y el desarrollo de las resistencias del C3S a las primeras edades depende del C3A en el cemento.

FERRO ALUMINATO TETRACALCIO (C4AF)

- Constituye junto al C3A, la fase intersticial. Cristaliza en el sistema Ortorrómbico.
- En los Clínteres industriales la fase aluminoferrítica depende más del tratamiento térmico que de la relación Al₂O₃/Fe₂O₃.

- Presenta un valor hidráulico bajo y tiene una participación mínima en la resistencia a los esfuerzos mecánicos.
- Su principal resistencia es a la corrosión química.
- Es responsable por la coloración oscura del Clínter, por lo que no debe estar presente en clínteres blancos.
- Una composición típica del C4AF industrial es:

%SiO ₂	= 6.00%	MgO	= 2.00%	Mn ₂ O ₃	= 0.03
%Al ₂ O ₃	= 20.00%	SO ₃	= 0.10%	TiO ₂	= 2.00
%Fe ₂ O ₃	= 13.00%	Na ₂ O	= 0.50%	P ₂ O ₅	= 0.15
%CaO	= 57.00%	K ₂ O	= 0.03		

COMPONENTES SECUNDARIOS:

A). Cal Libre:

La cal libre puede resultar de una combinación incompleta de los constituyentes de la materia prima (caliza y arcilla) debido a cuatro causas principales:

- Quema insuficiente (tiempo cortó o temperatura baja de clínterización).
- Homogenización deficiente.
- Molienda insuficiente del componente calcario en el crudo.
- Alto factor de Saturación de Cal.

(B). Periclasa :

- Aparece normalmente en clínteres ricos en MgO.
- Si el enfriamiento del clínter es lento es fácilmente identificable al microscopio por su capacidad de resistir a los reactivos químicos.
- En condiciones de enfriamiento rápido, aparece en forma de granos muy finos en la fase intersticial
- La simple presencia de Periclasa en el clínter indica un % MgO superior a 2 % ya que es muy conocido que entre 1.5 y 2 % el MgO puede incorporarse en forma de solución sólida.
- Cristales de periclasa con formas irregulares redondeadas con tamaños mayores que 30 um. indican absorción por el clínter de pedazos de refractarios cromo-magnesiano.

7.4. - Influencia de los parámetros de operación

Tanto la composición química del crudo como los parámetros de operación del horno juegan un papel importantísimo en la obtención de un clinker con los mejores estándares de calidad y mediante un proceso eficiente y cada vez más rentable. Los parámetros de operación del Horno son múltiples e influyen directamente en el buen desarrollo del proceso. Los parámetros de operación y su influencia en el proceso se puede clasificar así:

a) Parámetros relacionados a la alimentación

Una dosificación constante de crudo al horno 165 Tm/hr contribuirá muy ventajosamente en mantener la estabilidad del proceso por tiempo indefinido. Esta carga constante ayudada por la estabilidad de la composición química del crudo nos asegura una operación sin problemas

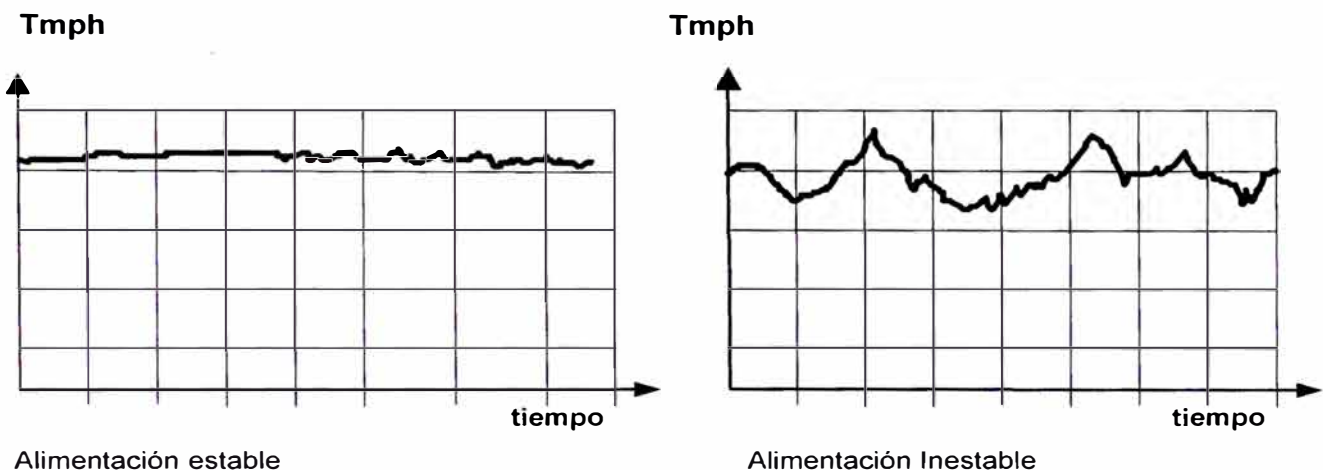


Fig. N° 5. - Curvas que representan la estabilidad e inestabilidad de un proceso

- La inestabilidad de la alimentación generará problemas tales como avance de material mal quemado, incrustaciones, pegaduras, trastornos en la costra, etc.
- La inestabilidad de la alimentación aumenta la demanda de energía convirtiendo nuestro proceso en ineficiente y poco o nada rentable.
- La alimentación constante permite mantener una costra estable dentro del horno lo cual protege a los ladrillos refractarios al no haber encostramientos ni caídas de costra fuertes.

b) Parámetros relacionados al quemado de combustible

La dosificación de carbón debe mantenerse finamente estable de tal manera que al horno ingrese la misma cantidad de combustible por unidad de tiempo para mantener la característica del proceso de ser continuo, sin acumulación y de menor costo posible.

Las características del carbón como finura de la molienda de carbón (8%, + M170), contenido de volátiles (33 %), % de cenizas (8%), las características del quemador, aire primario, aire secundario son parámetros importantes de considerar para una operación exitosa.

El control de los gases de combustión CO y O₂ se realiza verificando los flujos de carbón y aire secundarios y terciarios

c) Parámetros relacionados a la zona de clinkerización

Los parámetros de operación relacionados a la clinkerización del crudo se pueden clasificar en :

- **Control del precalcinador**

El operador controla la temperatura de la cámara de enlace, control de temperatura, CO y O₂ de la última etapa del precalcinador, gradiente de temperatura entre etapas, presiones de succión y grado de descarbonatación del crudo

- **Manejo de un descoste**

Verificando los valores de amperaje del motor del horno el operador tiene la capacidad de evitar problemas en el proceso de quemado.

- **Control de un enfriamiento/calentamiento**

Observando los valores de NO_x, tendencia del amperaje del horno, temperatura de sinterización (1400°) se puede controlar el enfriamiento del horno.

- **Control de la calidad del clinker**

Los parámetros anteriormente mencionados influirán en él % de cal libre, peso por litro, C3S y C3A del clinker.

- **Producción del horno**

La producción del horno esta relacionada con la calidad, la alimentación y flujo de carbón.

- **Corrección relación Alimentación/Velocidad en el horno**

En base al grado de clinkerización del material el operador gradúa la velocidad del mismo respecto a la alimentación de crudo que este entrado al proceso.

- **Corrección relación carbón calcinador/carbón horno**

Esta relación se ajusta considerando el nivel de Oxígeno en el horno y en la quinta etapa del precalcinador, temperatura de clinkerización y del ciclón V. La cantidad de combustible usado en el precalcinador y horno son 9 Tm/h y 4 Tm/hr respectivamente

d) Parámetros relacionados con el control del enfriador

En el enfriador el operador del horno evalúa permanentemente las presiones en la cámara de enfriamiento y efectúa las correcciones del caso para obtener la estabilidad de las presiones en el mismo. A la vez también evalúa la carga que va por las parrillas del enfriador y corrige la relación Kg aire/kg. alimentación y temperatura del clinker de salida.

7.5. - Obtención y enfriamiento del clinker

Como lo hemos visto en el capítulo anterior el clinker es una mezcla de fases minerales sintéticas que en base a un crudo adecuado y quemado en el Horno se obtiene a la salida del mismo esta mezcla de fases.

La lucha cotidiana en la industria cementera en general es por obtener el mejor clinker y al menor costo puesto que demanda gran cantidad de energía para su fabricación enormes esfuerzos para su control y fuerte despliegue tecnológico para su obtención.

El proceso de obtención en forma global se puede resumir en breves palabras como la alimentación permanente a la torre de precalcinación del horno, una carga de crudo por calcinar que va a sufrir transformaciones tanto físicas como químicas hasta 1100°

C, dentro de esta torre.

Una vez precalcinado este crudo ingresará al horno donde completa la calcinación y se realiza la clinkerización a 1350° C de donde sale como clinker.

El horno descarga en el enfriador de parrillas y la carga que se encuentra a más de 1200° C es enfriada a 150° C con aire de ventiladores. Ver diagrama de flujo.

El enfriamiento del clinker es la última etapa de la producción de clinker. Los hornos de CPSAA tienen enfriadores de parrilla, consisten en una serie de placas de parrilla alternadamente fijas y móviles. La parrilla se acciona con motores regulables y su desplazamiento es del orden de los 120 mm. El clinker de pequeñas corre por las ranuras abiertas de las placas cae a las cámaras y se retira con una cadena de arrastre.

Este tipo de enfriadores requiere un 20% menos de espacio y permiten el control exacto de la temperatura del aire secundario y temperatura del clinker obteniéndose pocas pérdidas por convección y radiación. El clinker sale de los enfriadores a 150° C.

CALOR NECESARIO PARA OBTENER UN KG DE CLINKER

Calor absorbido	Kcal/Kg. clinker
Calentamiento del crudo de 20 ° - 450 ° C	40
Deshidratación de la arcilla a 450 ° C	100
Calentamiento del crudo de 450 ° C - 900 ° C	100
Descomposición de los carbonatos 600° C - 900° C	410
Calentamiento del material descarbonatado de (900 ° C - 1350° C)	110
Calor de fusión	25
TOTAL	785

Tabla N° 17.- CANTIDAD DE ENERGÍA NECESARIA PARA PRODUCIR CLINKER

7.6.- Almacenamiento

El Clinker que sale de los hornos se transporta hacia la cancha de almacenamiento a donde es llevado por transportadores hasta una torre de enfriamiento para luego ser depositado y acomodado con tractor de orugas en la cancha. CNP posee una cancha de 300,000 Tm de capacidad.

7.7. - Control de Calidad

El control de calidad en esta parte del proceso es bastante riguroso en el control de la alimentación al horno, descarbonatación de crudo y etapa de clinkerización.

Control de calidad efectúa la supervisión del proceso de la siguiente manera:

CONTROL PRODUCCION DE CLINKER EN CNP				
ANALISIS FISICO Y QUIMICO	BALANZAS DE ALIMENTACION	TORRE PRECALCINACION	CLINKER HORNOS	FORMACION COSTRA
% Ret. M170	Cada 4hrs			
Perdida al Fuego	Composito dia	Cada 2 hrs	Composito dia	
Análisis Químico	Cada 4 hrs	Compósito dia	Cada 2 hrs	
Peso/Litro			Cada 2 hrs	
Temperatura			Cada 4 hrs	Una vez dia
Gases Combust.		Según se requiera		

Tabla N° 18. - ACTIVIDADES DEL CONTROL DE CALIDAD PARA EL CLINKER

8. - Producción de cemento

En Cementos Pacasmayo SAA el clinker producido por los hornos es depositado en la cancha de almacenamiento, allí se mueve un stock de aproximadamente 150,000 Tm de clinker donde el material termina de enfriarse luego que sufrió el quemado en el horno. Una vez frío el clinker de cancha es conducido mediante fajas transportadoras hacia la planta de molienda de cemento donde existen tres molinos de bolas que proporcionan el cemento que la empresa vende.

La producción de cemento involucra básicamente dos materiales: clinker (95 %) + yeso (5 %) finamente molidos. Como resultado de años de investigaciones, necesidad de ahorro de energía y protección de la ecología la industria cementera cada día busca reemplazar al clinker en la molienda de cemento por otros materiales que le proporcionen características iguales o mejores al producto final. Por esto cada vez en mayor porcentaje las adiciones a la molienda de cemento están cambiando el concepto básico transformándolo en: clinker (95 - X %) + yeso (5 %) + Adición (X %); donde X es el % de adición que se introduce a la molienda para ahorrar clinker (energía).

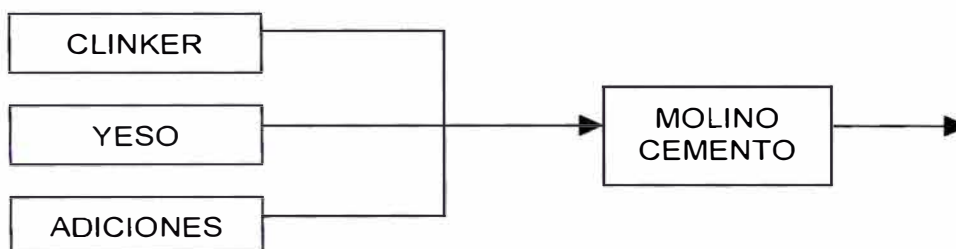


Fig. N° 6. - Esquema que representa la fabricación de cemento en CPSAA

8.1. - Principio de la molienda

La molienda de clinker para cemento es uno de los procesos principales y, al mismo tiempo, el final de las operaciones en la fabricación del cemento.

La forma de hacer la molienda es decisiva en la calidad del cemento. No se trata de que el proceso de molienda llegue hasta una superficie específica demasiado grande sino que el producto molido cumpla determinadas leyes relativas a la granulometría

del producto, para crear con ello las mejores condiciones para los procesos de endurecimiento.

La tecnología de la molienda de cemento se basa en los conocimientos siguientes:

- La fracción granulométrica de 3-30 μm es decisiva para el desarrollo de las resistencias mecánicas del cemento.
- La fracción menor de 3 μm solo contribuye a las resistencias iniciales; esa fracción se hidrata rápidamente y después de un día proporciona las resistencias más altas a la compresión y tracción.
- La fracción por encima de 60 μm se hidrata muy lentamente y representa un papel secundario en el desarrollo de resistencias del cemento.
- En los cementos la fracción granulométrica de 3-30 μm ha de estar presente en las siguientes proporciones:

En cemento corriente	entre 40% - 50%
En cemento de alta resistencia	entre 55% - 65%
En supercementos	mayor de 70%

- Además de la estructura granulométrica también es decisiva la composición mineralógica

8.2. - Tipos de Sistemas de Molienda

Todo sistema de molienda consta de partes elementales como tolvas de alimentación de cada uno de los materiales involucrados (clinker, yeso y adiciones), balanzas automáticas dosificadoras para cada tolva, el molino tubular en sí con una o dos cámaras y equipos auxiliares (separador, filtro de mangas, etc.)

8.2.1. - Sistemas de Molienda de Circuito Abierto

El Molino de Cemento N° 3 (dos cámaras) en CPSAA tiene estas características por lo que permite evaluar su:

Producción

Adecuado para cemento de baja finura. No recomendable en el caso que deban molerse distintos tipos. El producto esta caracterizado por una granulometría ancha.

Operación

Consumo de energía elevado para tener una finura $> 3,000 \text{ cm}^2/\text{gr}$. Capacidad hasta 45 Tm/hr. Elevada temperatura del producto.

Enfriamiento por ventilación. Sensible a las variaciones en la molturabilidad de la alimentación del molino y en la granulometría.

Mantenimiento

Sistemas de alta disponibilidad. Mantenimiento sencillo y piezas de desgaste verificadas.

8.2.2. - Sistemas de Molienda de Circuito Cerrado con Separador Mecánico

El molino de Cemento N° 5 en CPSAA de dos cámaras y sistema de enfriamiento por chorro interno de agua tiene estas características por lo que permite evaluar lo siguiente:

Producción

Apto para cemento portland, cemento portland con aditivos menores y cementos compuestos. El producto es de granulometría ancha y mediana.

Operación

Consumo específico de energía de medio a elevado, según la finura del producto. Capacidad del molino hasta 45 Tm/hr.

Temperatura del producto: media. Enfriamiento por ventilación del molino e inyección de agua. Las variaciones de molturabilidad de la alimentación del molino se pueden equilibrar.

Mantenimiento

Elevada disponibilidad del sistema. Simplicidad del mantenimiento y piezas de desgaste verificadas.

8.2.3. - Sistema con separador de alta eficiencia

El molino de cemento N° 4 de dos cámaras también enfriado por chorro interno de agua tiene un separador de alta eficiencia que permite evaluar lo siguiente:

Producción

Apto para cemento portland, cemento portland adicionado y cementos compuestos (si esta equipado adecuadamente). El producto se caracteriza por una distribución granulométrica estrecha.

Operación

Consumo específico de energía de medio a bajo. Capacidad de molino mayor a 120 t/h. Producto media temperatura. Enfriamiento por ventilación del molino e inyección de agua, suministro de aire frío al separador.

Mantenimiento

Elevada disponibilidad del sistema. Mantenimiento simple y piezas de desgaste verificadas

8.3. - Factores que influncian en la eficiencia de la molienda

La eficiencia de la molienda, depende además de las propiedades del material, de la finura del producto, del tipo de maquinaria de molturación y de la eficiencia de operación.

8.3.1. - Influencia de la composición química del clinker

La composición química y mineralógica tienen cierta influencia sobre la molturabilidad del clinker. Recientes investigaciones demuestran que el Silicato Tricálcico C3S y el Aluminato Tricálcico C3A son más fáciles de moler que el Aluminoferrato-tetracálcico C4AF y especialmente el Silicato Dicálcico C2S.

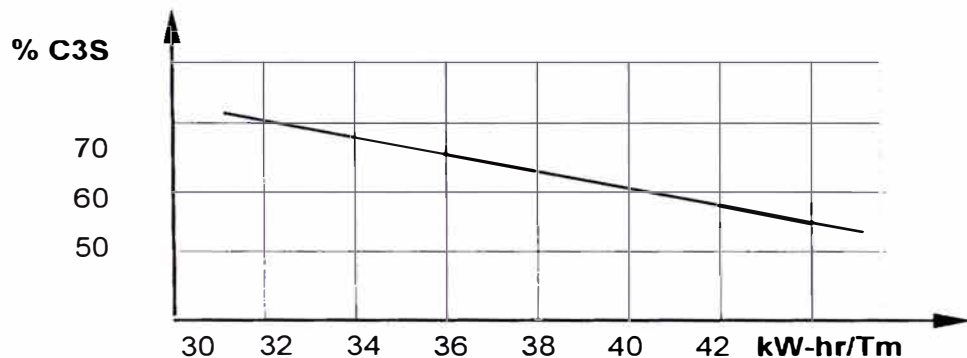


Fig. N° 7 Influencia del contenido de alita sobre la molturabilidad del clinker

Hay otras tendencias afirmando que clínteres con alto contenido de fase líquida son más difíciles de moler y viceversa. Se puede concluir de las investigaciones de clínteres de laboratorio e industriales que la composición química y mineralógica, la estructura, el grado de cocción y enfriamiento en el horno, influyen en la molturabilidad del clinker, pero que los factores individuales son pequeños y ninguno predominante. Así por ejemplo la molturabilidad es mejor con mayor porosidad del clinker, mientras que es peor cuando el clinker se fabrica a altas temperaturas y enfriamiento lento (cristales grandes poca cal libre) y contener gran cantidad de fase líquida (módulo de alumina bajo)

Como todos estos factores son, por razones de calidad, técnicas y económicas, difíciles de cambiar en la practica el campo de la optimización de la molturabilidades normalmente pequeño.

8.3.2. - Influencia de la finura del producto

Es un hecho bien conocido que la finura del cemento aumenta las resistencias del mortero en particular la resistencia a edades tempranas y que esta influencia es mucho menor cuando se hacen las mismas observaciones en el concreto.

De esto se puede concluir claramente que el peligro de desperdiciar energía costosa moliendo a una finura demasiado alta es muy grande ya que su efecto final, en el concreto es muy pequeño.

El siguiente cuadro gráfica la forma en que la finura del cemento influye en el consumo de energía

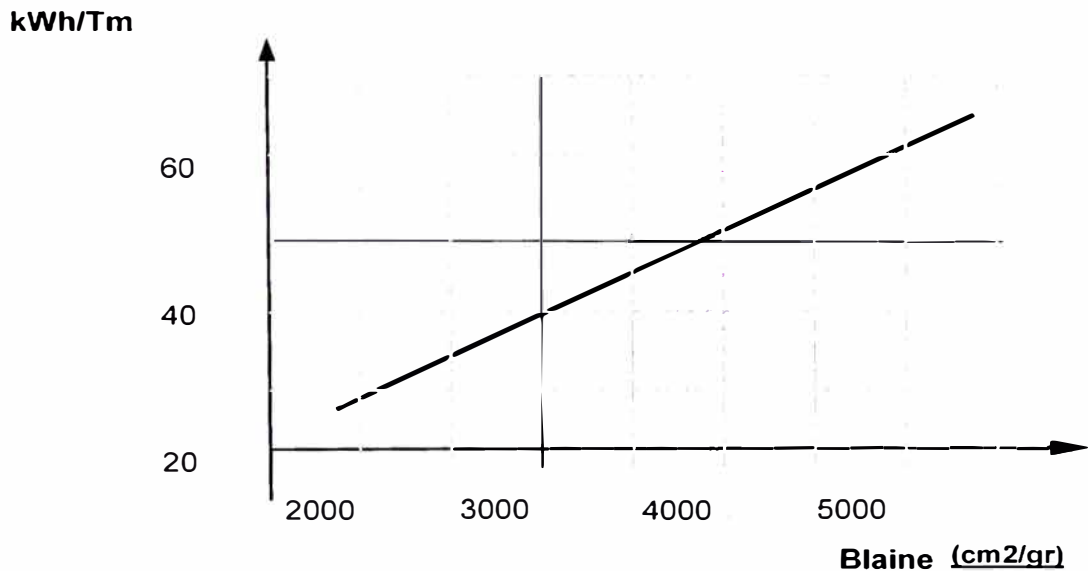


Fig. N° 8. - Consumo específico de energía Vs. finura del cemento

8.3.3. - Influencia de la humedad

La humedad de los materiales que ingresan al molino influirá negativamente en el consumo específico de energía y a lo largo de todo el proceso de molienda. Una excesiva humedad traerá consigo problemas de apelmasamiento dentro de las cámaras del molino, bajando la fluidez del material requiriendo aumentar su tiempo de residencia dentro del molino.

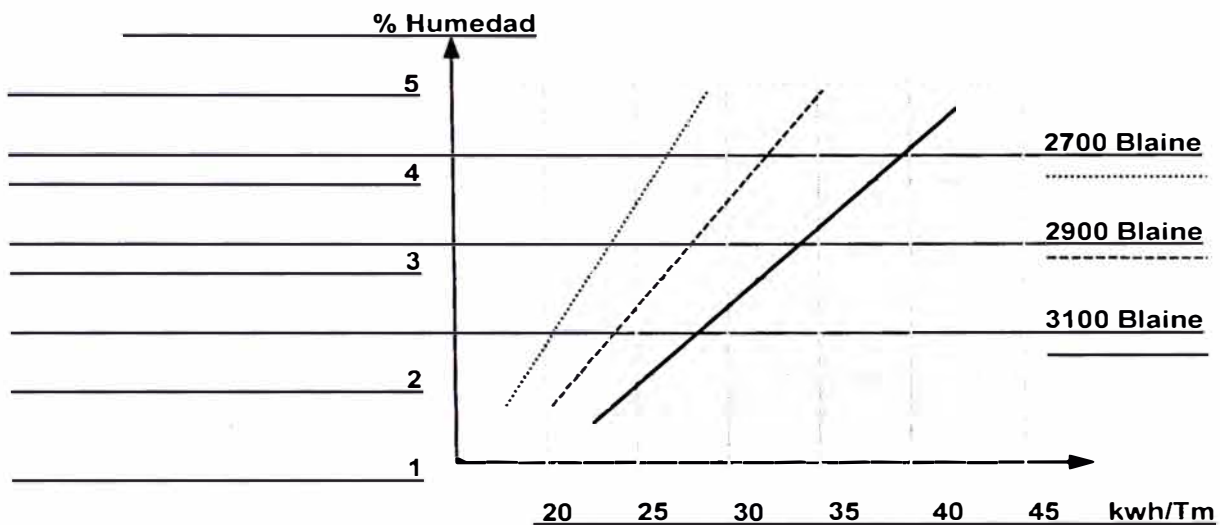


Fig. N° 9. - Influencia de la humedad en el consumo de energía

8.3.3. - Efecto de la maquinaria de molturación

En CPSAA los equipos de molturación del cemento son molinos tubulares de bolas, estos, por la tecnología que ofrecen (ver secc 8.2) proporcionan diferentes eficiencias.

Pero todos tienen el mismo efecto rotacional dentro de las cámaras donde se hace que la carga, integrada por elementos molturadores y material alimentado, sea levantada a causa de fuerzas centrífugas y la fricción entre los elementos molturadores y el blindaje.

La altura a la que será elevada la carga depende de varios factores:

- Diseño de placas
- Velocidad circunferencial del molino
- Tamaño forma y peso de los elementos molturadores
- Fricción entre el blindaje y elementos molturadores
- Fricción dentro de la propia carga del molino

8.3.4. - Influencia de la eficiencia de la operación

La eficiencia de la molienda esta directamente ligada al tipo de sistema en que esta efectuando esta operación como hemos descrito anteriormente en la sección 8.2 los distintos sistemas de molienda ofrecen diversas eficiencias.

Además, la operación estará ayudada por la estabilidad y confiabilidad en que se encuentren trabajando las balanzas dosificadoras, el correcto flujo de material dentro de las cámaras del molino, el correcto diseño de las placas levantadoras, clasificadoras, y la carga de bolas, etc. Asimismo el operador del molino desde la sala de control deberá ser capaz de prevenir y predecir eventos o fallas.

8.4. - Tipos de cementos que produce CPSAA

El afán de CPSAA de bajar sus costos de producción de manera significativa llevaron a investigar sobre la factibilidad de lanzar cementos con adiciones o mezclados, que permitieran alcanzar los objetivos económicos y adaptar mejor los productos a las necesidades del mercado extendiendo la capacidad de producción para enfrentar la creciente demanda de cemento. Las adiciones minerales que se consideran para el desarrollo de cementos mezclados en CPSAA son principalmente escoria de alto horno, caliza y arena.

8.4.1. - Cemento MS

El nuevo producto que salió al mercado fue el cemento con escoria de moderada resistencia a los sulfatos (tipo MS) satisfaciendo las necesidades del mercado de tener un cemento que resista el ataque de terrenos húmedos-salitrosos. Cemento de buena performance física y química. Este nuevo lanzamiento de CPSAA pone a la cementera a la vanguardia de la producción de cementos que utilizan materiales de reciclaje como es la escoria, la misma que se activa con los productos de hidratación de cemento dando características muy particulares al trabajo desarrollado con este cemento. Su moderada resistencia a los sulfatos lo hace ideal para ser usado en suelos salitrosos y con gran contenido de humedad.

8.4.2. - Cemento Tipo 1

Luego de lanzar este cemento tipo MS, CPSAA en lugar de producir un cemento puro portland tipo 1 reemplaza a este por un cemento mezclado con arena de buenas características físicas y químicas cuyo uso está orientado para la construcción en general.

8.4.3. - Cemento 1 Co

Otro nuevo tipo de cemento hace su aparición en el mercado este año, el Cemento tipo 1 mejorado con filler calizo (adición de Caliza) cemento 1 CO que cubre bien las necesidades actuales del mercado. Su orientación es para uso general y tiene por característica impermeabilizar las obras de concreto frente a los agentes nocivos para este. Una de las características más peculiares de este nuevo cemento es su capacidad de desenvolverse bien en suelos con alta acidez.

8.4.4. - Cemento Tipo 5

Cemento de alta resistencia al ataque de sulfatos ideal para su uso en ambiente marino, presas de agua y ambientes donde el medio está cargado de compuestos sulfatados.

Precisamente su bajo contenido de la fase mineral C3A hace de este cemento ideal para aplicaciones en las que el medio donde va a trabajar el concreto se encuentra contaminado por agentes con gran contenido de sulfatos. Presentamos tabla donde se encuentran los requerimientos que exige la norma para cada tipo de cemento

Tabla N° 19. - REQUERIMIENTOS DE LA NORMA ASTM PARA CEMENTO

TIPO	CEMENTOS PORTLAND				CEMENTOS ADICIONADOS			
	TIPO 1		TIPO 5		TIPO MS		TIPO I CO	
Propiedad	Químicas	Físicas	Químicas	Físicas	Químicas	Físicas	Químicas	Físicas
Norma	ASTM	ASTM	ASTM	ASTM	ASTM	ASTM	ASTM	ASTM
Nro.	C - 150	C - 150	C - 150	C - 150	C - 1157	C - 1157	C - 1157	C - 1157
MgO	2.30 %		2.28 %				1.70 %	
SO ₃	2.53 %		1.91 %				2.70 %	
P. Fuego	2.57 %		1.32 %				7.00%	
Res. Insol	0.60 %		0.55 %					
C3A			2.44 %					
2C3A +C4AF			20.02 %					
% Aire		10.55 %		10.40 %		12.00 %		10.00 %
Blaine		3450		3150		3700		4500
Expansión								
Autoclave		.09 %		0.08 %		0.07 %		0.025 %
Mortero						0.018 %		
Sulfatos						0.088 %		
Res.Comp								
3 días		2934		2824		2765		1950
7 días		3478		3311		3312		3500
28 días								5000
Fraguado								
Inicial		2 h 05'		2 h 00'		2 h 00'		2 h 10'
Final		4 h 55'		5 h 00'		5 h 05'		5 h 00'

8.5. - Almacenamiento de Cemento

Una vez producido el cemento se almacena bajo determinadas condiciones que aseguren su duración en los silos y conservación de todas sus características tal como salió del molino. El cemento producido por los molinos se traslada hasta silos de almacenamiento los cuales contienen el mismo tipo de cemento que se va almacenar. Las condiciones de almacenamiento son:

- Hermeticidad de los silos.- que asegure la casi nula entrada de aire húmedo, agua o contaminantes externos
- Aireación de los silos.- que mantenga el cemento fluido listo para ser puesto en venta, el aire de aireación debe ser seco.
- Exclusividad de los silos.- que almacenen un solo tipo de cemento siempre.

En CPSAA se tienen silos de almacenamiento de cemento que tienen las siguientes características y se encuentran distribuidos así:

	SILO 1	SILO 2	SILO 3	SILO 4	SILO 5	SILO 6
Tipo Cemento	Tipo 1 CO	Tipo 1	Tipo MS	Tipo V	Tipo 1	Tipo MS
Capacidad	1250 Tm	1250 Tm	1250 Tm	1250 Tm	6187 Tm	7516 Tm

Tabla N° 20. - DISTRIBUCIÓN DE SILOS PARA CEMENTO Y CAPACIDAD DE ALMACENAJE

8.6. - Control de Calidad

El área de Control de Calidad que cuenta con los adelantos más modernos en equipos y métodos de control para asegurar un producto de calidad supervisa y controla la producción de un producto que cumpla con las expectativas económicas del cliente y fabricante.

Los ensayos físicos y químicos que sirven para controlar el proceso y que se efectúan para controlar la calidad de la molienda de cemento se pueden dividir en dos grupos:

los ensayos de rutina, que se realizan durante las horas de producción y sirven de dato a la sala de control para que ajuste sus parámetros de operación y los ensayos diarios, que considera el compuesto de lo producido durante el día.

Estos ensayos son llevados a cabo luego del muestreo correspondiente y en los ambientes de Laboratorio los reportes de los resultados se dan vía telefónica a la sala de control de fábrica.

CONTROL DE CALIDAD A LA PRODUCCION DE CEMENTO EN CPSAA		
	ENSAYOS QUIMICOS DE RUTINA	ENSAYOS QUIMICOS DIARIOS
ANALISIS DE SULFATOS	% SO ₃ c/2hrs	% SO ₃ compito
ANALISIS DE RESIDUO INSOLUBLE	% R.I 2 x turno	% R.I compito
ANALISIS DE PERDIDA AL FUEGO	% P.F c/2 hrs	% P.F compuesto

Tabla N° 21. - RUTINA DE CONTROL DE CALIDAD QUÍMICO DE LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO

CONTROL DE CALIDAD A LA PRODUCCION DE CEMENTO EN CPSAA		
	ENSAYOS FISICOS DE RUTINA	ENSAYOS FISICOS DIARIOS
CONTROL RESIDUO CEMENTO	+45 λ m c/ 2 hrs	+ 45 μ m compuesto
FINURA BLAINE	Cada / 2hrs	Compósito día x tipo
RESISTENCIA A LA COMPRESION		Rc compuesto día x molino x tipo
FRAGUADO VICAT		Compósito día x molino x tipo
EXPANSION AUTOCLAVE		Compósito día x molino x tipo
EXPANSION POR SULFATOS		Muestra aleatoria x tipo
CONTENIDO DE AIRE		Muestra aleatoria al mes x tipo

Tabla N° 22. - RUTINA DE CONTROL DE CALIDAD FÍSICO DE LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO

APENDICE B

1. DOCUMENTOS PROBATORIOS DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

CEMENTOS NORTE PACASMAYO S. A.

INSCRITA EN EL TOMO 5, FOLIO 401, ASIENTO 26, PARTIDA XXVII DEL LIBRO DE SOC. DEL REG. MERCANTIL DE PACASMAYO

CONSTANCIA DE TRABAJO


ALBERTO
FLOREZ
BARRON
NOTARIO DE LIMA

El Jefe del Departamento de Relaciones Industriales de **CEMENTOS NORTE PACASMAYO S.A.** que suscribe certifica :

Que el **SR. WALTER MORENO ARANA**, Bachiller en Ingeniería Química, viene prestando servicios en nuestra Empresa, desde el 11.05.92 desempeñándose como Jefe de Sección Producción, en la Superintendencia de Producción, continuando hasta la fecha.

Se expide el presente, a su solicitud y para los fines que estime conveniente..

Pacasmayo, 22 de Octubre de 1998

CEMENTOS NORTE PACASMAYO S.A.


Marcos Rosas Villanueva
JEFE RR.HH.

MICRO LEGAL:

CUENTA PANAMERICANA NORTE
S.A. PACASMAYO
TEL: 522220 - 522960 - 522901

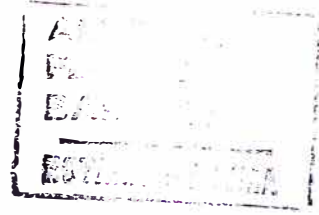
R.U.C. 13174237

OFICINA:

Es. Calle Z con Pasaje el Carmen s/n, Urb. El Vivero de Monterrico,
Santiago de Surco, LIMA - PERU
Teléfono: 317-2000
Fax: 437-5009



DP#033-01-99



CERTIFICADO DE TRABAJO


A QUIEN CONCIERNE:

Por el presente documento certificamos que el Sr. **Walter Moreno Arana** ha prestado sus servicios para nuestra Empresa - Planta Atocongo, desempeñándose como **Auxiliar** en la **División de Control de Calidad**, desde el 25 de febrero de 1991 hasta el 29 de febrero de 1992, fecha en que se retiró por término de contrato.

Lo que expedimos a solicitud del interesado para los usos y fines que estime convenientes.

Atocongo, 13 de diciembre de 1998

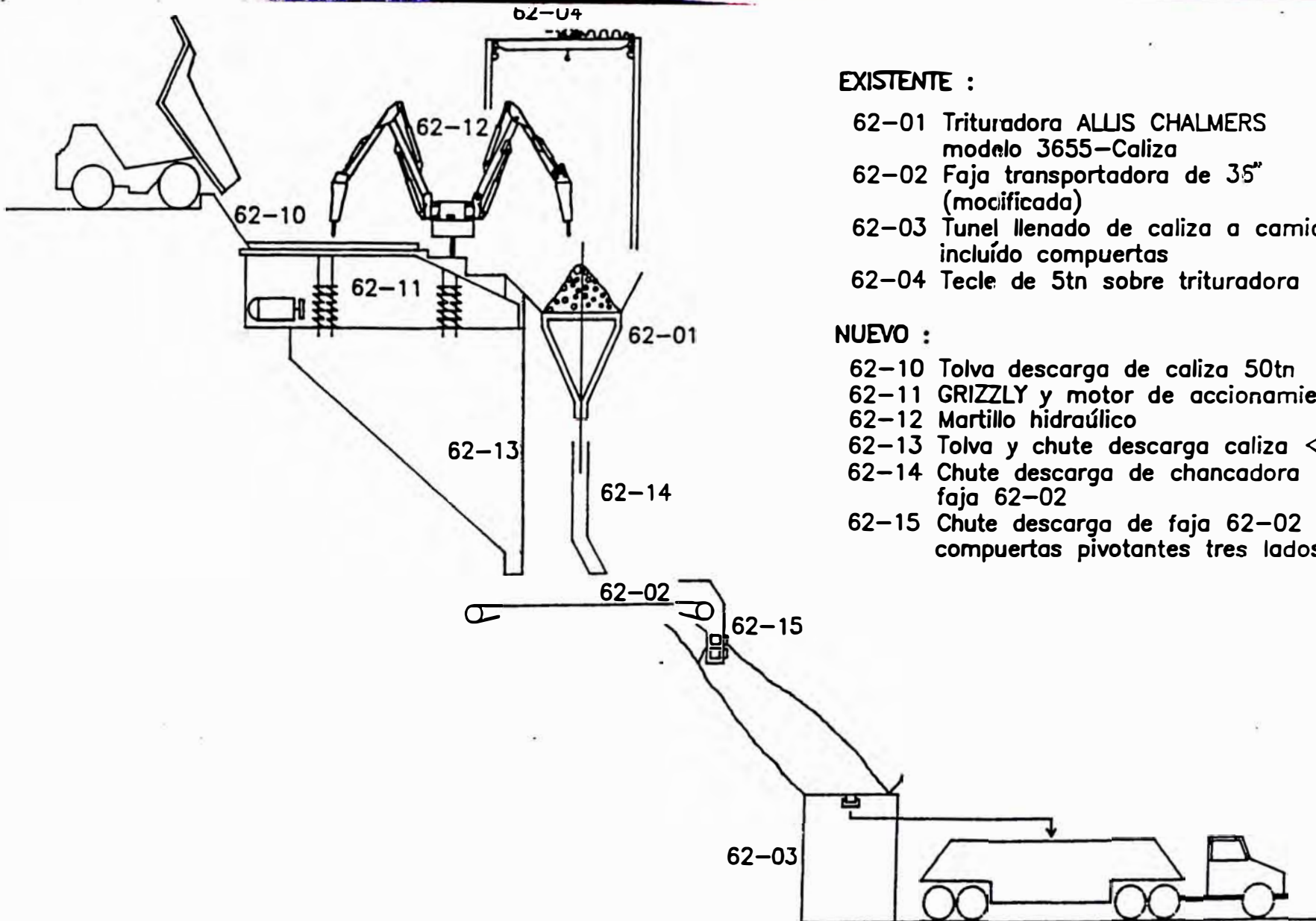
p. **CEMENTOS LIMA S.A.**



JEFE DE PERSONAL
CEMENTOS LIMA S.A.

APENDICE C

1. FLOWSHEET DE PLANTA PRESENTADO POR SECCIONES



EXISTENTE :

- 62-01 Trituradora ALLIS CHALMERS modelo 3655-Caliza
- 62-02 Faja transportadora de 35" (mociificada)
- 62-03 Tunel llenado de caliza a camiones incluido compuertas
- 62-04 Tecle de 5tn sobre trituradora 62-01

NUEVO :

- 62-10 Tolva descarga de caliza 50tn
- 62-11 GRIZZLY y motor de accionamiento
- 62-12 Martillo hidráulico
- 62-13 Tolva y chute descarga caliza <4"
- 62-14 Chute descarga de chancadora a faja 62-02
- 62-15 Chute descarga de faja 62-02 con compuertas pivotantes tres lados

REVISIONES	No.	DESCRIPCION	NOMBRE	FIRMA	FECHA	DIBUJO
						G.M.U
△						DISEÑO
△						REVISO
△						APROBO
△						ESCALA
						FECHA
						PLANO



CEMENTOS NORTE PACASMAYO S.A.
PLANEAMIENTO Y PROYECTOS

CANTERAS- FLOW-SHEET
CHANCADO PRIMARIO DE CALIZA

GPO 1 MAT RECEPCION MATERIA PRIMA

121G01	Dentro	
■ 6304	Dentro	
■ 6303	Dentro	
■ 6302	Dentro	

GPO 3 MAT TRIPPER CAR

121G03	Parado	
■ ■ ■ ■ ■		
6304A-PACAS	Parado	
6304A-SP	Parado	

GPO 6 MAT VIBRADORES DISTRIBUCION

121G06		
■ ■		
6305A	Parado	
6305B	No Listo	
6305D	Parado	
6305E	No Listo	
6305G	No Listo	
6305H		
6305I		
6305J		
6305K		
6305L	Paro Emerg.	
6305M	Paro Emerg.	
6305N	Parado	
6305P	Parado	

GPO 7 SISTEMA SPRAY

121G07	Al. Equipo	
■		
6315	No Listo	
6316	No Listo	
6317	No Listo	

GPO 2 MAT VIBRADORES RECEPCION

121G02	Dentro	
■		
	SEL PLANTA SALA	
6301A		
6301B	Dentro	
6301C	Dentro	
6301D		
6301E		
6301F		

GPO 4 MAT TRANSP. A MOLINOS -2

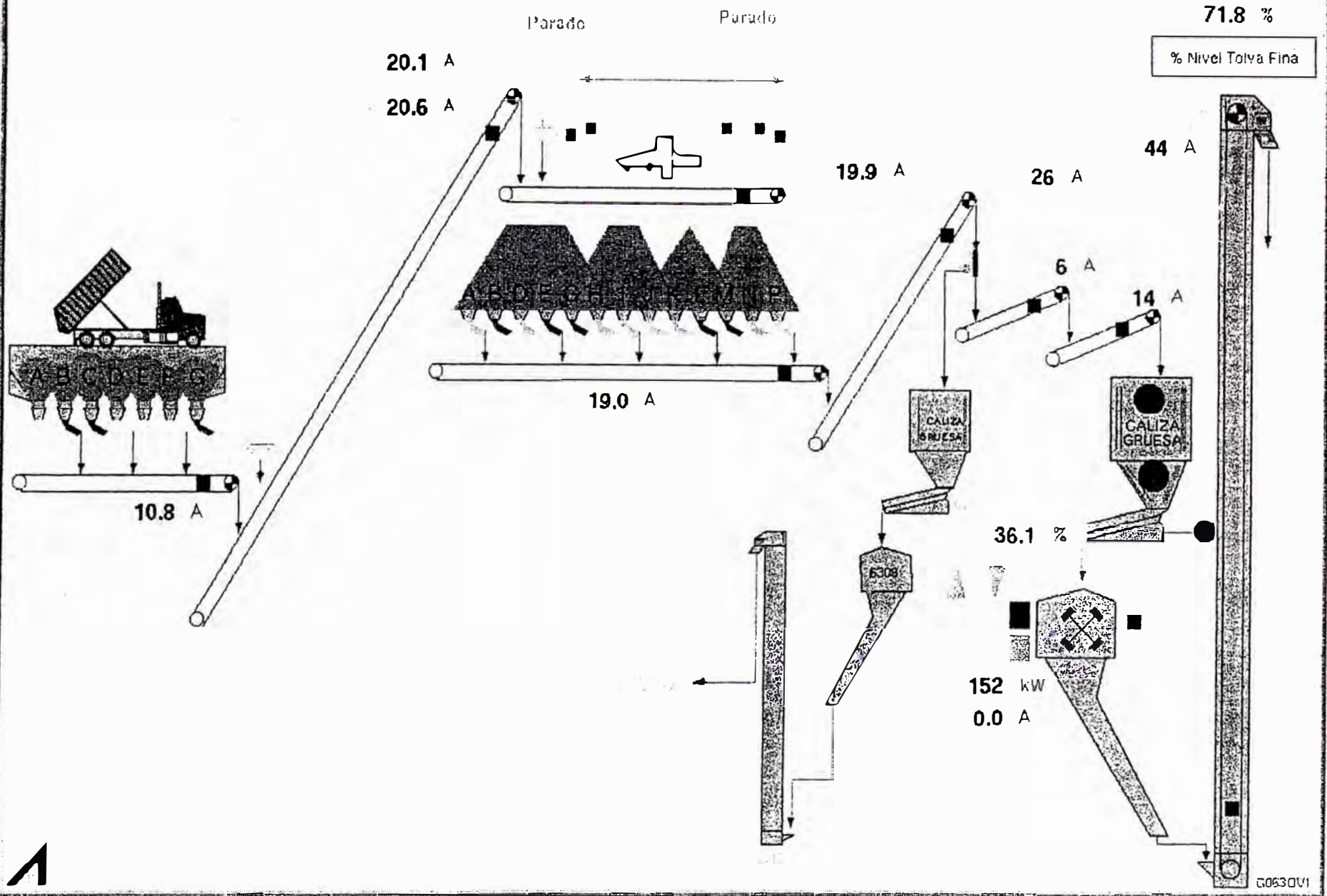
121G04	Dentro	
■ ■		
6313	Dentro	
6312	Dentro	
6311	Pos. 2	

GPO 5 MAT TRANSP. A MOLINOS -1

121G05	Dentro	
■		
6307	Dentro	
6305	Dentro	



SIRENA



17-NOV-1998 10:44:30

164

GPO 1 RM2 SIST. DE COMPRESORAS

122G01 Dentro

16425 Alarma

16424A Dentro

16424A1 res min

16424B Dentro

16424B1 res min

16423 Dentro

GPO 2 RM2 SIST. FILTRO CHANCADORA

122G02 Dentro

FILTRO SIN MOLINO

16417A Dentro

16414AB Dentro

16416 Dentro

164161 res min

16415 Paro Emerg.

 **SIRENA**

GPO 3 RM2 SIST. FILTRO MOLINO

122G03 Dentro

16419AB Dentro

16421 Dentro

164211

16420 Paro Emerg.

GPO 4 RM2 SIST. SEPARADOR

122G04 Dentro

16429B Dentro

16429 Dentro

16428C Dentro

16428 Dentro

16427 Dentro

16413A Dentro

16428A Dentro

16418A Dentro

GPO 5 RM2 AUXILIARES

122G05 Dentro

16410 Paro Emerg.

16411 Dentro

16412A

16412B Dentro

16412C Dentro

16412D

16412E Dentro

16408A Dentro

GPO 6 RM2 ACCIONAMIENTO PRINC.

122G06 Dentro

16409 Parado

16408 Dentro

164081 res min

16408B Dentro

16408C Dentro

16407 Dentro

GPO 7 RM2 SIST. ALIMENT. MOLINO

122G07 Dentro

16406A Pos. 1

16406 Dentro

16405 Dentro

16404 Dentro

16403 Dentro

16402 Dentro

16401 Dentro

GPO 8 RM2 SIST. CHANCADO SECUND.

122G08 Dentro

16311 Dentro

16310 Dentro

16309 Dentro

163091 res min

16308 Dentro

GPO 9 SIST. ALIMENT. MOLINO RMI

122G09 Parado

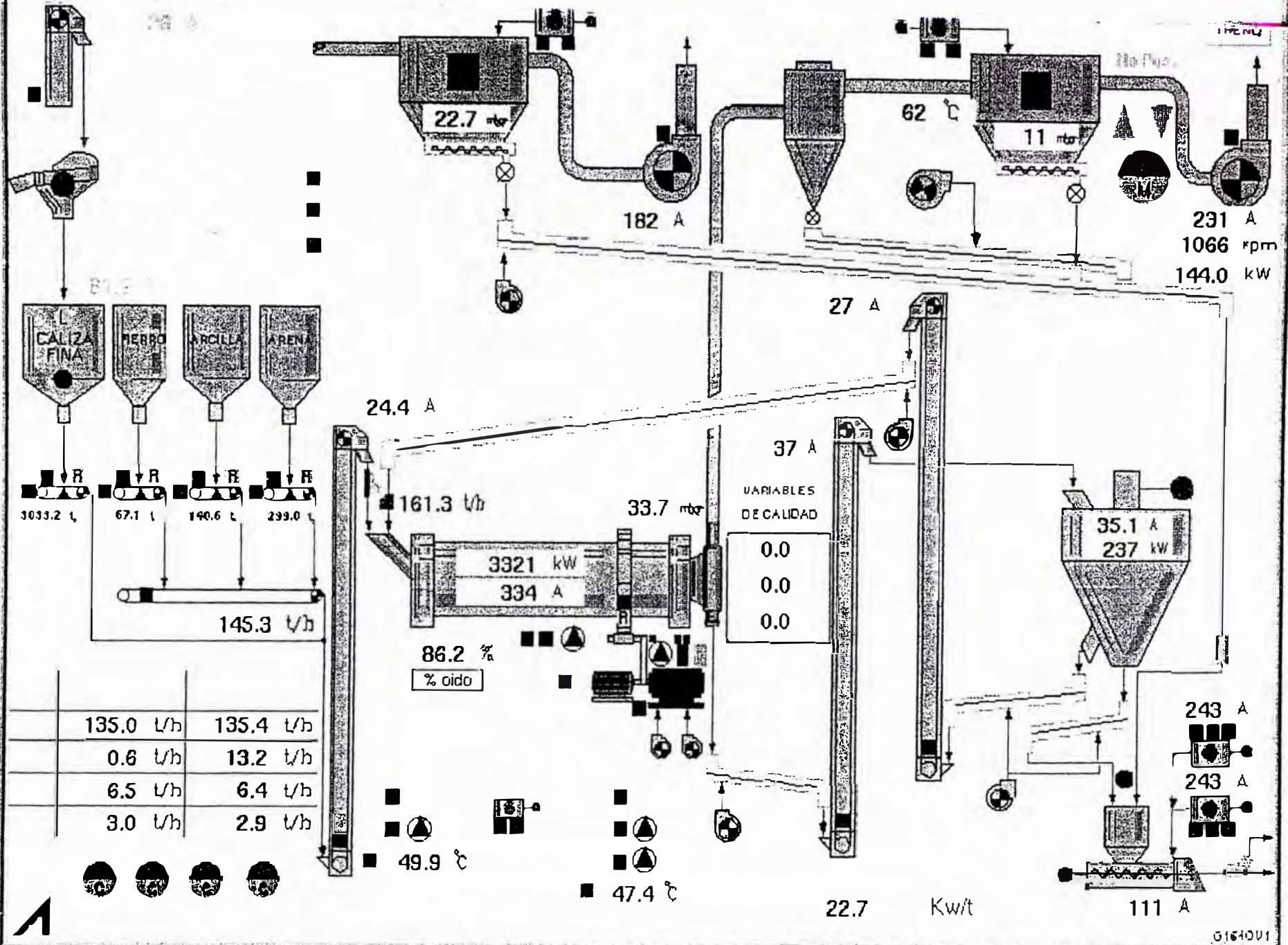
6401 Parado

6403 Parado

6404 Parado

6402 Parado

MAT. HOMO HORNOS ENF.3 CEM. 4 CARBON MOLINO DE CRUDO #2 ALIM. MOLINO TRANS. ALMACEN ANALOG MOTOR P.I.D. START



	135.0 t/h	135.4 t/h
	0.6 t/h	13.2 t/h
	6.5 t/h	6.4 t/h
	3.0 t/h	2.9 t/h

0164001

17-N 1998 06:32 28

166

GPO 1 HOMO ALIM. HORNO

133G01	Dentro	
16692	Dentro	
16693	Dentro	
16691	Dentro	
16690A	Dentro	
16695	Dentro	
16690	Dentro	

GPO 2 HOMO ALIM. HORNO BY-PASS

133G02	Local	
16617A	Pos. 2	
16617B	Pos. 2	
16617C	Pos. 2	
16617D	Pos. 2	
16609	Parada Local	
166091	res max	
16608	Parada Local	
16613	Parada Local	
166131	res max	
16612	Parada Local	

GPO 3 HOMO BIN CALIBRATOR

133G03	Dentro	
16606C	Pos. 2	
16606D	Pos. 1	
16610C	Pos. 1	
16610D	Pos. 1	
16621	Dentro	
166072	Dentro	
16607	Dentro	
16606B	Pos. 2	
166112	Parado	
16611	Parado	
16610B	Pos. 1	
16605	Dentro	

GPO 4 HOMO ALIM. A BIN CALIBRACION

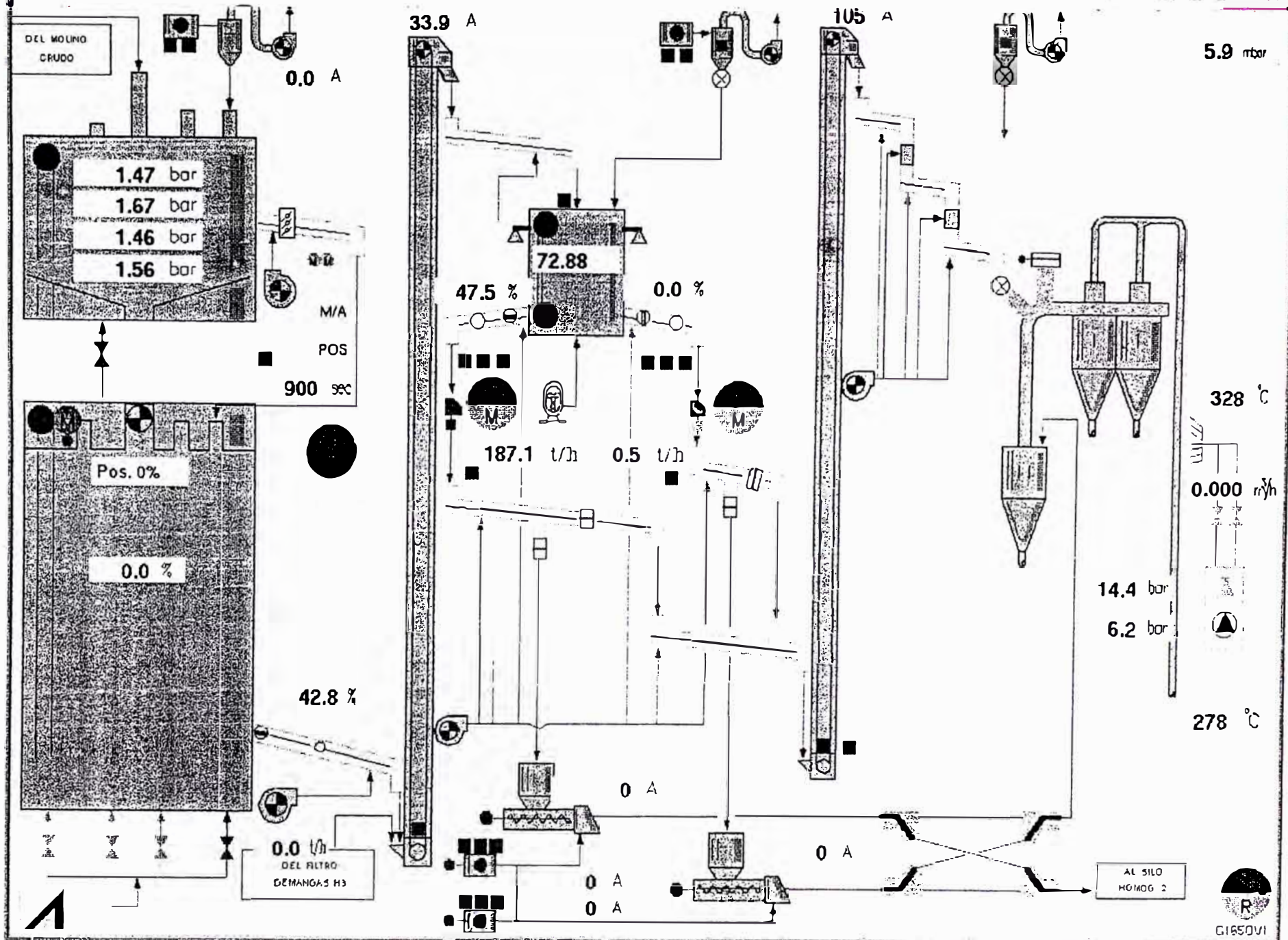
133G04	Dentro	
16614A	Dentro	
16616	Dentro	
16615	Paro Emerg.	
16614	Dentro	
16620	Paro Emerg.	
16603	Dentro	
16602A	Dentro	
16602C1	Pos. 2	
16602C2	No Pos. (Alarm)	
16601	Dentro	

GPO 5 HOMO FILTRO DEL SILO

133G05	Sel. U.Ai.	
16511	Pos. 0%	
16507	Paro Emerg.	
16506	Paro Emerg.	

GPO 6 HOMO AERACION SILO

133G06		
16501	Dentro	
16503		
16502	Dentro	
16504		
16510A	Paro Emerg.	
16510B	Dentro	
16601A	Cerrado	
16601B	Ablerto	
16601C	Cerrado	
16601D	Cerrado	
16520	Parado	
16520A	Parado	
16513	No Listo	



GPO1 H-3 TRANSP DE CLINKER

134G01	Dentro	
16675	Dentro	
16674A	Pos. 1	A
16673A	Paro Emerg.	
16673B	Dentro	
16670	Dentro	
16672		
F6T5	Dentro	
F6T6	Dentro	
16678M	No Listo	

GPO2 H-3 VALVU-LAS PLATCO

134G02	Dentro	
16671	Paro Emerg.	
16671AVF	Dentro	

GPO3 H-3 PARR. Y CHANCADORA

134G03	Dentro	
16669	Dentro	
16669I	res min	
16662B1	Dentro	
16662A1	Dentro	

GPO4 H-3

134G04	Dentro	
16660A	Dentro	
16660A1	res min	
16661	Dentro	
16663A	Dentro	
16663A2	Dentro	
16664A1	Dentro	
16664A2	Dentro	
16665A1	Dentro	
16665A2	Dentro	
16666A	Dentro	
16667A	Dentro	
16668A	Dentro	

GPO7 H-3 ACCIONAM. PPAL HORNO

134G07	Dentro	
16632	Dentro	
166321	res min	
16633	No Pos.	
16632A	Parado	
16633B	Dentro	
16634	Paro Emerg.	

VENT. ENFRIADOR

GPO5 SIST. PET. PLATAFORMA

134G05	Al. Equipo	
16643A	No Listo	
16643B	Parado	
16644A	Apagada	
16646A	Parado	
16646B	Parado	
16647B1	Apagada	
16647B2	Apagada	
16647B3	Apagada	
16647C1	Apagada	
16647C2	Apagada	
16647C3	Apagada	
16639A	No Pos.	
16639B	Pos. 1	

SVY1488B Parado
SVY2438 Parado

Puente IDFAN
y Vent. Aire Prim.

GPO6 H-3 QUEMADOR HORNO

134G06	Local	
16638	Arr. Local	
16636	Arr. Local	
M1F02Q01	Dentro	
M1F04Q01		
M1F2_4Q1		
M1F02T09	No Listo	
M1F04T01	Arr. Local	
M1F04T04	Arr. Local	
M1F02T04A	Arr. Local	
M1F03T04	Arr. Local	
F02Q01	Parado	

GPO9 H-3 QUEMADOR FLASH

134G09	Al. Equipo	
16641	Paro Emerg.	
16642A	Pos. 1	
16648A	Apagada	
16649A	Apagada	
16649B	Apagada	
16649C	Apagada	
SVY1489E	Parado	
SVY2438A	Parado	

ALM AL BIN CAL

W16603	71.25 %
16603 SP	71.0 t
H16603	50.3 %
WIC16603 AM	Aut

PV SP Out

Auto
Manual

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

Control Compla 16625A

F02UA20	100.0 %
F02GUA20	100.0 %
man_point	Man

PV Out

Auto
Manual

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

Pos. Comp. Aire Falso SP

F02D10	275 °C
F02UA10 SP	290 °C
F02G10	0.0 %
F02UA10 AM	Man

PV SP Out

Auto
Manual

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

Control de Vel. Homo

F04S07	1159 rpm
F04GU05	1083 rpm
man_point	Man

PV Out

Auto
Manual

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

Caudal Petroleo Homo SP

F04F01	0 l/h
F04F01 SP	699 l/h
F04GU10	0.0 %
F04UA10 AM	Man

PV SP Out

Auto
Manual

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

Caudal Petroleo Flash SP

F03F01	0 l/h
F03F01 SP	2000 l/h
F03GU01	0.0 %
F03UA01 AM	Man

PV SP Out

Auto
Manual
Cascade

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

Temperatura Ciclon V

F02T11	909 °C
F02T11 SP	875 °C
F02GU11	0.0 %
F02UA11 AM	Man

PV SP Out

Auto
Manual

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

Pos. Comp. Aire Terciario

F03UH05	66.6 %
F03GU05	66.9 %
man_point	Man

PV Out

Auto
Manual

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

Control (%) Fw_Mt 166_07

F01F01	188.2 U/h
F01G01	187.0 U/h
man_point	Man

PV Out

Auto
Manual

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

Control (%) Fw_Mt 166_11

F01F02	0.4 U/h
F01G02	0.0 U/h
man_point	Man

PV Out

Auto
Manual

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

Caudal Ventilador 1P SP

F06E01	10701 m/h
F06E01 SP	10497 m/h
F06G03	84.4 %
F06E01 AM	Aut

PV SP Out

Auto Manual

+5% +1% -1% -5%

TREND

Caudal Ventilador 1B SP

F06E02	16635 m/h
F06E02 SP	17499 m/h
F06G04	81.3 %
F06E02 AM	Aut

PV SP Out

Auto Manual

+5% +1% -1% -5%

TREND

Caudal Ventilador 1L SP

F06E03	17450 m/h
F06E03 SP	17499 m/h
F06G05	80.3 %
F06E03 AM	Aut

PV SP Out

Auto Manual

+5% +1% -1% -5%

TREND

Caudal Ventilador 2R SP

F06E04	15969 m/h
F06E04 SP	15996 m/h
F06G06	88.0 %
F06E04 AM	Aut

PV SP Out

Auto Manual

+5% +1% -1% -5%

TREND

Caudal Ventilador 2L SP

F06E05	15818 m/h
F06E05 SP	15996 m/h
F06G07	83.7 %
F06E05 AM	Aut

PV SP Out

Auto Manual

+5% +1% -1% -5%

TREND

Caudal Ventilador C3 SP

F06E06	32926 m/h
F06E06 SP	32996 m/h
F06G08	82.0 %
F06E06 AM	Aut

PV SP Out

Auto Manual

+5% +1% -1% -5%

TREND

Caudal Ventilador C4 SP

F06E07	32973 m/h
F06E07 SP	33993 m/h
F06G09	62.3 %
F06E07 AM	Aut

PV SP Out

Auto Manual

+5% +1% -1% -5%

TREND

Caudal Ventilador C5 SP

F06E08	32909 m/h
F06E08 SP	33993 m/h
F06G10	67.0 %
F06E08 AM	Aut

PV SP Out

Auto Manual

+5% +1% -1% -5%

TREND

Pos. Comp. Aire Radial

F02S011	1149 ppm
F04GU15	0.0 %
man point	Man

PV Out

+5% +1% -1% -5%

Pos. Comp. Aire Axial

F04UH20	0.0 %
F04GU20	0.0 %
man point	Man

PV Out

+5% +1% -1% -5%

Velocidad Parrilla 1 SP

F08P01	63.4 mbar
F08P01 SP	65 mbar
F08G01	794 rpm
F08P01 AM	Aut

PV SP Out

Auto Manual

+5% +1% -1% -5%

TREND

PRESION DIF. CAMARA 2

F04P01	29.0 mbar
F04P01 SP	20.0 mbar
F04G01	100 %
F04P01 AM	Aut

PV SP Out

Auto Manual

+5% +1% -1% -5%

TREND

Pres Cabezal Horno SP

F04P02	-0.28 mbar
F04P02 SP	-0.30 mbar
F04G02	38.8 %
F04P02 AM	Aut

PV SP Out

Auto Manual

+5% +1% -1% -5%

TREND

Flujo de Agua SP

F02T10	278 °C
F02T10 SP	275 °C
F18622	12.0 %
F18622 AM	Aut

PV SP Out

Auto Manual

+5% +1% -1% -5%

TREND

PLATFORM FUEL PRESS. SP

F05R01	0.5 bar
F05UAT0 SP	35.0 bar
F05G010	80.0 %
F05UAT0 AM	Aut

PV SP Out

Auto Manual

+5% +1% -1% -5%

TREND

Velocidad Parrilla 2

F06S02	719.2 rpm
F06G02	714 rpm
F06S02 AM	Aut

PV Out

+5% +1% -1% -5%

TREND

Ratio 0.95

Caudal Petroleo Flash SP

F03F01	0 m ³ /h
F03F01 SP	2000 m ³ /h
F03G01	0.0 %
F03UAT0 AM	Man

PV SP Out

Auto Manual

+5% +1% -1% -5%

TREND

Caudal Petroleo Horno SP

F04F01	0 m ³ /h
F04F01 SP	899 m ³ /h
F04G010	0.0 %
F04UAT0 AM	Man

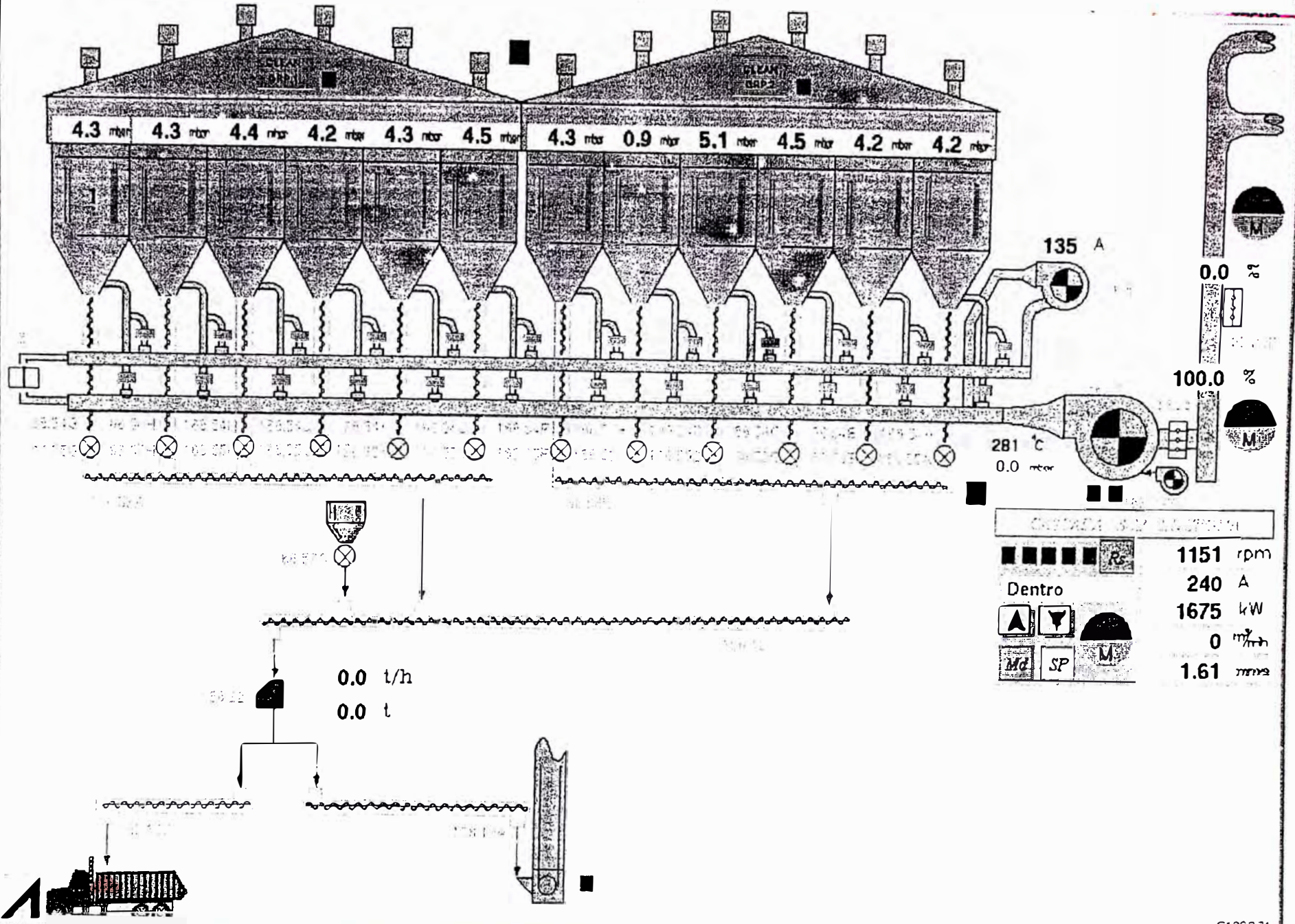
PV SP Out

Auto Manual

+5% +1% -1% -5%

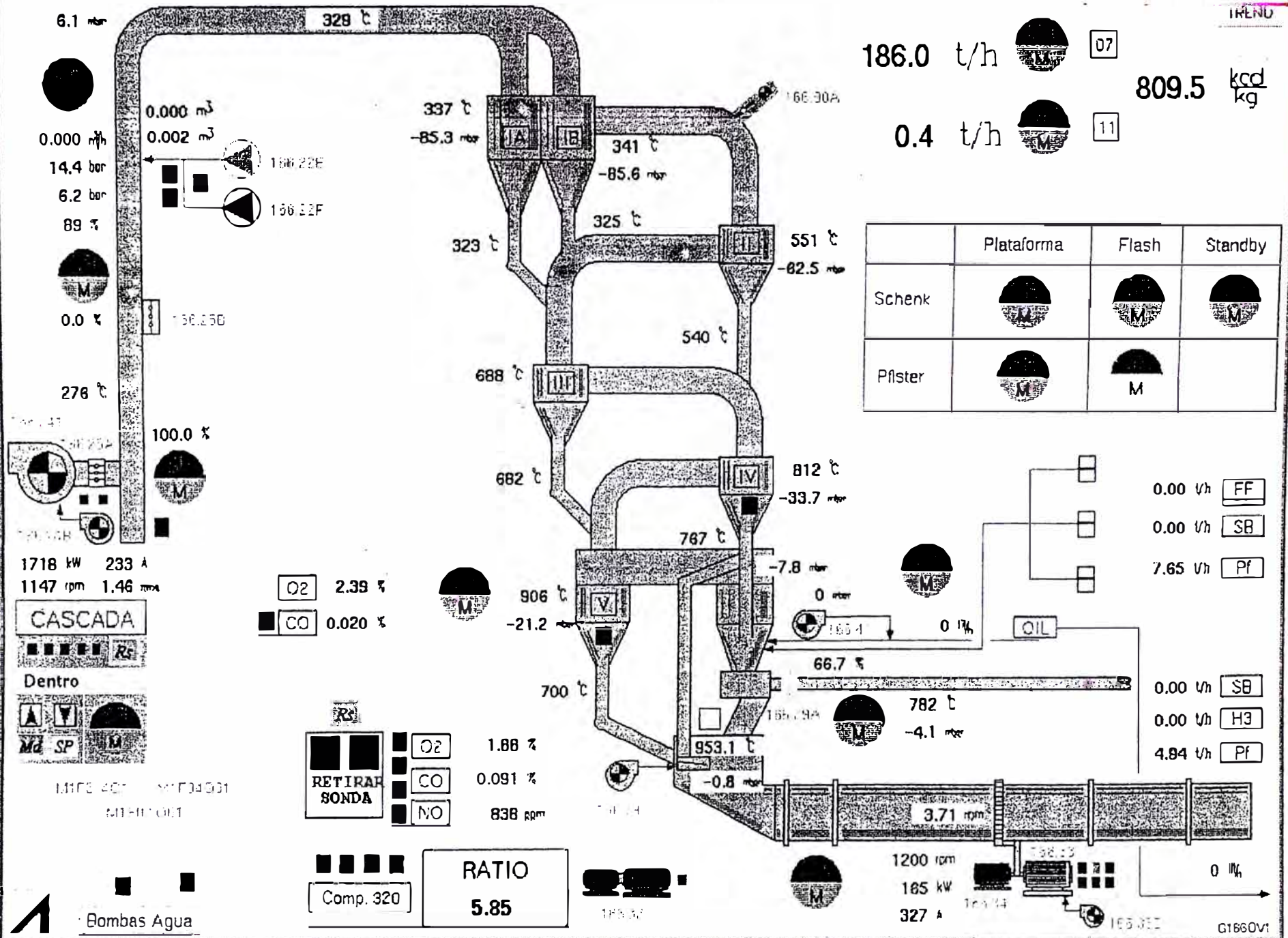
TREND

COLECTOR



16-NOV-1998 11:46:59

173



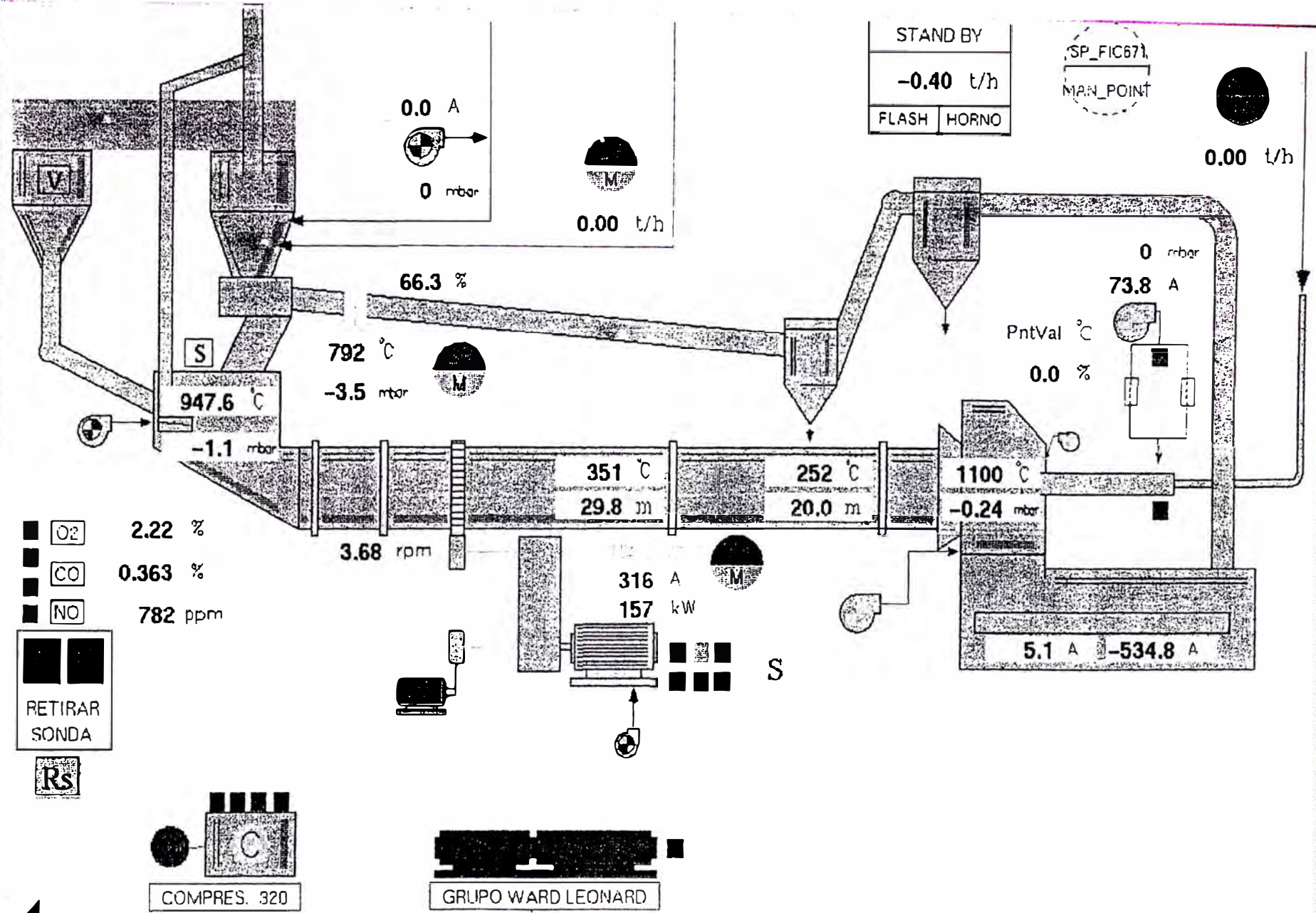
186.0 t/h 07
 0.4 t/h 11

809.5 $\frac{kg}{kg}$

	Plataforma	Flash	Standby
Schenk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pflster	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

0.00 v/h FF
 0.00 v/h SB
 7.65 v/h Pf
 0.00 v/h SB
 0.00 v/h H3
 4.94 v/h Pf

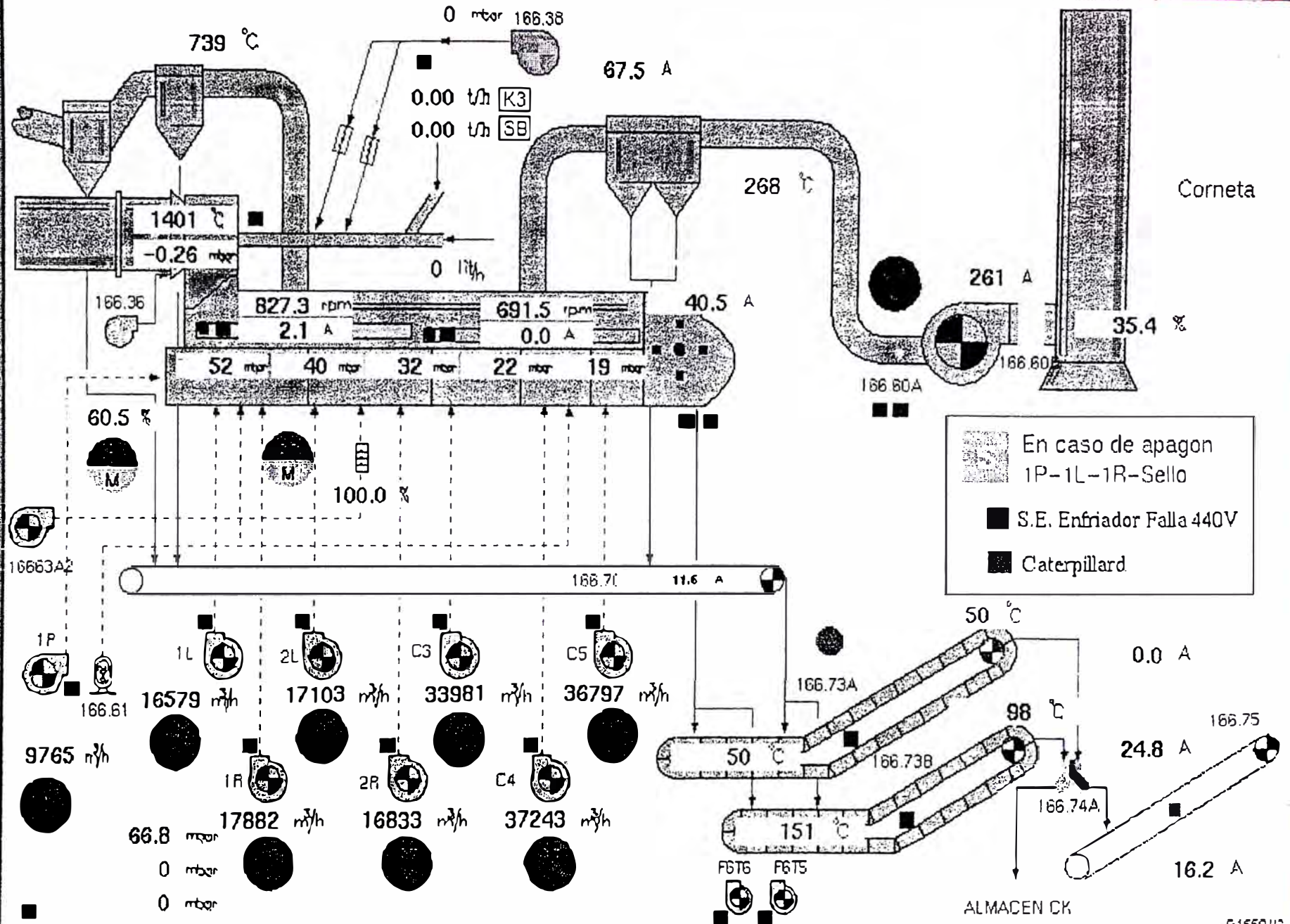
Bombas Agua



16-NOV-1998 11:59:25

175

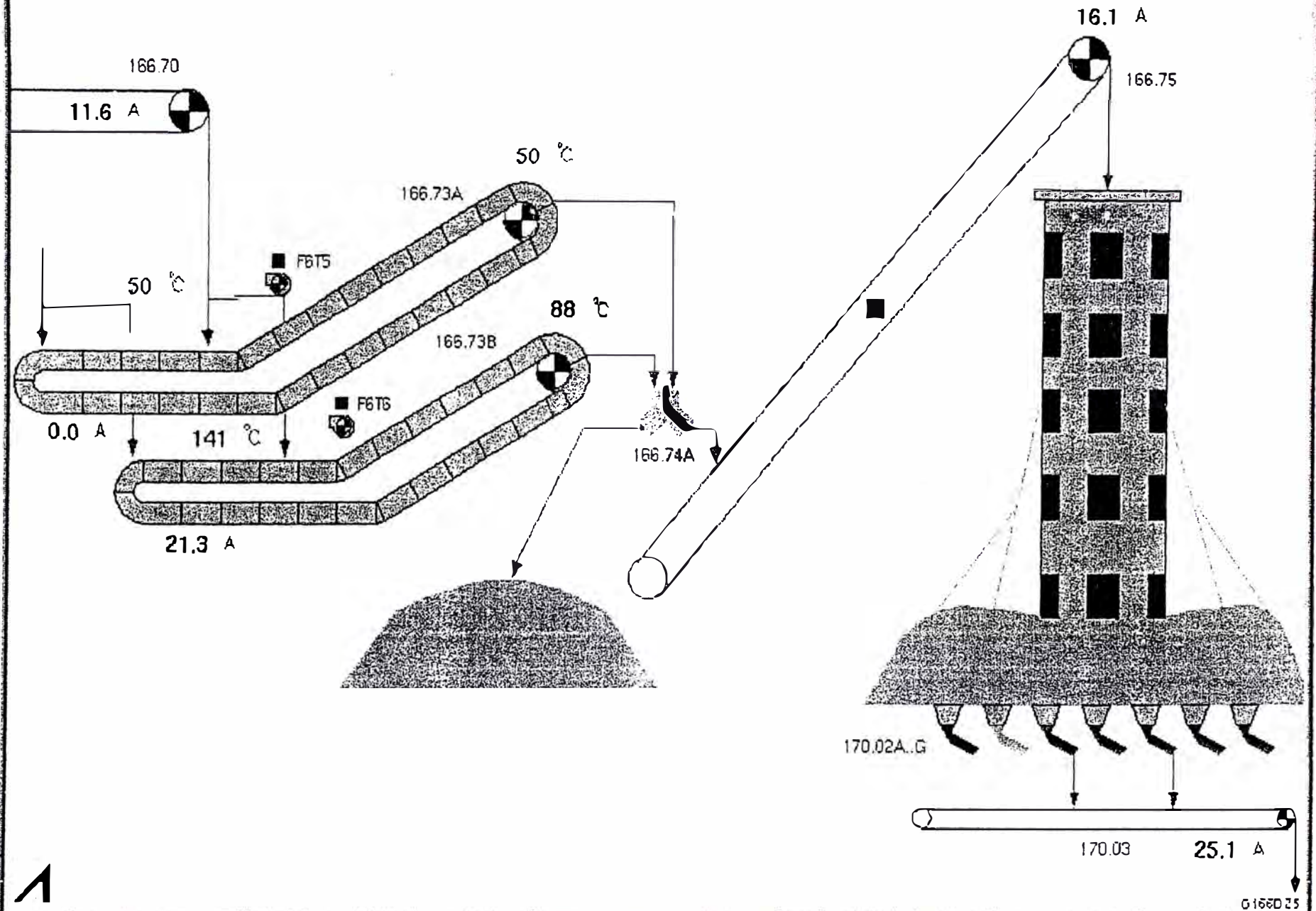
TREND



17-NOV-1998 05:17:17

176

G1660 U2



17-NOV-1998 05:18:21

177

ARR. PERM.

TRANSFER

SELECCION PFISTER FLASH KILN3 KILN2 SP_EMRG
 SELECCION STAND_BY
 AIRE PRIMARIO H3 **START** **STOP** Dentro

POSICION DE VALVULAS DIVERSORAS

R912M Pos. 1 R1212M Pos. 2
 R1214M Pos. 1
 R1013M Pos. 1 R1213M Pos. 2
 R1012M Pos. 1
 R1113M Pos. 1 R1112M Pos. 1

FLASH	KILN 3	STAND-BY
START STOP []	START STOP []	
R913VLA Abierto	R1013VL Abierto	R1208M Parado
R913VLB Abierto	R1009M Dentro	R1206M Parado
R913VLC Abierto	R1006M Parado	R1202M Parada Local
R909M Dentro	R1002M Parada Local	R1201M No Listo
R906M Parado	R1001M Parada Local	R806GT4 Alama
R902M No Listo	R806GT2 Cerrado	Puente C-V PUENTE
R901M No Listo	R2300M Dentro	Puente IDFAN PUENTE
R806GT1 Alama	R2102M Pos. 2	Solo Blower Trabajando a Flash
R2400M Dentro		
R2103M Pos. 2		

R805M **Parada Local** **STR/STP**
 R801VL Parado
 R1404M Parado **START**
 R1401TR Parado
 R433M Parado
 R434M FWD Parado
 R434M REV Parado
 R1402M Parado

P. ARR. TRANSP. C. GRUES []	FALL SEC. FLASH RK ALM []	FALL SEC SIST. HOR3 RK3AL []
SIRENA DE ALARMA []	SIST QUEM HORNO2STBYAC []	OK ABRIRCOMP EXT.R4.39 []
SIS LLENDO TOLVA PERM. []	ARR. OK SIST. QUEM. H3RK3 []	OK ABRIRCOMP EXT.R4.46 []
SIST INYECC CO2 RC02SV []	SIR TAB. HOR3 RK3FIRRK3 []	OK ABRIRCOMP EXT.R4.24 []
SIST INYECCION DE O2 []		

17-NOV-1998 05:50:16

ALIM. PLATAFORMA HORNO 3

FE671	0.00 t/h
SP FIC671	-468 kg/h
man-point	Min

PV Out

REMOTE CONTROL HORNO 2

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

ALIM. FLASH HORNO 3

FE672	0.00 t/h
SP FIC672	2.00 t/h
man-point	Min

PV Out

REMOTE CONTROL HORNO 2

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

ALIM. STAND-BY

FE672A	-0.42 t/h
SP FIC672A	0 kg/h
man-point	Min

PV Out

REMOTE CONTROL HORNO 2

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

SP TEMP GASES CICLON V

TIC007	903 °C
TIC007 SP	910 °C
TIC007 OUT	7.03 t/h
TIC007 AM	Aut

PV SP Out

Auto
Manual

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

PRESION DIFF. CHANCADORA

PD1608	300 mV/G
PDIC606 SP	105.0
PDIC606 OUT	18.0 t/h
PDIC606 AM	Man

PV SP Out

Auto
Manual

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

BALANZA R2.05M

WE607	0.06 t/h
SP FIC607	25.00 t/h
man-point	Min

PV Out

REMOTE CONTROL PRESION CHANCA

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

BALANZA R2.13M

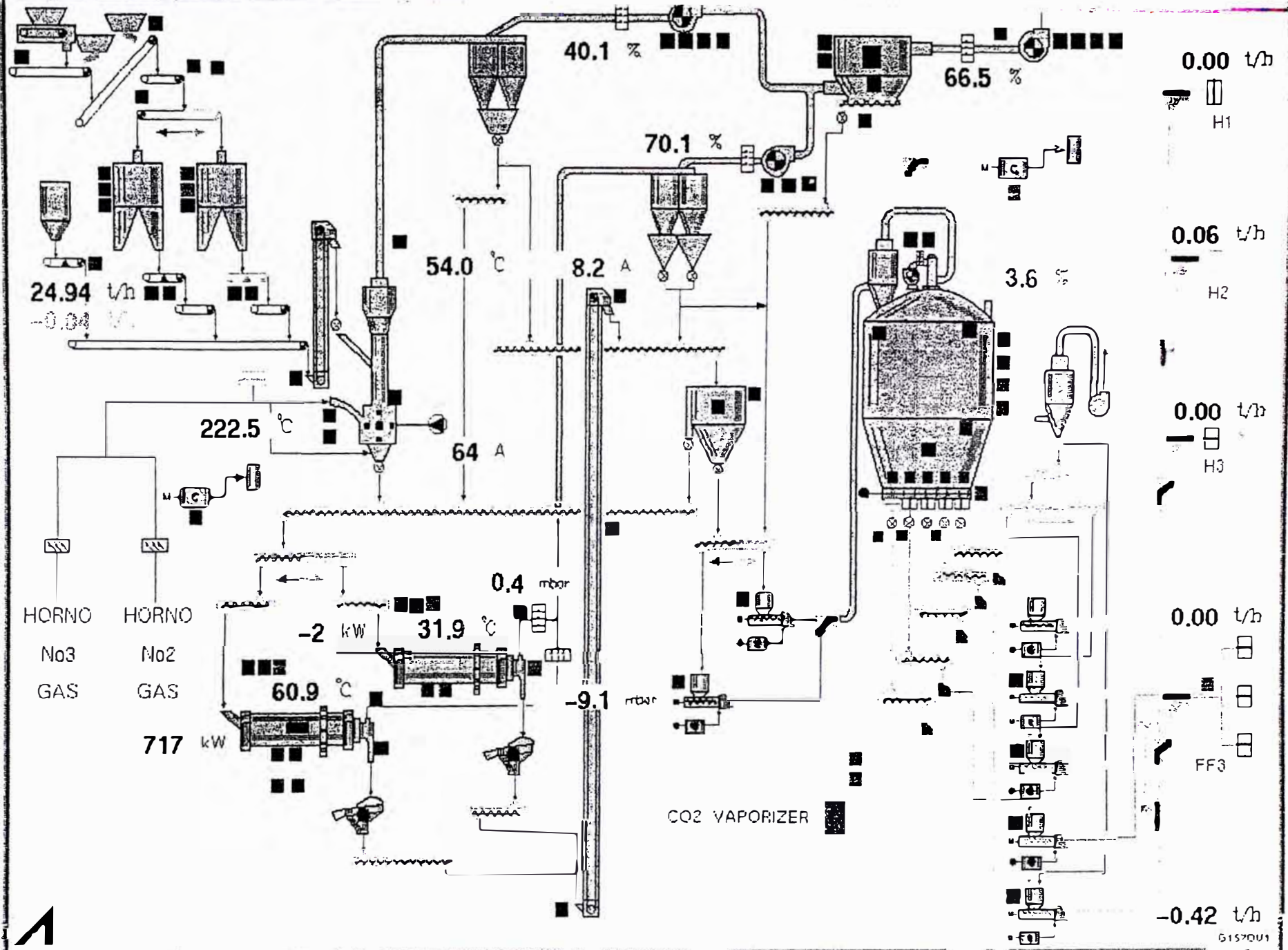
WE608	24.44 t/h
SP FIC608	25.0 t/h
man-point	Min

PV Out

REMOTE CONTROL RATIO

+5%
+1%
-1%
-5%

Ratio: 1.000



G1 MC4 Transp. Clinker

145G01	Dentro	
■ ■		
■ ■		
■ 17005C	Dentro	
17006B	Pos. 1	
■ 17005B	Dentro	
17006A	Pos. 1	
■ 17005A	Dentro	
■ 17004	Dentro	
17005D	Dentro	
■ 17003	Dentro	
17002A	Dentro	
17002B	Parado	
17002C	Paro Emerg.	
17002D	Paro Emerg.	
17002E	Paro Emerg.	
17002F	Paro Emerg.	
17002G	Paro Emerg.	

MC5

SIRENA

G2 MC4 Sist. fil/trans.

145G02	Dentro	
■ ■		
17031A	Dentro	
17033	Dentro	
17030A	Parado	
■ 17029	Parado	
7018	Dentro	
■ 7017	Dentro	
17026A	Dentro	
■ 17025	Dentro	
■ 17101		

G3 MC4 Sist. fil. molino

145G03	Al. Equipo	
■ ■		
17026	Paro Emerg.	
17019A	Paro Emerg.	
17021A	Parado	
17022AB	Parado	
■ 17024	No Listo	
170241	No Listo	
■ ■ 17023	Paro Emerg.	

G4 MC4 Separador

145G04	Dentro	
■ ■		
17041A	Dentro	
17038A	Dentro	
17038B	Dentro	
17042	Dentro	
17041	Dentro	
17039A	Dentro	
17038	Dentro	
17037A	Dentro	
17036A	Dentro	
17035	Dentro	
17036D	Dentro	
17034A	Dentro	
17041D	Dentro	
17041E	Dentro	
17045	Dentro	

G5 MC4 Auxs. mol. cemento

145G05	Dentro	
■ ■ 17017	Paro Emerg.	
■ 17014A	Dentro	
■ ■ 17016	Dentro	
■ ■ 17018A		
■ ■ 17018B	Dentro	
■ 17018C	Dentro	
■ ■ 17018D		
■ ■ 17018E	Dentro	

G6 MC4 Acc. ppal. mol. cem.

145G06	Dentro	
■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■		
17015	Parado	
■ 17014	Dentro	
■ ■ 170141	res min	
17014B	Dentro	
17014C	Dentro	
■ ■ 17011		
17011B	No Pos.	
■ 17013	Dentro	

G7 MC4 Sist. aliment. mol.

■ 145G07	Dentro	
■ 17010	Dentro	
■ 17009	Dentro	
■ 17007	Dentro	
■ 17008	Dentro	
■ 17036	Dentro	

G8 MC3 Sist. Aliment. Molino

■ 145G08	Parado	
■ ■ 7001	Parado	
■ ■ 7002	Parado	
■ ■ 17037	Parado	

Alimentación balanzas

CEMENTO-TR	94.2 t/h
K01FD5-SP	91.0 t/h
K01FD5-OUT	91.0 t/h
K01FD5-AM	Man

PV SP Out

Auto
Manual
Cascade

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

Clinker S/P

CLINKER	56.0 t/h
K01FD1-SP	56.9 t/h
K01FD1	6.4 %
K01FD1-AM	Cascade

PV SP Out

Auto
Manual
Cascade

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

Ratio 62.6

Vaso S/P

VASO	4.8 t/h
K01FD2-SP	4.9 t/h
K01FD2	68.9 %
K01FD2-AM	Cascade

PV SP Out

Auto
Manual
Cascade

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

Ratio 5.4

BZA ADICION B5FCMTO 4

bfs-cam4	33.3 t/h
BFS-C4-SP	33.4 t/h
man.point	MAN

PV Out

casca

+5%
+1%
-1%
-5%

Ratio 32.0

Total Feed Mol. 4 S/P

K01FD6	94.2
K01FD6-SP	134.9
K01FD6-OUT	0.0
K01FD6-AM	Man

PV SP Out

Auto
Manual

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

Molino SprayControl S/P

K02TD11	95.5 °C
K02TD11-SP	115.0 °C
K02TD12	0.0 %
K02TD11-AM	Aut

PV SP Out

Auto
Manual

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

1702+ Filtro S/P

K02P01	12.8 rpm
K02P01-SP	5.4 rpm
1702-41-CU	0.0
K02P01-AM	Aut

PV SP Out

Auto
Manual

+5%
+1%
-1%
-5%

TREND

0 rpm No Listo

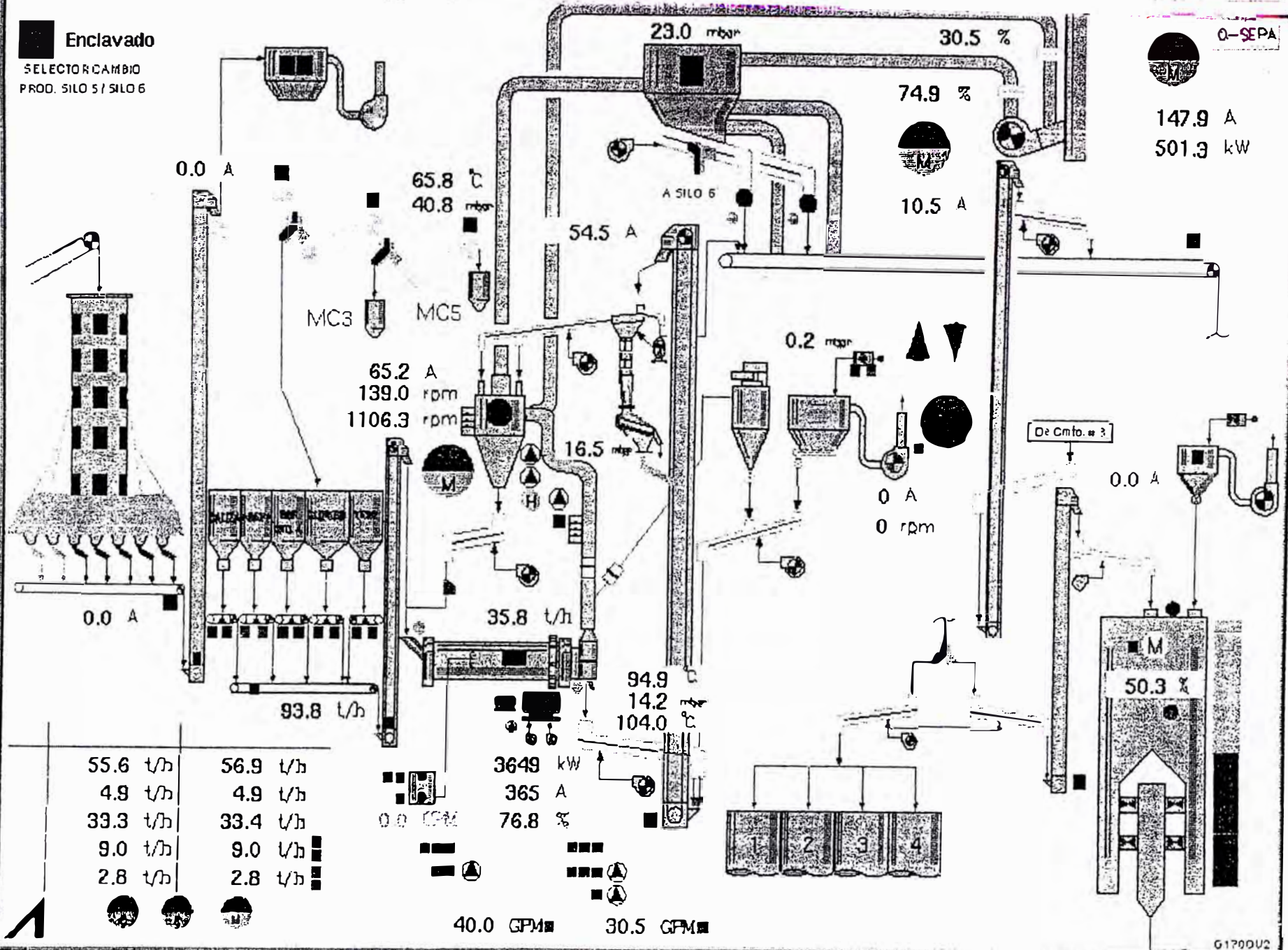
SETPOINT B5FCMTO 3

K01FD4	0.00 t/h
BFS-C3-SP	10.00 t/h
man.point	MAN

PV Out

+5%
+1%
-1%
-5%

Enclavado
 SELECTOR CAMBIO
 PROD. SILO 5 / SILO 6



ALIMENTACION SILO			DESCARGA SILO		CARGA CAMION			
178 G01	Dentro		178 G02	Dentro		178 G03	Local	
■				Automatico				
17831	Dentro		17826	Dentro		17804	Paro Emerg.	
17828	Dentro		17824	Dentro		17823	Paro Emerg.	
17829	Dentro		17822	Dentro		17805	ERROR	
17830	Dentro		17821			17803	Alarma	
			17820					
			17801	Abierto				
			17818	Abierto				

			17825	Dentro				

START

SIL0

EMBOLS.

VENTOMATIC

CARBON

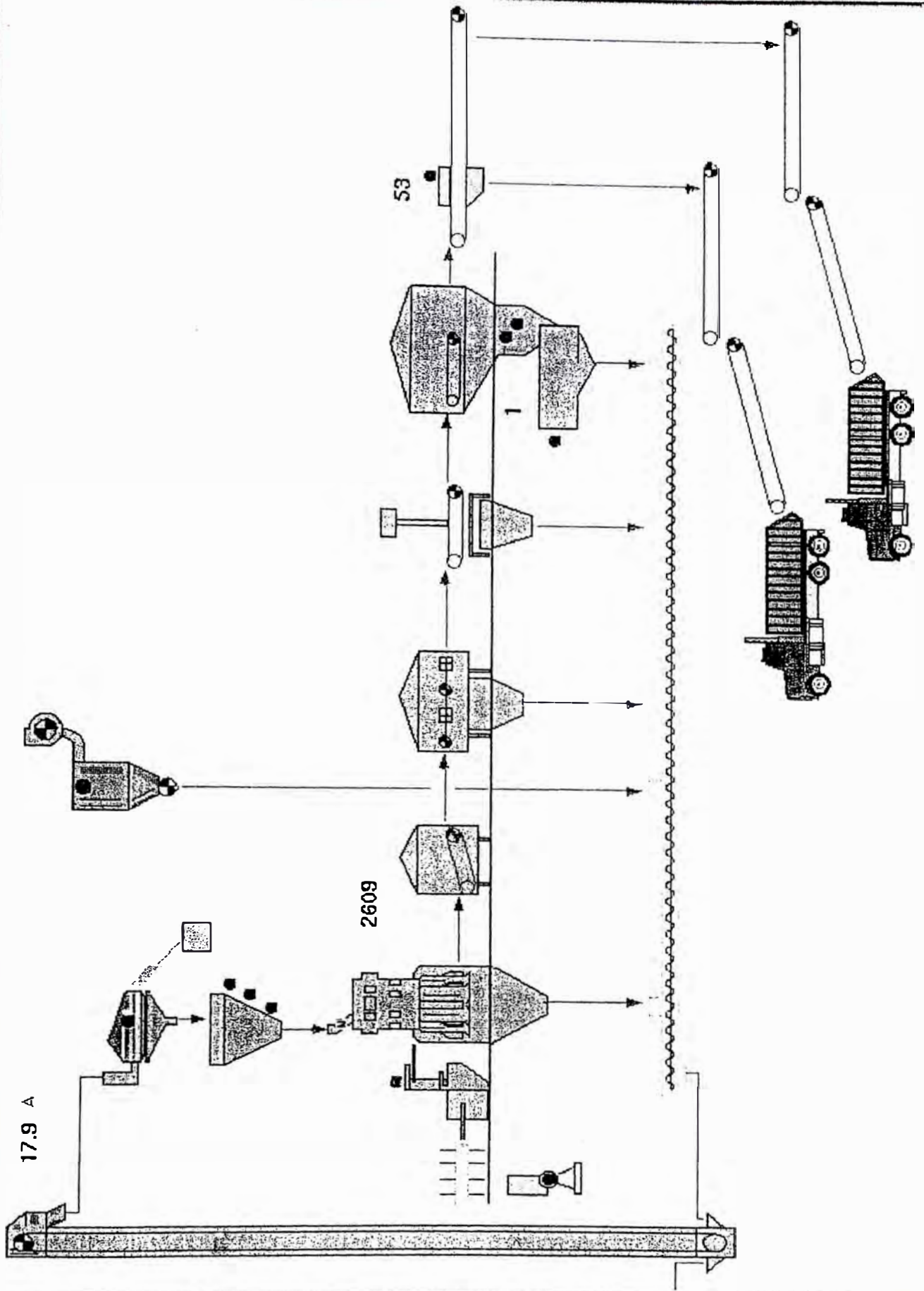
ENF.3

HORNQ3

HONG

CRUDO 2

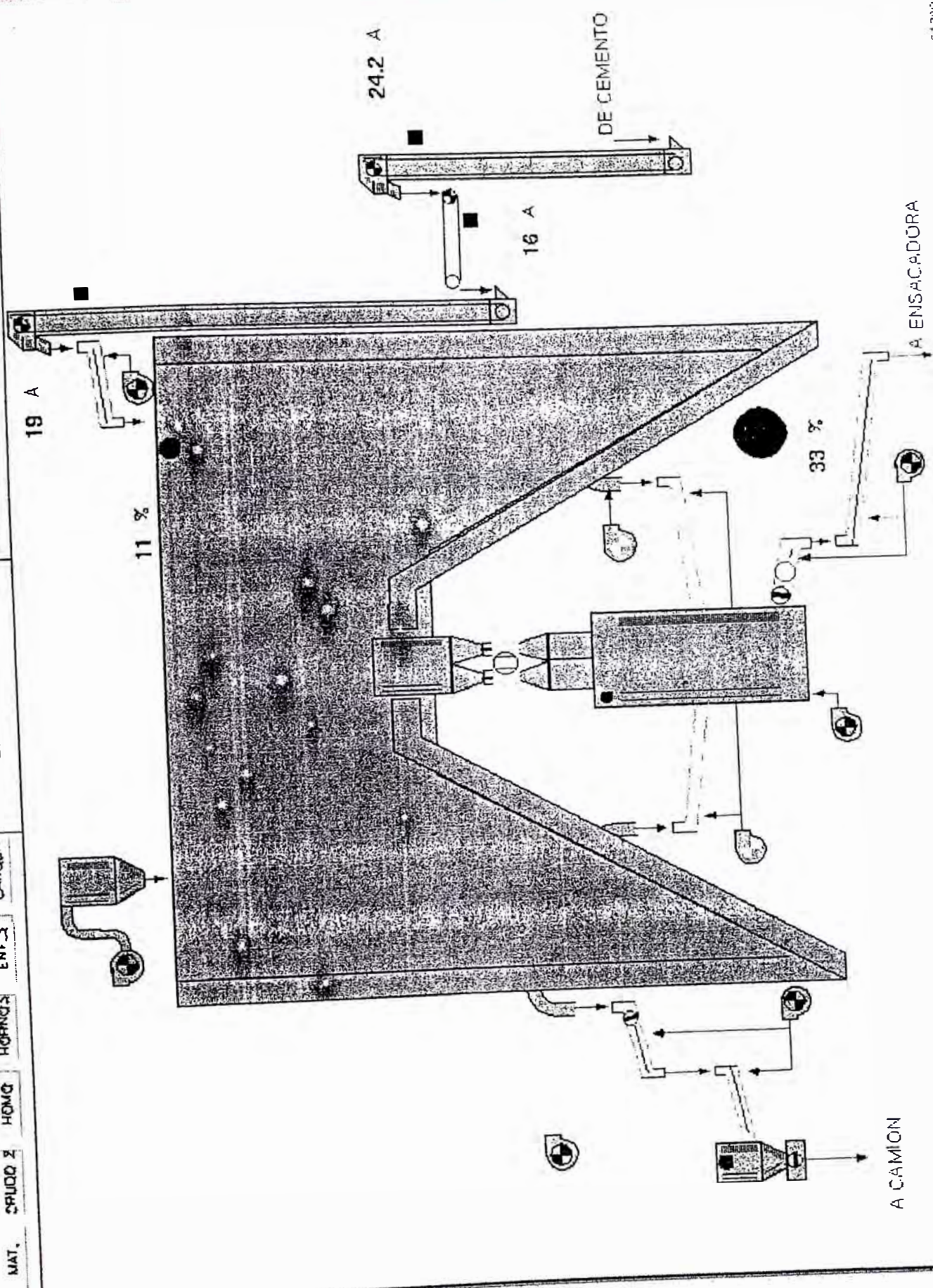
MAT.



0178022

61730171

MAT. CRUDD 2 HOMO HORNO3 ENF.3 CARBON ENSACADORA SILO VENTOM START



A CAMION

A ENSACADORA

DE CEMENTO

24.2 A

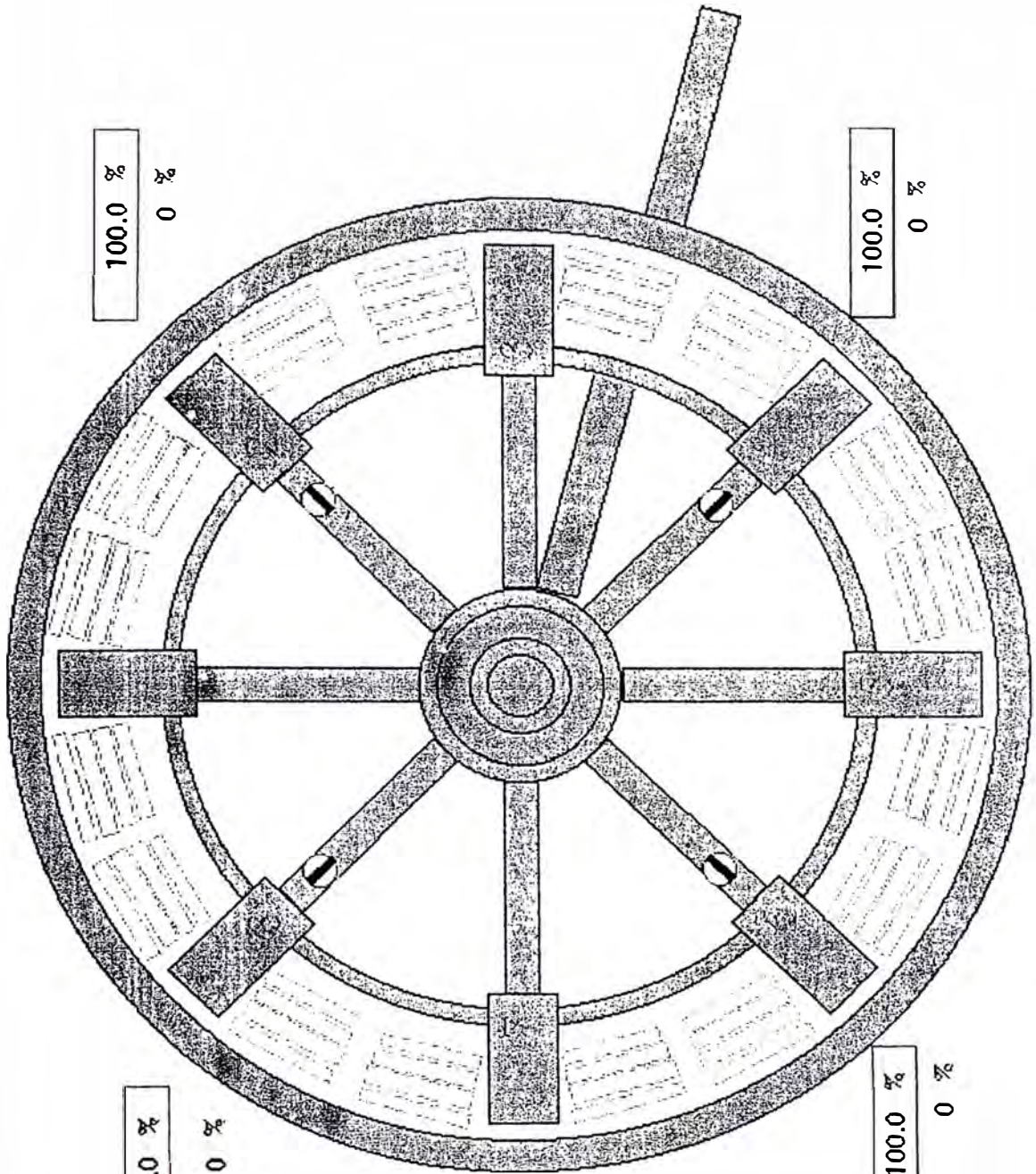
16 A

19 A

11 %

33 %

MAT. CRUDO 2 HOMO HORNO 3 ENF 3 CARBON ENSACADORA SILO EMBOLS VENTOM START



100.0 %
0 %

100.0 %
0 %

100.0 %
0 %

100.0 %
0 %

APENDICE D

- 1. RESULTADOS DE CURVAS DE
ALGUNAS CALIBRACIONES**

- 2. ANALISIS DE MUESTRAS DE
CAMPO EJEMPLOS DE ANALISIS Y
REPORTES DE CONTROL**

Norte 7 Oct 1998

Ver V3.5

15.58.32

Pacasmayo, Peru

Page 1

Report CRUDO Segment_1_1

	XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 MgO	XRF1 K2O	XRF1 Na2O	XRF1 S03
--	--------------	---------------	---------------	-------------	-------------	-------------	--------------	-------------

Analysis	14.80	3.08	2.03		1.44	0.46	0.17	
Raw value	45.657	12.498	18.148	551.21	0.9142	14.429	0.6057	2.0713

Analysis	18.10	4.80	3.24	37.90	2.11	0.72		
Raw value	55.814	20.417	28.515	472.88	1.2944	20.917	0.5683	2.0472

Analysis	14.90	3.75	2.31	41.10	2.16	0.56	0.09	0.25
Raw value	46.717	15.834	20.203	525.95	1.3028	17.167	0.5044	2.2039

Analysis	11.40	2.26	4.27	43.30		0.36	0.15	0.17
Raw value	35.073	9.0123	35.994	573.64	1.0495	11.634	0.5605	1.6456

Analysis	12.70	2.42	4.50	42.10	1.94	0.38	0.17	0.23
Raw value	39.541	9.8254	38.225	551.27	1.1937	12.216	0.5989	1.9820

Analysis		2.78		40.80	1.70		0.30	0.20
Raw value	50.346	11.109	32.780	521.82	1.0617	12.489	0.7840	1.7712

Cal-Algorithm	LIN	LIN	LIN	LIN	LIN	LIN	LIN	LIN
Cal-Parameters								
A-Constant	-0.0384	0.2808	-0.2107	12.977	-0.2209	-0.0930	-0.2685	-0.0536
B-Constant	323.57	221.17	123.36	53.038	1812.9	38.566	727.86	140.00
C-Constant	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Std.Error	0.1332	0.0369	0.0481	0.2016	0.0147	0.0072	0.0082	0.0084
M.Corr.Coeff.	0.9990	0.9994	0.9993	0.9962	0.9991	0.9991	0.9957	0.9808
Cal-Minimum	11.400	2.2600	2.0300	37.900	1.4400	0.3600	0.0900	0.1700
Cal-Maximum	18.100	4.8000	4.5000	43.300	2.1600	0.7200	0.3000	0.2500

tion Report CRUDO Segment_1_1

Norte 7 Oct 1998

Ver V3.5

15.58.32

Pacasmayo, Peru

Page 1

Calibration Survey

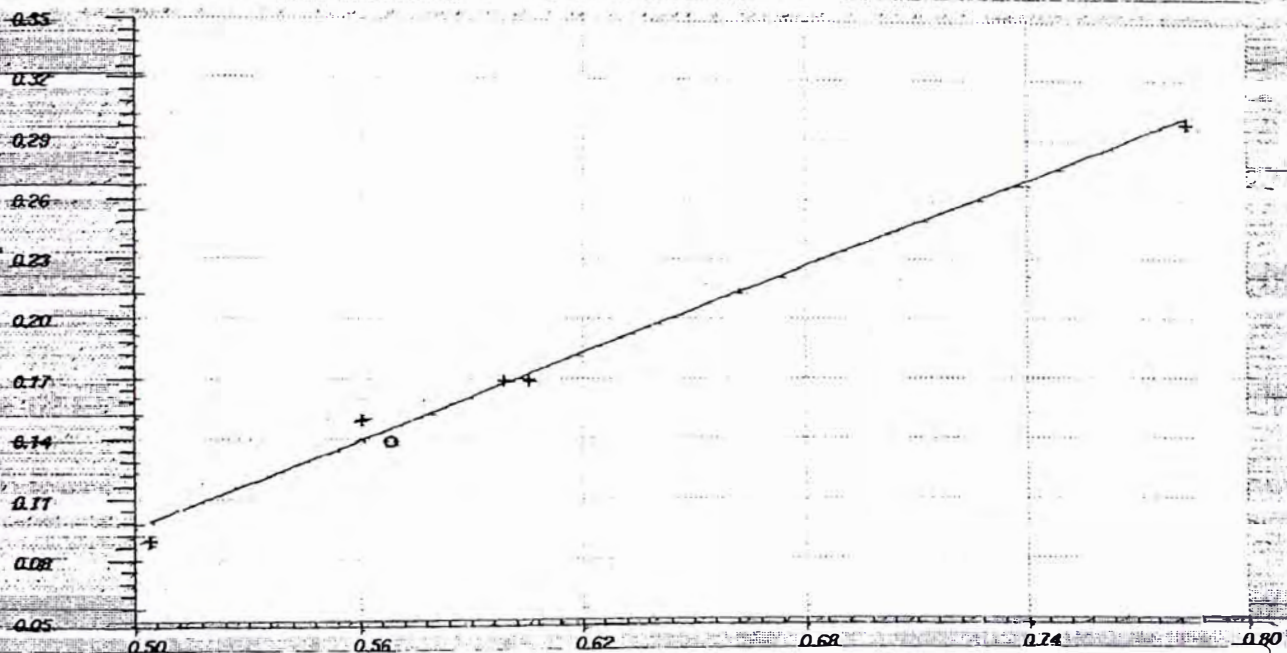


prnt: XRF1 ARL 8660 TEA
 jta CRUCO CREDIT
 me Segment_1_1

Item	Seg	Lim	A	B	C	Std. Error	Corr. Coeff	Alg.	Raram.
SiO2	-	-	-0.0384	323.5700	0.0000	0.13	0.9990	LIN	
Al2O3	-	-	0.2808	221.1720	0.0000	0.04	0.9994	LIN	
Fe2O3	-	-	-0.2107	123.3568	0.0000	0.05	0.9993	LIN	
CaO	-	-	12.9771	53.0377	0.0000	0.20	0.9962	LIN	
MgO	-	-	-0.2209	1812.8846	0.0000	0.01	0.9991	LIN	
K2O	-	-	-0.0930	38.5659	0.0000	0.01	0.9991	LIN	
Na2O	-	-	-0.2665	727.8636	0.0000	0.01	0.9957	LIN	
SO3	-	-	-0.0536	140.0016	0.0000	0.01	0.9808	LIN	

Calibration Plot

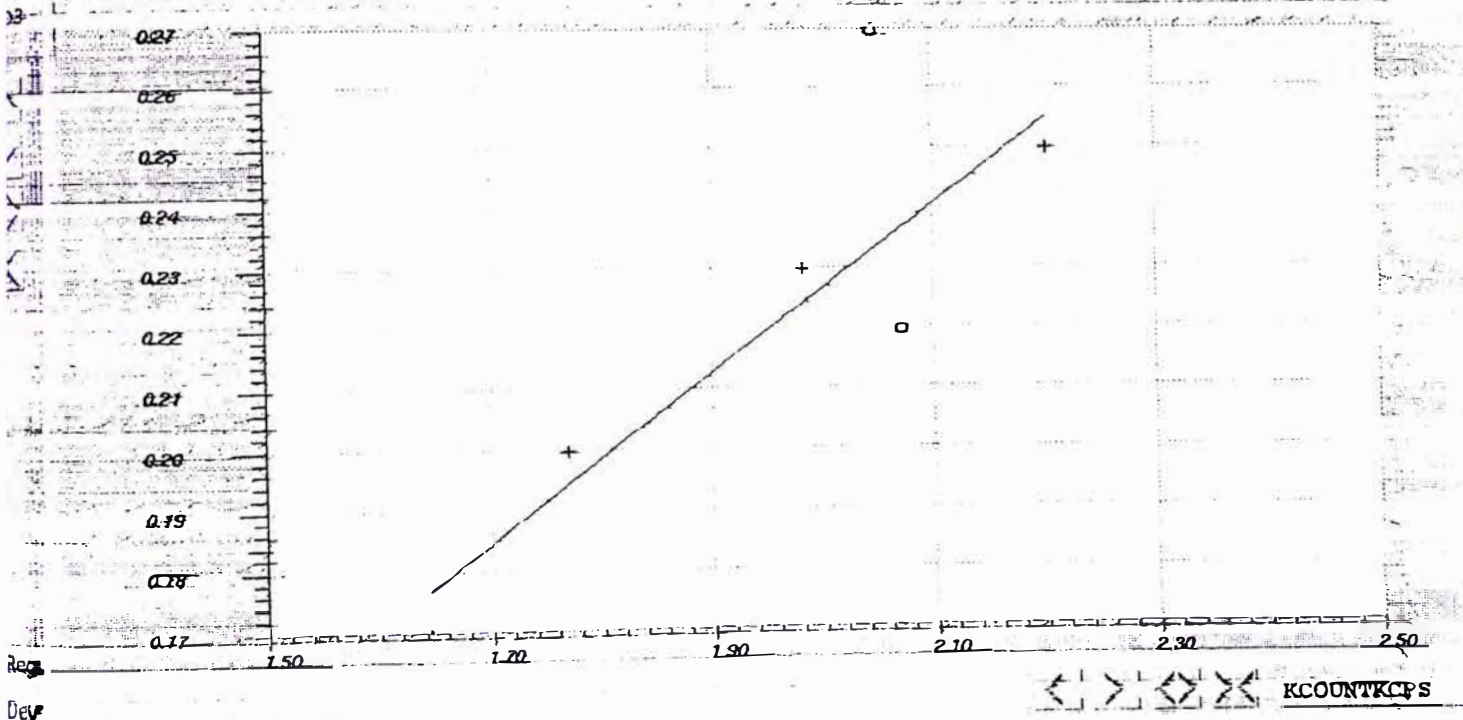
XRF1 ARL 8660 TCA	A:	-0.2685
CRUDO CRUDO	B:	727.8636
Segment_1_1	C:	-0.0000
Na2O	Std. Error:	0.01
LIN	Corr. Coeff:	0.9957
	Seg-Lim:	-



KCOUNTKCP5

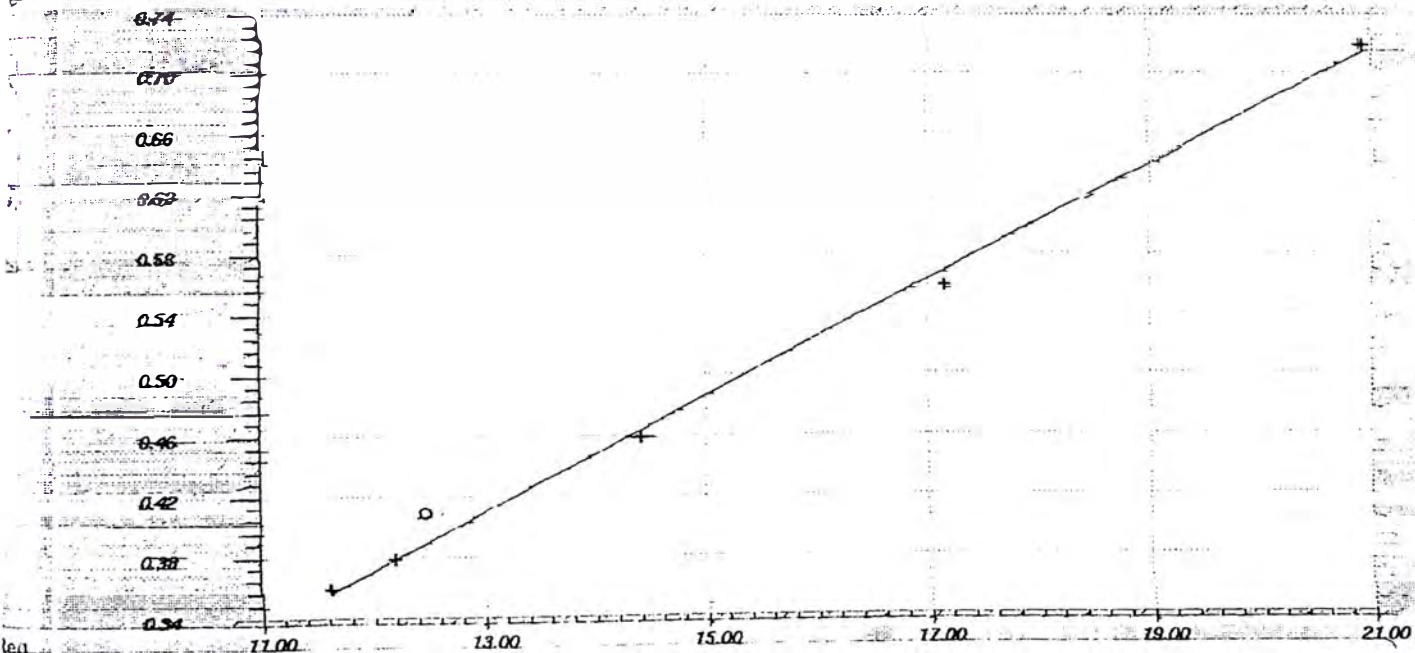
Calibration Plot

Unit: XRF1	ARL 8660 TCA	A:	-0.0536
Sample: CRUDO	CRUDO	B:	140.0016
Segment: Segment_1_1		C:	0.0000
Element: SO3		Std. Error:	0.01
Method: LIN		Corr. Coeff:	0.9808
Range:		Seg-Lim:	-



Calibration Plot

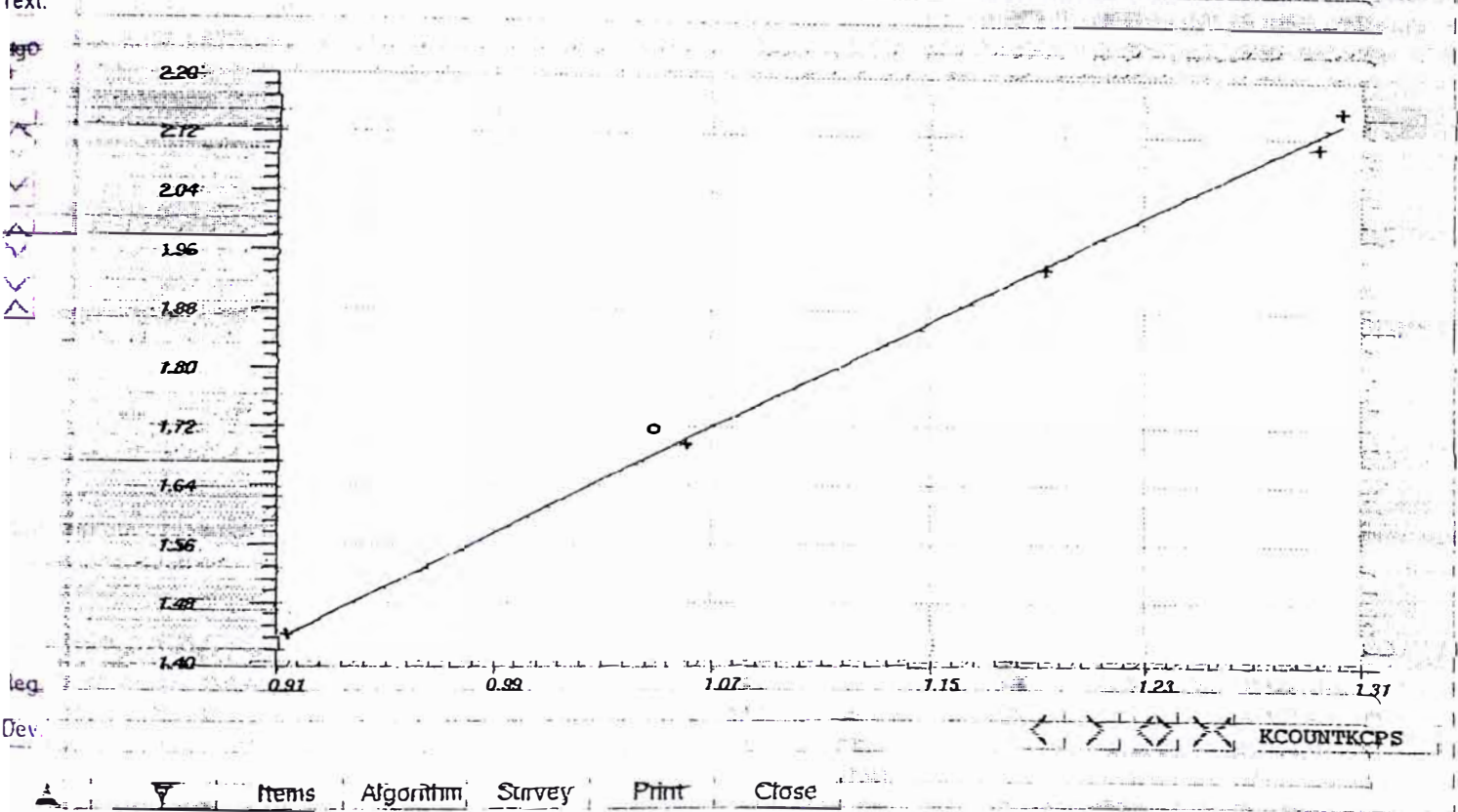
prime	XRF1 ARL 8660 TCA	A:	-0.0930
grant	CRUDO CRUDO	B:	38.5659
segment	Segment_1_1	C:	0.0000
id	K20	Std. Error:	0.01
method	LIN	Corr. Coeff:	0.9991
		Seg-Lim:	-



KCOUNTKCP5

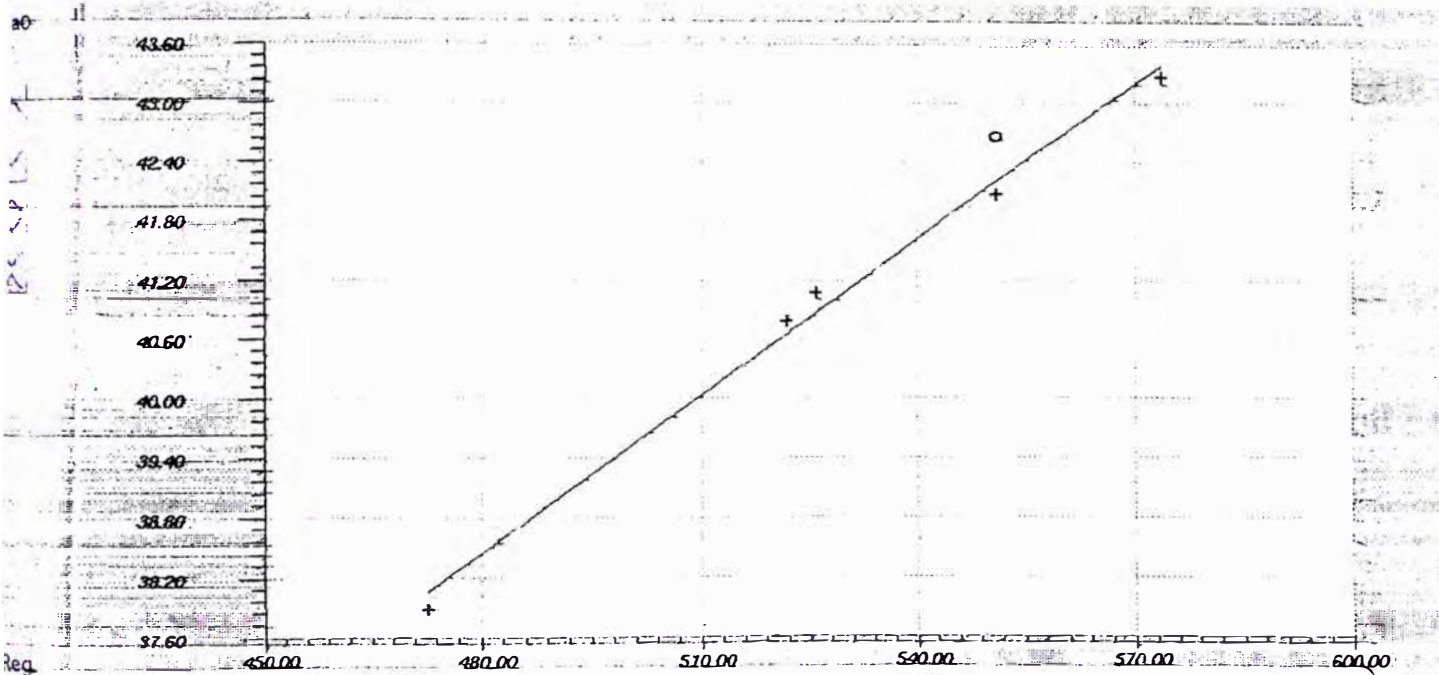
Items Algorithm Survey Print Close

		Calibration Plot	
Equipment	XRF1 ARL 8660 TCA	A:	-0.2209
Program	CRUDO CRUDO	B:	1812.8846
Segment	Segment_1_1	C:	0.0000
Element	MgO	Std. Error:	0.01
Algorithm	LIN	Corr. Coeff:	0.9991
Parameter		Seg-Lim:	-



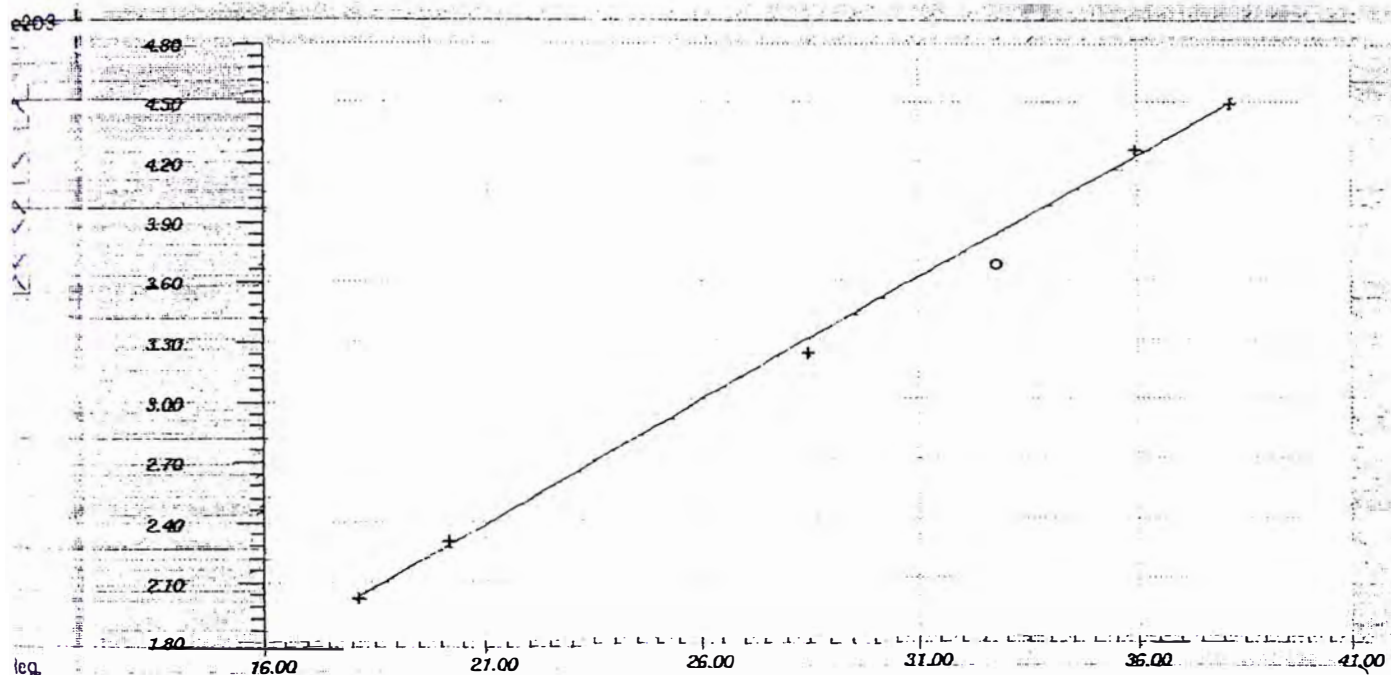
Calibration Plot

Equipment	XRF1 ARL 8660 TCA	A:	12.9771
Program	CRUDO CRUDO	B:	53.0377
Segment	Segment_1_1	C:	0.0000
Element	CaO	Std. Error:	0.20
Algorithm	LIN	Corr. Coeff:	0.9962
Parameter		Seg-Lim:	-



Calibration Plot

Equipment:	XRF1 - ARL 8660 TCA	A:	-0.2107
Program:	CRUDO CRUDO	B:	123.3568
Segment:	Segment_1_1	C:	0.0000
Element:	Fe2O3	Std. Error:	0.05
Algorithm:	LIN	Corr. Coeff:	0.9993
Parameter:		Seg-Lim:	-

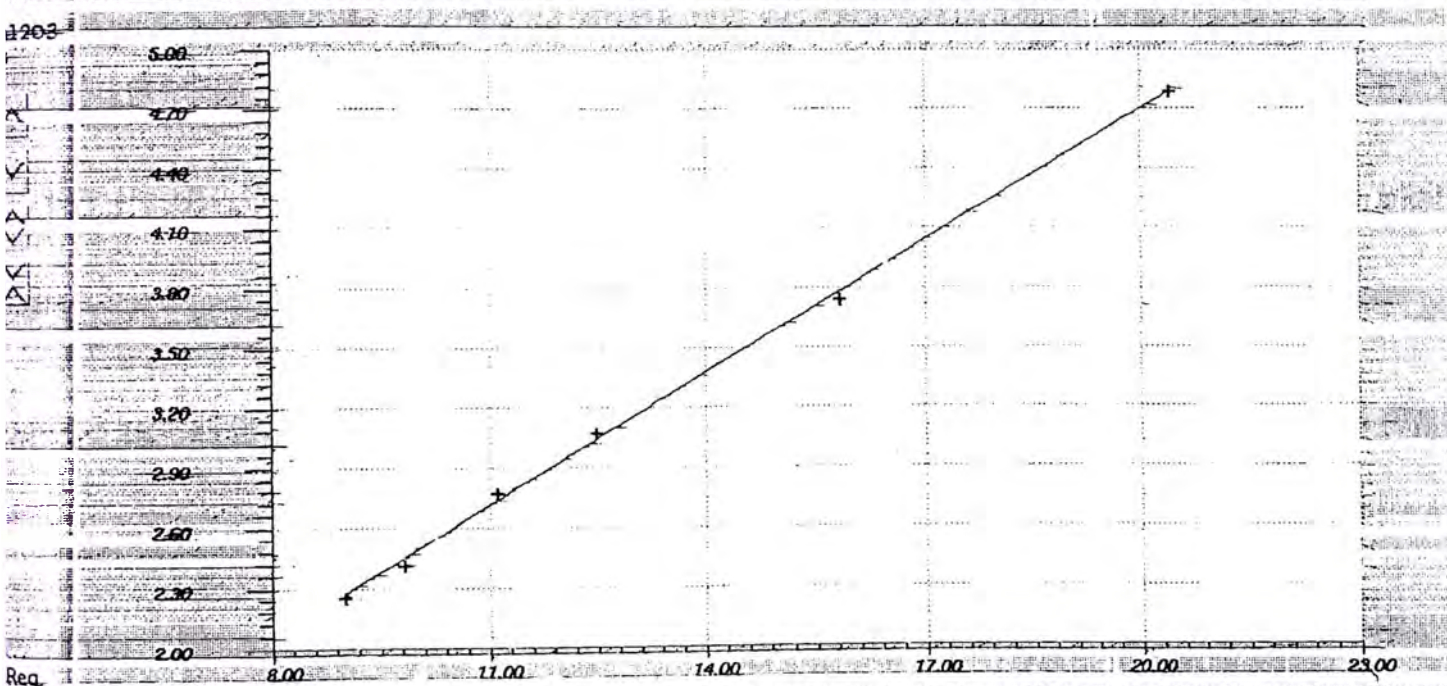


Navigation icons: left arrow, right arrow, diamond, and X. Text: KCOUNTKCBS

Items Algorithm Survey Print Close

Calibration Plot

Equipment	XRF1 ARL 8660 TCA	A	0.2808
Program	CRUDO CRUDO	B	221.1720
Segment	Segment_1_1	C	0.0000
Element	Al2O3	Std. Error	0.04
Algorithm	LIN	Corr. Coeff.	0.9994
Parameter		Seg-Lim	-



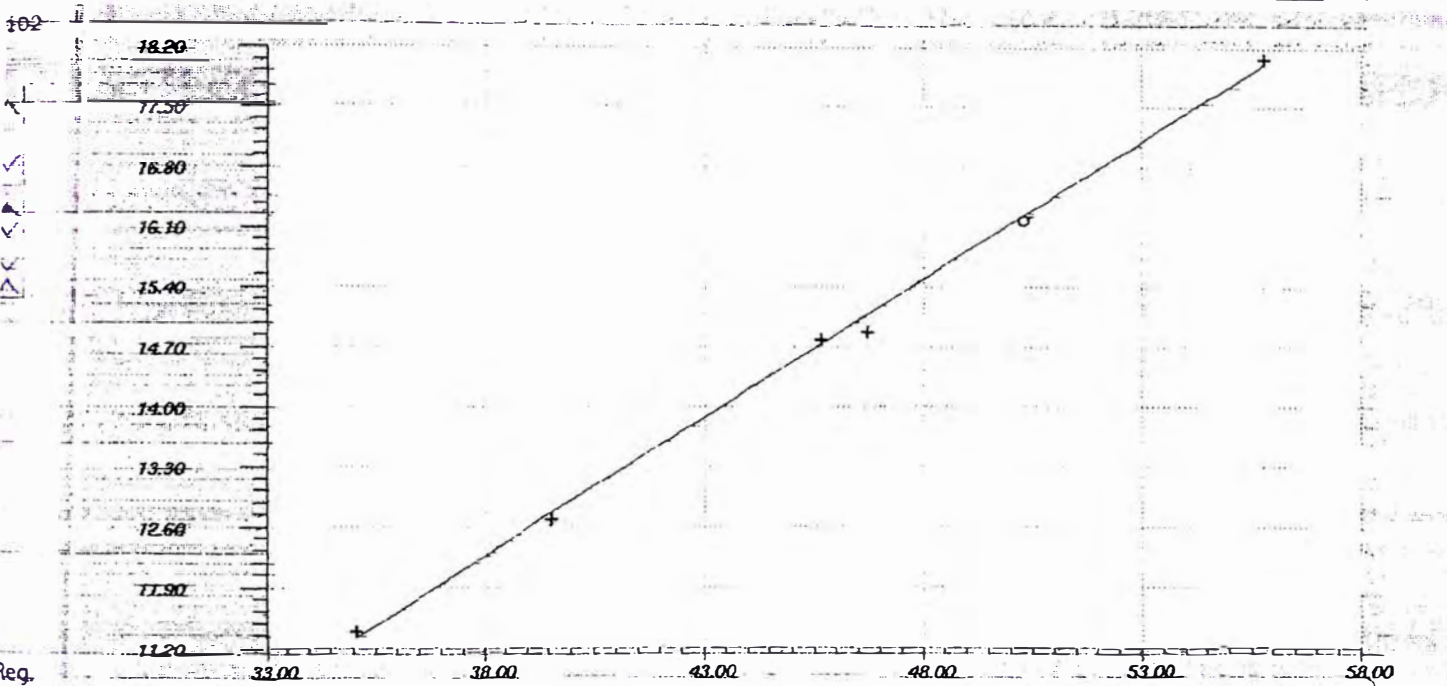
Reg. 8.00 11.00 14.00 17.00 20.00 23.00

Dev. KCOUNTKPCS

Items Algorithm Survey Print Close

Calibration Plot

Equipment:	XRF1 ARL 8660 TCA	A:	-0.0384
Program:	CRUDO CRUDO	B:	323.5700
Segment:	Segment_1_1	C:	0.0000
Element:	SiO2	Std. Error:	0.13
Algorithm:	LIN	Corr. Coeff:	0.9990
Parameter:		Seg-Lim:	-



Req: 33.00 38.00 43.00 48.00 53.00 58.00

Dev: KCOUNTKPCS

Items Algorithm Survey Print Close

Group : YESO : ARGANDONA

Registration Time) : 1 Nov 1998 7.00.00 - 10 Nov 1998 22.00.00 Free ANALISIS : YESO

(HH.MM.SS) : 0.00.00 Span (HH.MM.SS) : 24.00.00 Jump (HH.MM.SS) : 24.00.00

RegDat	XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 MgO	XRF1 K2O	XRF1 SO3	XRF1 SUM	Comnt
0 4 Nov	1.49	0.31	0.17	31.24	0.36	0.06	44.62	78.25	YD1456 INGRESO
0 4 Nov	0.84	0.11	0.12	31.81	0.27	0.04	45.07	78.27	YL1010 INGRESO
0 4 Nov	0.92	0.13	0.12	31.78	0.25	0.04	45.25	78.49	YD2292 INGRESO
4 5 Nov	0.99	0.14	0.12	31.50	0.27	0.05	45.32	78.39	INGRESO (YG5687 YC5393 YD2285
5 5 Nov	1.30	0.21	0.15	31.40	0.30	0.06	44.84	78.25	YD 2390 INGRESO
0 6 Nov	1.11	0.17	0.15	31.67	0.24	0.04	44.79	78.17	YD1290 INGRESO
0 7 Nov	0.95	0.14	0.12	31.65	0.23	0.04	45.02	78.16	YD2459, YG6402, YG5221 INGRESO
7 7 Nov	0.92	0.10	0.12	31.35	0.26	0.05	45.10	77.91	INGRESO YD2292
0 9 Nov	1.34	0.20	0.16	31.35	0.27	0.06	44.98	78.36	YD1482 INGRESO
0 9 Nov	1.09	0.15	0.14	31.74	0.25	0.05	44.96	78.38	YL1010, YL1006 INGRESO
4 9 Nov	1.03	0.16	0.12	31.71	0.23	0.05	45.29	78.58	INGRESO YG4450
10 10 Nov	0.83	0.08	0.12	31.01	0.33	0.05	45.05	77.46	YG 4788 INGRESO
	12	12	12	12	12	12	12	12	
	0.83	0.08	0.12	31.01	0.23	0.04	44.62	77.46	
	1.49	0.31	0.17	31.81	0.36	0.06	45.32	78.58	
	1.07	0.16	0.14	31.52	0.27	0.05	45.02	78.22	
	0.21	0.06	0.02	0.25	0.04	0.01	0.21	0.30	
	19.53	38.20	12.71	0.80	14.82	12.62	0.46	0.38	

Group : YESO : ARGANDONA

Group : HIERRO : CODICIADA

(Registration Time) : 1 Nov 1998 7.00.00 - 10 Nov 1998 22.00.00 Free ANALISIS : HIERRO

(HH.MM.SS) : 0.00.00 Span (HH.MM.SS) : 24.00.00 Jump (HH.MM.SS) : 24.00.00

RegDat	XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 MgO	XRF1 K2O	XRF1 SUM	XRF1 SIM	XRF1 ALM	Comnt	
.00	3 Nov	22.04	2.30	62.48	2.68	1.04	0.09	90.63	0.34	0.04	
00	3 Nov	22.08	2.56	68.14	0.99	0.40	0.08	94.25	0.31	0.04	XO-1578 INGRESO
00	3 Nov	16.33	4.30	73.79	1.26	0.45	0.12	96.25	0.21	0.06	XP2052 INGRESO
14	4 Nov	18.42	4.35	69.63	1.88	0.64	0.09	95.01	0.25	0.06	XI7296 INGRESO
00	4 Nov	16.05	2.61	65.41	4.82	1.23	0.10	90.22	0.24	0.04	XQ1588 INGRESO
00	4 Nov	16.07	5.65	61.81	2.90	0.73	0.10	87.26	0.24	0.09	XP2052 INGRESO
14	5 Nov	15.67	2.03	77.59	1.12	0.30	0.08	96.79	0.20	0.03	XI 7296 INGRESO
18	5 Nov	25.47	1.91	63.65	3.73	0.26	0.08	95.10	0.39	0.03	INGRESO XP2052
34	5 Nov	19.25	6.49	59.87	2.18	0.72	0.11	88.61	0.29	0.11	INGRESO XQ1588
28	6 Nov	19.54	3.16	67.48	0.97	0.63	0.08	91.86	0.28	0.05	XI 7290 INGRESO
00	6 Nov	20.84	4.02	65.46	2.25	0.52	0.02	93.12	0.30	0.06	XQ1588 INGRESO
00	6 Nov	12.41	3.53	76.10	0.18	0.09	0.49	92.80	0.16	0.05	XP-2052 INGRESO
00	6 Nov	20.42	5.41	64.49	1.79	0.55	0.07	92.74	0.29	0.08	XP-5731 INGRESO
26	7 Nov	15.42	2.73	76.76	1.55	0.34	0.01	96.80	0.19	0.04	XL-7296 INGRESO
00	7 Nov	19.99	3.56	69.34	1.83	0.47	0.02	95.20	0.27	0.05	INGRESO XQ1588
30	7 Nov	14.78	6.03	68.41	0.70	0.10	0.78	90.79	0.20	0.09	XP-2052 INGRESO
35	7 Nov	21.24	3.61	66.70	2.23	0.49	0.04	94.31	0.30	0.05	XP-5731 INGRESO
00	9 Nov	15.05	3.95	70.00	1.66	0.62	0.03	91.29	0.20	0.06	XI-7296 INGRESO
53	9 Nov	19.56	1.78	67.45	4.53	0.35	0.02	93.68	0.28	0.03	INGRESO XP2052
06	10 Nov	14.19	4.86	72.64	0.75	0.10	0.57	93.10	0.18	0.07	INGRESO XP5731
		20	20	20	20	20	20	20	20	20	
		12.41	1.78	59.87	0.18	0.09	0.01	87.26	0.16	0.03	
		25.47	6.49	77.59	4.82	1.23	0.78	96.80	0.39	0.11	
		18.24	3.74	68.36	2.00	0.50	0.15	92.99	0.26	0.06	
		3.32	1.41	5.01	1.24	0.29	0.21	2.63	0.06	0.02	
		18.22	37.56	7.33	61.87	58.54	139.16	2.83	23.27	41.42	

le Group : HIERRO : CODICIADA

Group : CALIZA QCX

(Registration Time) : 1 Nov 1998 7.00.00 - 10 Nov 1998 22.00.00 Free ANALISIS : CALIZA

(HH.MM.SS) : 0.00.00 Span (HH.MM.SS) : 24.00.00 Jump (HH.MM.SS) : 24.00.00

	XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 MgO	XRF1 K2O	XRF1 SO3	XRF1 LOI	XRF1 SUM	XRF1 LSF	XRF1 SIM	XRF1 C3S	Comnt
lov	3.93	1.43	0.56	50.40	1.05	0.20	0.34	40.76	98.68	385.67	1.97	278.31	
lov	3.90	1.39	0.60	50.38	1.17	0.16	0.34	40.87	98.82	388.73	1.96	279.42	
lov	4.63	1.75	0.71	49.71	1.16	0.25	0.44	40.34	99.00	320.92	1.88	258.83	
lov	4.92	1.86	0.69	49.44	1.22	0.28	0.38	40.19	99.00	300.96	1.93	251.42	
lov	5.25	2.03	0.68	48.86	1.32	0.34	0.28	39.84	98.60	278.56	1.94	240.03	
lov	5.89	2.19	0.68	48.45	1.26	0.37	0.41	39.46	98.71	248.35	2.05	225.97	
lov	4.07	1.46	0.49	50.25	1.48	0.25	0.25	41.11	99.36	373.62	2.08	276.93	
	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
	3.90	1.39	0.49	48.45	1.05	0.16	0.25	39.46	98.60	248.35	1.88	225.97	
	5.89	2.19	0.71	50.40	1.48	0.37	0.44	41.11	99.36	388.73	2.08	279.42	
	4.66	1.73	0.63	49.64	1.24	0.26	0.35	40.37	98.88	328.12	1.97	258.70	
	0.75	0.32	0.08	0.77	0.14	0.07	0.07	0.59	0.26	55.78	0.07	20.89	
	16.09	18.20	12.82	1.55	10.94	27.97	20.03	1.46	0.26	17.00	3.58	8.08	

Group : CALIZA QCX

: ARCILLA QCX

od (Registration Time) : 1 Nov 1998 7.00.00 - 10 Nov 1998 22.00.00 Free ANALISIS : ARCILLA

le

et (HH.MM.SS) : 0.00.00 Span (HH.MM.SS) : 24.00.00 Jump (HH.MM.SS) : 24.00.00

Dat	XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 MgO	XRF1 K2O	XRF1 Na2O	XRF1 SO3	XRF1 LOI	XRF1 SUM	XRF1 SIM	XRF1 ALM	XRF1 LSF	Comnt
Nov	62.50	16.65	7.99	0.92	0.51	3.10	0.64	0.09	1.28	93.67	2.54	2.08	0.46	
Nov	63.18	16.59	7.30	0.97	0.49	3.10	0.62	0.08	1.30	93.63	2.64	2.27	0.48	
Nov	57.28	18.78	10.56	1.00	0.59	3.36	0.40	0.10	1.43	93.48	1.95	1.78	0.53	
Nov	55.80	18.51	11.47	1.09	0.77	3.16	0.38	0.11	1.70	92.99	1.86	1.61	0.59	
Nov	60.03	17.41	9.74	1.18	0.59	3.10	0.45	0.14	1.57	94.22	2.21	1.79	0.60	
Nov	58.98	17.60	10.24	0.78	0.59	3.08	0.39	0.10	1.25	93.00	2.12	1.72	0.40	
Nov	62.22	16.54	9.57	0.66	0.57	2.86	0.41	0.10	1.14	94.07	2.38	1.73	0.33	
Nov	66.03	15.19	8.06	0.71	0.54	2.81	0.33	0.08	1.14	94.89	2.84	1.88	0.34	
Nov	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Nov	55.80	15.19	7.30	0.66	0.49	2.81	0.33	0.08	1.14	92.99	1.86	1.61	0.33	
Nov	66.03	18.78	11.47	1.18	0.77	3.36	0.64	0.14	1.70	94.89	2.84	2.27	0.60	
Nov	60.75	17.16	9.36	0.91	0.58	3.07	0.45	0.10	1.35	93.74	2.32	1.86	0.47	
Nov	3.36	1.17	1.45	0.18	0.08	0.18	0.11	0.02	0.20	0.64	0.34	0.22	0.10	
Nov	5.54	6.80	15.46	20.21	14.58	5.70	25.25	21.07	14.72	0.68	14.80	11.72	22.40	

Sample Group : ARCILLA QCX

Group : ARENA QCX

(Registration Time) : 1 Nov 1998 7.00.00 - 10 Nov 1998 22.00.00 Free ANALISIS : ARENA

(HH.MM.SS) : 0.00.00 Span (HH.MM.SS) : 24.00.00 Jump (HH.MM.SS) : 24.00.00

	XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 MgO	XRF1 K2O	XRF1 Na2O	XRF1 SUM	XRF1 SIM	XRF1 ALM	XRF1 LSF	Ident	SmpNo
74.98	10.85	3.08	3.23	0.86	1.59	1.93	99.99	5.38	3.52	1.44	16:00	98443	
76.59	10.34	3.28	2.68	0.72	1.57	1.86	99.92	5.62	3.15	1.17	21:00	98674	
75.59	10.80	4.07	2.66	0.78	1.58	1.87	100.29	5.08	2.65	1.17	19:00	98761	
76.33	10.62	3.34	2.58	0.75	1.59	1.91	99.95	5.47	3.18	1.13	19:00	98831	
75.84	10.48	3.33	2.71	0.74	1.65	1.85	99.54	5.49	3.14	1.19	22:00	98903	
76.28	10.39	3.31	2.77	0.73	1.61	1.88	99.95	5.57	3.13	1.22	17:00	98957	
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
74.98	10.34	3.08	2.58	0.72	1.57	1.85	99.54	5.08	2.65	1.13			
76.59	10.85	4.07	3.23	0.86	1.65	1.93	100.29	5.62	3.52	1.44			
75.94	10.58	3.40	2.77	0.76	1.60	1.88	99.94	5.44	3.13	1.22			
0.59	0.22	0.34	0.23	0.05	0.03	0.03	0.24	0.19	0.28	0.11			
0.78	2.04	10.00	8.42	6.84	1.81	1.61	0.24	3.53	8.85	9.04			

e Group : ARENA QCX

itos Norte

20 Dec 1998

Ver V3.5

12.54.30

Pacasmayo, Peru

Page 1

Sample Group : FIERRO QCX

Registration Time) : 1 Nov 1998 7.00.00 - 10 Nov 1998 22.00.00 Free ANALISIS : HIERRO

Start (HH.MM.SS) : 0.00.00 Span (HH.MM.SS) : 24.00.00 Jump (HH.MM.SS) : 24.00.00

Time	RegDat	XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 MgO	XRF1 K2O	XRF1 SUM	XRF1 SIM	XRF1 ALM	Comnt
6:00	4 Nov	20.89	5.34	50.65	10.19	0.87	0.24	88.18	0.37	0.11	
7:00	5 Nov	16.02	4.53	58.23	8.34	0.78	0.20	88.09	0.26	0.08	
1:00	6 Nov	26.56	5.56	46.90	8.37	0.62	0.22	88.23	0.51	0.12	
9:00	7 Nov	23.73	5.18	50.98	6.31	0.66	0.20	87.04	0.42	0.10	
9:00	8 Nov	26.23	4.81	49.29	5.80	0.55	0.21	86.89	0.48	0.10	
2:00	9 Nov	29.17	3.89	52.49	4.60	0.58	0.13	90.87	0.52	0.07	
7:00	10 Nov	28.50	4.56	51.88	1.58	0.65	0.16	87.33	0.51	0.09	
		7	7	7	7	7	7	7	7	7	
		16.02	3.89	46.90	1.58	0.55	0.13	86.89	0.26	0.07	
		29.17	5.56	58.23	10.19	0.87	0.24	90.87	0.52	0.12	
		24.44	4.84	51.49	6.45	0.67	0.19	88.09	0.44	0.09	
		4.67	0.57	3.50	2.85	0.11	0.04	1.35	0.10	0.02	
		19.09	11.79	6.80	44.19	17.00	18.77	1.53	21.97	16.65	

Sample Group : FIERRO QCX

Group : MOLINO CEMENTO 5

(Registration Time) : 4 Aug 1998

7.00.00 - 5 Aug 1998

7.00.00

Daily

ANALISIS : CEMENTO

	XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 K2O	XRF1 Na2O	XRF1 SO3	XRF1 MgO	FCaO	XRF1 SUM	XRF1 C3Sc	XRF1 C3A	R170	S.Surf	Comnt
00	22.53	6.14	3.18	57.53	0.70	0.42	3.02	3.49	1.63	97.01	1.94	10.89	16.40	3810	MS
00	22.65	6.18	3.19	57.17	0.69	0.43	3.04	3.48	1.64	96.84	-0.83	10.98	17.60	3852	MS
00	21.53	5.90	3.08	57.81	0.70	0.39	2.73	3.31	1.67	95.46	13.16	10.41	19.80	3986	MS
00	22.13	6.09	3.14	57.75	0.67	0.41	2.61	3.38	2.07	96.18	5.69	10.82	23.00	3873	MS
00	21.56	6.01	3.08	58.07	0.68	0.41	2.72	3.30	2.07	95.83	11.58	10.70	20.60	211	MS
00	21.05	5.87	3.05	58.13	0.68	0.40	2.82	3.19	2.18	95.18	15.93	10.41	17.60	4490	MS
00	21.31	5.73	3.22	59.49	0.67	0.38	2.46	3.07	2.24	96.34	20.98	9.75	17.60	3681	MS
00	21.14	5.68	3.21	59.82	0.68	0.38	2.41	3.04	2.25	96.37	24.07	9.62	17.20	3592	MS
00	21.62	5.89	3.20	58.80	0.65	0.42	2.83	3.25	2.07	96.65	14.46	10.19	16.40	3408	MS
	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
	21.05	5.68	3.05	57.17	0.65	0.38	2.41	3.04	1.63	95.18	-0.83	9.62	16.40	211	
	22.65	6.18	3.22	59.82	0.70	0.43	3.04	3.49	2.25	97.01	24.07	10.98	23.00	4490	
	21.72	5.94	3.15	58.29	0.68	0.41	2.74	3.28	1.98	96.21	11.88	10.42	18.47	3434	
	0.58	0.17	0.06	0.90	0.02	0.02	0.22	0.16	0.26	0.62	8.33	0.49	2.22	1245	
	2.68	2.94	2.04	1.54	2.21	4.46	7.99	4.87	13.18	0.64	70.06	4.70	12.00	36	

Group : MOLINO CEMENTO 5

Group : MOLINO CEMENTO 4

Registration Time) : 9 Aug 1998

7.00.00 - 10 Aug 1998

7.00.00

Daily

ANALISIS : CEMENTO

XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 K2O	XRF1 Na2O	XRF1 SO3	XRF1 MgO	FCaO	XRF1 SUM	XRF1 C3Sc	XRF1 C3A	R170	S.Surf	Comnt
18.78	4.41	3.38	64.57	0.70	0.33	2.57	2.12	1.62	96.86	71.77	5.95	11.20	4401	T 1
18.80	4.40	3.40	64.46	0.70	0.34	2.73	2.07	1.63	96.89	70.74	5.90	14.80	4149	T 1
18.84	4.50	3.33	64.13	0.72	0.33	2.63	2.14	1.96	96.62	67.43	6.30	16.00	3909	TI
19.55	4.52	3.55	64.22	0.75	0.36	2.90	2.06	1.79	97.94	61.80	5.97	16.80	3811	TI
18.88	4.36	3.50	64.45	0.71	0.34	2.69	2.00	1.83	96.94	69.50	5.64	20.20	3711	TI
19.03	4.38	3.39	64.32	0.70	0.33	2.84	2.21	1.85	97.20	67.32	5.87	22.00	3696	TI
20.20	4.50	3.78	64.06	0.75	0.38	3.01	1.90	1.41	98.59	57.28	5.53	16.20	3696	TI
18.46	4.17	3.59	64.38	0.70	0.36	2.89	1.89	1.33	96.44	75.00	4.99	17.80	3763	TI
18.95	4.40	3.44	64.21	0.71	0.36	2.94	2.03	1.68	97.03	67.68	5.83	16.40	3797	TI
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
18.46	4.17	3.33	64.06	0.70	0.33	2.57	1.89	1.33	96.44	57.28	4.99	11.20	3696	
20.20	4.52	3.78	64.57	0.75	0.38	3.01	2.21	1.96	98.59	75.00	6.30	22.00	4401	
19.05	4.40	3.49	64.31	0.72	0.35	2.80	2.05	1.68	97.17	67.61	5.78	16.82	3881	
0.52	0.11	0.14	0.17	0.02	0.02	0.15	0.11	0.21	0.68	5.32	0.37	3.08	241	
2.73	2.39	4.00	0.26	3.00	5.40	5.42	5.18	12.41	0.70	7.86	6.35	18.34	6	

Group : MOLINO CEMENTO 4

tos Norte

20 Dec 1998

Ver V3.5

12.40.41

Pacasmayo, Peru

Page 1

Group : MOLINO CEMENTO 5

(Registration Time) : 12 Aug 1998

7.00.00 - 13 Aug 1998

7.00.00

Daily

ANALISIS : CEMENTO

	XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 K2O	XRF1 Na2O	XRF1 SO3	XRF1 MgO	FCaO	XRF1 SUM	XRF1 C3Sc	XRF1 C3A	R170	S.Surf	Comnt
00	20.67	4.63	5.36	63.74	0.68	0.39	1.97	2.09	1.01	99.53	53.85	3.21	14.00	3407	TV
00	20.82	4.64	5.34	63.84	0.68	0.38	1.96	2.10	1.06	99.76	52.94	3.24	14.60	3373	TV
00	20.77	4.68	5.38	64.10	0.67	0.38	1.82	2.13	1.31	99.94	53.49	3.29	14.00	3339	TV
00	20.82	4.75	5.43	63.73	0.66	0.39	1.77	2.14	1.15	99.69	51.77	3.42	13.60	3125	TV
00	20.82	4.68	5.33	64.03	0.69	0.39	1.76	2.11	1.19	99.82	53.52	3.39	14.40	3180	TV
00	20.71	4.71	5.39	63.81	0.67	0.43	1.78	2.13	1.16	99.64	53.20	3.37	15.20	3051	TV
00	20.79	4.68	5.37	64.11	0.68	0.39	1.69	2.15	1.24	99.85	54.00	3.32	13.60	3144	TV
00	20.92	4.80	5.47	63.61	0.64	0.40	1.72	2.16	1.14	99.72	50.35	3.47	17.20	3144	T 5
00	20.77	4.71	5.46	63.80	0.66	0.41	1.90	2.13	1.33	99.84	51.62	3.24	15.40	3088	T 5
00	20.81	4.72	5.51	63.75	0.66	0.39	1.82	2.14	1.17	99.79	51.88	3.18	15.80	3125	T 5
00	20.68	4.68	5.47	63.74	0.67	0.41	1.86	2.10	1.28	99.61	52.54	3.14	15.60	2965	T 5
00	20.52	4.61	5.46	63.78	0.64	0.40	1.90	2.09	1.25	99.39	54.39	2.98	15.80	3070	T 5
00	20.71	4.65	5.51	64.03	0.68	0.39	1.74	2.12	1.25	99.83	54.07	3.00	15.40	2994	T 5
	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	20.52	4.61	5.33	63.61	0.64	0.38	1.69	2.09	1.01	99.39	50.35	2.98	13.60	2965	
	20.92	4.80	5.51	64.11	0.69	0.43	1.97	2.16	1.33	99.94	54.39	3.47	17.20	3407	
	20.75	4.69	5.42	63.85	0.67	0.40	1.82	2.12	1.20	99.72	52.89	3.25	14.97	3154	
	0.10	0.05	0.06	0.16	0.02	0.01	0.09	0.02	0.09	0.15	1.19	0.15	1.05	139	
	0.48	1.12	1.16	0.25	2.31	3.50	4.90	1.13	7.89	0.15	2.26	4.61	7.02	4	

ole Group : MOLINO CEMENTO 5

entos Norte

20 Dec 1998

Ver V3.5

12.41.14

Pacasmayo, Peru

Page 1

Sample Group : MOLINO CEMENTO 3

Registration Time : 6 Dec 1998 7.00.00 - 7 Dec 1998 7.00.00 Daily ANALISIS : CEMENTO

Time	XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 K2O	XRF1 Na2O	XRF1 SO3	XRF1 MgO	FCaO	XRF1 SUM	XRF1 C3Sc	XRF1 C3A	R170	S.Surf	Comnt
3:00	23.73	6.74	3.04	56.52	0.66	0.44	2.66	2.74	0.85	96.52	-10.85	12.72	13.60	3490	MS
1:00	23.75	6.72	3.02	56.57	0.70	0.44	2.66	2.68	0.92	96.54	-11.01	12.70	13.20	3513	MS
2:00	23.85	6.79	3.20	57.12	0.70	0.43	1.99	2.69	1.41	96.76	-10.26	12.57	13.40	3670	MS
5:00	23.80	6.82	3.26	56.20	0.69	0.44	2.56	2.66	1.44	96.43	-15.72	12.55	12.80	3604	MS
3:00	23.83	6.78	3.23	56.08	0.72	0.45	2.74	2.63	0.99	96.46	-14.80	12.50	13.60	3778	MS
1:00	23.91	6.72	3.29	55.90	0.70	0.45	2.63	2.64	0.88	96.23	-15.05	12.24	13.20	3524	MS
2:00	24.01	6.79	3.31	55.72	0.73	0.46	2.63	2.64	1.12	96.30	-18.12	12.41	12.80	3581	MS
4:00	24.18	6.90	3.28	55.62	0.70	0.45	2.64	2.69	1.06	96.46	-20.24	12.73	13.20	3490	MS
2:00	24.19	6.89	3.29	55.53	0.70	0.45	2.60	2.69	1.04	96.33	-20.43	12.70	12.80	3513	MS
4:00	24.04	6.84	3.16	55.70	0.72	0.45	2.73	2.65	0.80	96.28	-17.42	12.77	12.40	3536	MS
5:00	24.23	6.89	3.22	55.64	0.71	0.45	2.65	2.67	0.83	96.47	-19.47	12.81	12.00	3581	MS
	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
	23.73	6.72	3.02	55.53	0.66	0.43	1.99	2.63	0.80	96.23	-20.43	12.24	12.00	3490	
	24.23	6.90	3.31	57.12	0.73	0.46	2.74	2.74	1.44	96.76	-10.26	12.81	13.60	3778	
	23.96	6.81	3.21	56.06	0.70	0.45	2.59	2.67	1.03	96.44	-15.76	12.61	13.00	3571	
v	0.19	0.07	0.10	0.50	0.02	0.01	0.21	0.03	0.22	0.15	3.77	0.17	0.50	88	
	0.77	0.99	3.12	0.90	2.34	1.66	7.93	1.13	21.43	0.15	23.94	1.38	3.83	2	

Sample Group : MOLINO CEMENTO 3

HORNO 2 CLINKER

id (Registration Time) : 27 Aug 1998 7.00.00 - 28 Aug 1998 7.00.00 Daily ANALISIS : CLINKER

Time	XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 MgO	XRF1 K2O	XRF1 Na2O	XRF1 SO3	FCaO	XRF1 LIQ	XRF1 LSF	XRF1 SIM	XRF1 ALM	XRF1 C3S	XRF1 C3A
3:00	21.46	5.13	4.01	66.26	2.01	0.59	0.32	0.47	0.40	27.80	96.39	2.35	1.28	64.86	6.80
3:00	21.77	5.15	4.10	66.82	1.95	0.40	0.29	0.17	0.16	27.48	95.86	2.36	1.26	65.42	6.72
2:00	21.52	5.14	4.14	65.94	1.92	0.65	0.33	0.51	0.27	28.14	95.53	2.32	1.24	63.31	6.63
4:00	21.20	5.04	4.09	64.98	1.91	0.92	0.38	1.28	0.44	28.83	95.60	2.32	1.23	61.89	6.44
5:00	21.14	4.85	3.88	64.91	1.81	0.91	0.41	1.30	1.90	27.72	96.24	2.42	1.25	57.71	6.29
5:00	21.45	5.00	4.14	65.77	1.87	0.74	0.36	0.79	0.95	28.08	95.82	2.35	1.21	61.41	6.25
0:00	21.30	4.94	4.01	65.53	1.88	0.85	0.38	0.99	1.23	27.95	96.25	2.38	1.23	60.94	6.31
2:00	21.27	5.04	4.05	65.75	1.91	0.71	0.35	0.71	0.73	27.93	96.50	2.34	1.24	63.36	6.50
0:00	21.69	5.25	4.23	66.81	1.91	0.34	0.29	0.09	0.13	27.88	95.89	2.29	1.24	65.33	6.76
2:00	21.57	5.20	4.47	65.63	1.89	0.69	0.34	0.37	0.20	28.93	94.52	2.23	1.16	61.13	6.21
4:00	21.07	4.93	4.32	64.96	1.80	1.01	0.39	1.07	0.38	28.80	96.04	2.28	1.14	63.40	5.75
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
21.07	4.85	3.88	64.91	1.80	0.34	0.29	0.09	0.13	27.48	94.52	2.23	1.14	57.71	5.75	
21.77	5.25	4.47	66.82	2.01	1.01	0.41	1.30	1.90	28.93	96.50	2.42	1.28	65.42	6.80	
21.40	5.06	4.13	65.76	1.90	0.71	0.35	0.70	0.62	28.14	95.88	2.33	1.23	62.61	6.42	
0.23	0.12	0.16	0.67	0.06	0.21	0.04	0.42	0.55	0.49	0.55	0.05	0.04	2.30	0.31	
1.06	2.43	3.90	1.03	3.09	29.88	11.02	59.86	88.92	1.75	0.57	2.20	3.34	3.67	4.78	

Sample Group : HORNO 2 CLINKER

Sample Group : B.FULLERH3-CRUD002

Start (Registration Time) : 20 Nov 1998

7.00.00 - 21 Nov 1998

7.00.00

Daily

ANALISIS : CRUDO

File

Time	XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 MgO	XRF1 K2O	XRF1 SO3	XRF1 Na2O	XRF1 LSF	XRF1 SIM	XRF1 ALM	XRF1 C3S	XRF1 C3A	Comnt	RegTim
8:00	13.84	3.34	2.28	42.23	1.33	0.49	0.17	0.19	95.61	2.46	1.46	62.83	7.62	SH-2	7.50
9:00	13.33	3.22	2.15	42.60	1.33	0.47	0.21	0.17	100.19	2.48	1.50	72.85	7.53	SH-2	8.50
10:00	13.04	3.18	2.10	42.88	1.29	0.46	0.22	0.18	103.03	2.47	1.51	78.79	7.50	SH-2	9.54
11:00	13.11	3.18	2.15	42.80	1.32	0.45	0.23	0.18	102.26	2.46	1.48	77.27	7.41	SH-2	10.51
12:00	13.34	3.27	2.23	42.60	1.31	0.47	0.21	0.18	99.85	2.43	1.46	72.03	7.49	SH-2	11.53
13:00	13.36	3.29	2.28	42.57	1.29	0.48	0.21	0.18	99.48	2.40	1.44	71.16	7.47	SH-2	12.55
14:00	13.38	3.25	2.30	42.61	1.31	0.46	0.20	0.19	99.61	2.41	1.41	71.79	7.24	SH-2	13.50
15:00	13.34	3.25	2.30	42.54	1.32	0.47	0.20	0.17	99.64	2.40	1.41	71.61	7.26	SH-2	14.48
16:00	13.15	3.20	2.14	42.81	1.28	0.46	0.20	0.19	102.00	2.46	1.49	76.72	7.48	SH-2	15.47
17:00	12.99	3.04	2.14	42.97	1.31	0.44	0.20	0.18	103.90	2.51	1.42	81.33	6.84	SH-2	16.51
18:00	13.34	3.07	2.21	42.74	1.30	0.46	0.21	0.18	100.74	2.53	1.39	75.05	6.78	SH-2	17.46
19:00	13.78	3.28	2.26	42.36	1.27	0.49	0.20	0.16	96.48	2.49	1.45	65.08	7.45	SH-2	18.41
20:00	13.89	3.35	2.36	42.13	1.25	0.51	0.21	0.17	94.96	2.43	1.42	61.18	7.49	SH-2	19.50
21:00	13.64	3.34	2.27	42.38	1.20	0.50	0.20	0.16	97.21	2.43	1.47	66.10	7.66	SH-2	20.46
22:00	13.60	3.28	2.32	42.40	1.26	0.50	0.20	0.16	97.55	2.43	1.42	67.16	7.32	SH-2	21.44
23:00	13.48	3.25	2.26	42.54	1.27	0.49	0.19	0.16	98.85	2.45	1.44	70.10	7.34	SH-2	22.37
00:00	13.48	3.22	2.27	42.52	1.33	0.49	0.20	0.17	98.86	2.46	1.42	70.32	7.19	SH-2	23.54
01:00	13.41	3.31	2.30	42.38	1.34	0.52	0.19	0.16	98.70	2.39	1.44	69.15	7.49	SH-2	1.03
02:00	13.41	3.27	2.27	42.47	1.29	0.51	0.19	0.16	99.00	2.42	1.44	70.10	7.40	SH-2	2.18
03:00	13.36	3.27	2.24	42.57	1.30	0.50	0.18	0.16	99.63	2.43	1.46	71.56	7.47	SH-2	3.03
04:00	13.44	3.25	2.23	42.54	1.32	0.50	0.18	0.16	99.13	2.46	1.46	70.69	7.42	SH-2	3.56
05:00	13.59	3.30	2.19	42.44	1.37	0.51	0.18	0.16	97.85	2.47	1.50	67.82	7.72	SH-2	4.57
06:00	13.70	3.30	2.26	42.37	1.33	0.50	0.20	0.16	96.90	2.47	1.46	65.84	7.55	SH-2	5.57
07:00	13.49	3.31	2.30	42.38	1.33	0.50	0.20	0.15	98.16	2.41	1.44	68.18	7.47	SH-2	6.41
08:00	12.99	3.04	2.10	42.13	1.20	0.44	0.17	0.15	94.96	2.39	1.39	61.18	6.78		
09:00	13.89	3.35	2.36	42.97	1.37	0.52	0.23	0.19	103.90	2.53	1.51	81.33	7.72		
10:00	13.44	3.25	2.24	42.53	1.30	0.48	0.20	0.17	99.15	2.45	1.45	70.61	7.40		
11:00	0.23	0.08	0.07	0.20	0.04	0.02	0.01	0.01	2.21	0.04	0.03	4.87	0.22		
12:00	1.73	2.34	2.94	0.47	2.76	4.65	6.49	6.67	2.23	1.44	2.21	6.90	2.97		

Current Control Parameters :

Gain Points	99.50	2.50	1.45
Weight Factors	10.00	5.00	0.50
Control Dev Deadband	4.00	1.00	0.50
Control Dev Penalty	4.00	1.00	0.50
Control Algorithm	1	1	

Sample Group : B.FULLERH3-CRUD002

Elementos Norte

20 Dec 1998

Ver V3.5

12.43.20

Pacasmayo, Peru

Page 1

Group : REBOSE-HOMO2

(Registration Time) : 20 Nov 1998 7.00.00 - 21 Nov 1998 7.00.00 Daily CRUDO

	XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 MgO	XRF1 K2O	XRF1 Na2O	XRF1 SO3	XRF1 LSF	XRF1 SiM	XRF1 ALM	XRF1 C3S	XRF1 C3A	XRF1 LOI	RegTim
:00	13.61	3.29	2.35	42.41	1.27	0.47	0.18	0.17	97.47	2.41	1.40	67.01	7.29	34.71	8.09
:00	13.86	3.28	2.42	42.28	1.27	0.47	0.19	0.21	95.51	2.43	1.35	63.09	7.03	34.62	12.06
:00	13.44	3.29	2.13	42.66	1.29	0.47	0.18	0.18	99.47	2.48	1.55	71.30	7.89	34.93	16.04
:00	13.47	3.30	2.16	42.56	1.29	0.46	0.18	0.18	98.96	2.47	1.53	70.10	7.81	34.86	21.06
:00	14.15	3.28	2.34	42.11	1.26	0.47	0.20	0.18	93.56	2.51	1.40	58.77	7.22	34.47	1.13
:00	13.63	3.23	2.26	42.48	1.27	0.48	0.18	0.19	97.76	2.48	1.43	68.05	7.27	34.77	4.05
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
	13.44	3.23	2.13	42.11	1.26	0.46	0.18	0.17	93.56	2.41	1.35	58.77	7.03	34.47	
	14.15	3.30	2.42	42.66	1.29	0.48	0.20	0.21	99.47	2.51	1.55	71.30	7.89	34.93	
	13.69	3.28	2.28	42.42	1.27	0.47	0.18	0.18	97.12	2.46	1.44	66.39	7.42	34.73	
	0.27	0.02	0.12	0.20	0.01	0.00	0.01	0.02	2.22	0.04	0.08	4.69	0.35	0.17	
	1.96	0.76	5.12	0.47	0.97	0.92	5.33	8.16	2.29	1.51	5.35	7.06	4.66	0.48	

Sample Group : REBOSE-HOMO2

Group : HORNO 2 CRUDO

(Registration Time) : 11 Oct 1998 7.00.00 - 12 Oct 1998 7.00.00 Daily CRUDO

XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 MgO	XRF1 K2O	XRF1 Na2O	XRF1 SO3	XRF1 LSF	XRF1 SIM	XRF1 ALM	XRF1 C3S	XRF1 C3A	XRF1 LOI	RegTim
13.33	3.31	2.34	42.28	1.42	0.67	0.16	0.44	98.90	2.36	1.41	69.34	7.38	34.78	8.07
13.30	3.31	2.36	42.23	1.40	0.69	0.17	0.44	98.94	2.35	1.41	69.25	7.34	34.72	12.05
13.23	3.30	2.38	42.28	1.41	0.68	0.17	0.44	99.50	2.33	1.39	70.47	7.26	34.77	16.06
13.43	3.33	2.36	42.26	1.47	0.65	0.16	0.40	98.13	2.36	1.41	67.86	7.41	34.82	18.09
13.33	3.32	2.35	42.27	1.42	0.67	0.16	0.44	98.86	2.35	1.42	69.22	7.40	34.78	20.08
13.35	3.35	2.20	42.26	1.42	0.65	0.16	0.41	98.85	2.41	1.52	68.92	7.88	34.76	2.06
13.41	3.37	2.26	42.29	1.43	0.68	0.15	0.46	98.34	2.38	1.49	68.01	7.83	34.80	5.05
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
13.23	3.30	2.20	42.23	1.40	0.65	0.15	0.40	98.13	2.33	1.39	67.86	7.26	34.72	
13.43	3.37	2.38	42.29	1.47	0.69	0.17	0.46	99.50	2.41	1.52	70.47	7.88	34.82	
13.34	3.33	2.32	42.27	1.42	0.67	0.16	0.43	98.79	2.36	1.43	69.01	7.50	34.77	
0.07	0.02	0.06	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.44	0.03	0.05	0.88	0.25	0.03	
0.50	0.71	2.80	0.05	1.55	2.14	4.83	5.04	0.45	1.07	3.45	1.28	3.32	0.09	

Group : HORNO 2 CRUDO

Group : BZA HORN03

(Registration Time) : 22 Nov 1998

7.00.00 - 23 Nov 1998

7.00.00

Daily

CRULO

	XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 MgO	XRF1 K2O	XRF1 Na2O	XRF1 SO3	XRF1 LSF	XRF1 SIM	XRF1 ALM	XRF1 C3S	XRF1 C3A	XRF1 LOI	RegTim
1:00	13.44	3.19	2.21	42.62	1.31	0.46	0.16	0.16	99.50	2.49	1.44	71.87	7.25	34.93	8.10
1:00	13.43	3.21	2.22	42.56	1.32	0.47	0.17	0.16	99.37	2.47	1.45	71.35	7.32	34.89	10.13
1:00	13.49	3.23	2.24	42.49	1.34	0.46	0.17	0.17	98.73	2.47	1.44	69.95	7.31	34.85	12.11
1:00	13.40	3.23	2.22	42.59	1.33	0.47	0.17	0.16	99.62	2.46	1.46	71.83	7.39	34.93	18.58
1:00	13.23	3.22	2.20	42.70	1.34	0.47	0.16	0.17	100.97	2.44	1.47	74.55	7.42	35.02	21.00
1:00	13.39	3.25	2.20	42.56	1.34	0.47	0.16	0.17	99.54	2.46	1.47	71.48	7.49	34.91	0.05
1:00	13.38	3.23	2.22	42.56	1.33	0.47	0.16	0.17	99.61	2.46	1.45	71.70	7.37	34.90	2.07
1:00	13.30	3.28	2.03	42.46	1.34	0.48	0.15	0.17	100.07	2.51	1.62	72.24	8.12	35.17	6.08
	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
	13.23	3.19	2.03	42.46	1.31	0.46	0.15	0.16	98.73	2.44	1.44	69.95	7.25	34.85	
	13.49	3.28	2.24	42.70	1.34	0.48	0.17	0.17	100.97	2.51	1.62	74.55	8.12	35.17	
	13.38	3.23	2.19	42.57	1.33	0.47	0.16	0.17	99.68	2.47	1.48	71.87	7.46	34.95	
	0.08	0.03	0.07	0.07	0.01	0.01	0.01	0.00	0.64	0.02	0.06	1.28	0.28	0.10	
	0.61	0.79	3.11	0.17	0.79	1.39	3.66	1.75	0.64	0.82	4.01	1.78	3.73	0.29	

Group : BZA HORN03

mentos Norte

20 Dec 1998

Ver V3.5

12.44.01

Pacasmayo, Peru

Page 1

Sample Group : B.FULLER CRUDO 1

Period (Registration Time) : 20 Oct 1998

7.00.00 - 21 Oct 1998

7.00.00

Daily

ANALISIS : CRUDO

Sample

Sample	XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 MgO	XRF1 K2O	XRF1 SO3	XRF1 Na2O	XRF1 LSF	XRF1 SIM	XRF1 ALM	XRF1 C3S	XRF1 C3A	Comnt	RegTim
09:30	14.21	3.55	2.70	41.62	1.57	0.54	0.28	0.10	91.01	2.27	1.31	51.43	7.39	S2	9.34
10:00	14.19	3.56	2.65	41.71	1.59	0.54	0.24	0.09	91.39	2.29	1.34	52.41	7.53	S2	10.05
10:30	13.97	3.55	2.64	41.86	1.56	0.54	0.21	0.08	92.97	2.26	1.35	55.93	7.58	S2	10.31
11:00	14.29	3.60	2.79	41.53	1.53	0.51	0.21	0.10	90.11	2.24	1.29	49.06	7.35	S2	11.09
11:30	13.98	3.53	2.47	41.92	1.53	0.53	0.20	0.09	93.32	2.33	1.43	56.82	7.91	S 2	11.32
12:00	14.08	3.50	2.36	41.95	1.52	0.54	0.21	0.10	92.99	2.40	1.48	56.30	8.09	S 2	12.10
13:00	14.20	3.54	2.21	41.93	1.52	0.54	0.19	0.09	92.39	2.47	1.60	54.76	8.62	S 2	12.56
14:00	13.72	3.45	1.98	42.43	1.52	0.53	0.17	0.09	96.99	2.53	1.74	65.45	8.91	S 2	13.56
15:00	14.28	3.52	2.01	42.06	1.49	0.53	0.16	0.11	92.60	2.58	1.75	55.50	9.07	S5	14.53
16:00	14.54	3.53	2.49	41.70	1.44	0.53	0.15	0.11	89.70	2.42	1.42	48.76	7.82	S5	16.07
17:00	15.63	3.74	2.60	40.82	1.49	0.55	0.23	0.15	81.85	2.46	1.44	27.97	8.31	S5	17.02
17:30	14.08	3.46	2.40	42.04	1.51	0.52	0.19	0.11	93.29	2.40	1.44	57.35	7.81	S5	17.36
19:00	12.24	3.10	2.25	43.38	1.53	0.45	0.21	0.05	110.14	2.29	1.38	92.73	6.86	S5	19.03
20:00	13.52	3.36	2.41	42.33	1.55	0.49	0.20	0.10	97.58	2.34	1.40	66.99	7.42	S5	20.07
21:00	14.15	3.46	2.49	41.89	1.52	0.51	0.21	0.10	92.44	2.38	1.39	55.34	7.58	S5	21.05
22:00	14.22	3.47	2.49	41.87	1.56	0.51	0.17	0.11	91.97	2.39	1.39	54.33	7.61	S3	22.00
23:00	14.41	3.56	2.50	41.65	1.55	0.52	0.16	0.12	90.16	2.38	1.42	49.53	7.95	S3	22.57
00:00	14.40	3.57	2.49	41.69	1.53	0.52	0.16	0.12	90.34	2.37	1.43	49.94	7.99	S3	0.08
01:00	14.35	3.56	2.55	41.67	1.53	0.53	0.21	0.12	90.50	2.35	1.40	50.28	7.81	S3	1.00
02:00	13.65	3.39	2.31	42.36	1.53	0.50	0.17	0.10	96.85	2.39	1.47	65.45	7.82	S2	2.17
03:00	13.62	3.42	2.35	42.26	1.52	0.55	0.21	0.09	96.74	2.36	1.45	64.87	7.79	S2	3.10
04:00	13.19	3.39	2.09	42.71	1.49	0.51	0.15	0.08	100.95	2.41	1.63	73.76	8.43	S2	4.10
05:00	12.97	3.36	2.04	42.85	1.52	0.50	0.15	0.08	102.97	2.40	1.64	77.88	8.42	S2	5.07
06:00	12.85	3.27	1.99	43.02	1.51	0.49	0.16	0.07	104.56	2.44	1.64	81.51	8.21	S2	6.02
07:00	13.98	3.48	2.22	42.11	1.51	0.52	0.15	0.11	94.24	2.45	1.57	59.25	8.38		6.56
Sumt	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25		
Min	12.24	3.10	1.98	40.82	1.44	0.45	0.15	0.05	81.85	2.24	1.29	27.97	6.86		
Max	15.63	3.74	2.79	43.38	1.59	0.55	0.28	0.15	110.14	2.58	1.75	92.73	9.07		
Avg	13.95	3.48	2.38	42.05	1.53	0.52	0.19	0.10	94.32	2.38	1.47	58.94	7.95		
Dev	0.66	0.12	0.23	0.54	0.03	0.02	0.03	0.02	5.73	0.08	0.13	12.92	0.51		
Dev	4.72	3.57	9.77	1.28	1.97	4.28	17.16	20.00	6.07	3.44	8.72	21.92	6.43		
ccm															

Sample Group : B.FULLER CRUDO 1

Cementos Norte

20 Dec 1998

Ver V3.5

12.44.59

Pacasmayo, Peru

Page 1

Group : REBOSE-HOMO1

(Registration Time) : 20 Oct 1998

7.00.00 - 21 Oct 1998

7.00.00

Daily

ANALISIS : CRUDO

	XRF1 SiO2	XRF1 Al2O3	XRF1 Fe2O3	XRF1 CaO	XRF1 MgO	XRF1 K2O	XRF1 SO3	XRF1 Na2O	XRF1 LSF	XRF1 SIM	XRF1 ALM	XRF1 C3S	XRF1 C3A	Comnt	RegTim
00	13.04	3.53	2.41	42.07	1.54	0.67	0.41	0.08	99.54	2.19	1.46	68.86	8.07	S2	11.11
00	13.07	3.53	2.41	42.06	1.54	0.71	0.40	0.09	99.34	2.20	1.46	68.49	8.08	S 2	12.56
00	13.27	3.50	2.40	42.03	1.55	0.69	0.36	0.09	98.08	2.25	1.46	66.30	8.00	S5	16.07
00	13.37	3.53	2.40	42.01	1.53	0.67	0.41	0.09	97.33	2.26	1.47	64.74	8.10	S5	19.03
00	13.47	3.48	2.41	42.04	1.56	0.65	0.34	0.09	96.87	2.28	1.44	64.22	7.89	S3	22.00
00	13.42	3.49	2.41	42.05	1.54	0.65	0.32	0.08	97.21	2.28	1.45	64.84	7.90	S3	0.09
00	13.41	3.50	2.41	42.03	1.54	0.64	0.32	0.09	97.16	2.27	1.45	64.62	7.94	S2	2.18
00	13.45	3.47	2.46	42.00	1.56	0.65	0.34	0.10	96.90	2.27	1.41	64.28	7.70	S2	4.12
	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
	13.04	3.47	2.40	42.00	1.53	0.64	0.32	0.08	96.87	2.19	1.41	64.22	7.70		
	13.47	3.53	2.46	42.07	1.56	0.71	0.41	0.10	99.54	2.28	1.47	68.86	8.10		
	13.31	3.50	2.42	42.03	1.54	0.66	0.36	0.09	97.81	2.25	1.45	65.79	7.96		
	0.17	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.04	0.01	1.08	0.03	0.02	1.89	0.13		
	1.27	0.69	0.74	0.05	0.78	3.44	10.88	8.92	1.10	1.54	1.27	2.88	1.66		

File Group : REBOSE-HOMO1

Antos Norte

20 Dec 1998

Ver V3.5

12.45.22

Pacasmayo, Peru

Page 1

APENDICE E

1. - ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL

EQUIPO DE RAYOS X-CEMENTOS

PACASMAYO SAA

2. - TEORIA DE LA

FLUORECENCIA DE RAYOS X

1. - ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO DE RAYOS X-CEMENTOS PACASMAYO SAA

- **Modelo:** 8680 TCA, para análisis simultáneo y secuencial usando combinación de canales fijos y goniómetro.

- **Rango de aplicaciones:**

- Determinación cuantitativa de la concentración de los elementos por conteo de pulsos.
- Determinaciones semicuantitativas/cualitativas por escaneo del espectro mediante un Goniómetro.
- Análisis de aleaciones metálicas simples y complejas y amplia variedad de no-metálicos como escorias, menas, sínteres, aleaciones ferrosas, minerales, muestras geológicas, vidrio y materia prima para el vidrio, cemento y materia prima del cemento, plásticos, químicos, etc.
- Puede efectuar análisis a muestras metálicas sólidas, en polvo, o fundidas
- Determinación de todos los elementos en la tabla periódica con las limitaciones siguientes: elementos con número atómico desde 1 (Hidrógeno) hasta 4 (Be), gases inertes (Ne, Ar, Kr, Xe, Rn) y elementos con tiempo de vida muy cortos como el Tc. etc.

- **Tiempo de medición**

- Análisis simultáneo: 20 - 30 seg. para cualquier número de elementos
- Análisis Secuencial dependiendo del tipo de muestra, número de elementos, y precisión deseada

- **Excitación**

- Tubo R-X con sistema de enfriamiento y generador de alto-voltaje.
- Tubo de Rayos X

Modelo : OEG - 76 Rh

Tipo : Potencial reverso con ventana al extremo del tubo

Ventana : 127 λ m de espesor en berilio

Objetivo : Rh

Enfriamiento : Circuito cerrado usando agua desmineralizada, el cual es a su vez enfriado por otro circuito de agua exterior enfriado por aire.

Voltaje máximo: 60 kV

Corriente máxima: 100 mA

Potencia máxima: 3 kW

- Generador

Tipo : alta frecuencia, estado sólido

Rango de voltaje: 0 - 60 kV

Rango de corriente: 0 - 100 mA

Potencia de salida: max. 3 kW

- Espectrómetro

Cámara de vacío con monocromadores y goniómetro con control del sistema de manipuleo de muestras, vacío y temperatura.

Capacidad

- 20 - 30 monocromadores
- o 15 - 23 monocromadores + 1 goniómetro
- o 9 - 14 monocromadores + 2 goniómetros

- Monocromadores Fijos

- Tipo: cristales curvos (tipo Johansson) con aberturas primarias y secundarias y detector
- Ancho de aberturas: primarias y secundarias entre 0.25 y 2.3 mm.
- Cristales : LiF, NaCl, PET, SiO₂, EDDT, GE, ADP, TLAP, AX16, AX20, radio de curvatura 4", 6" o 11"
- Detectores : Multitron; con cámara rellena de gas Xe, Kr, Ar, o Ne; para elementos debajo del Cr. Exatron; detectores proporcionales para elementos debajo del Mg, con cámara de Xe, Kr, Ar, o Ne y ventana de Al

o Be. Para los elementos más livianos; posee una versión de flujo de gas (Ar 90% + CH₄ 10%) con ventana extra fina.

- Goniómetro

Tipo: Colimador primario + sección de cristal + colimador secundario y detector; con separación mecánica entre cristal y detector y control electrónico de la relación $\eta/2\eta$, según las técnicas de *Moire Fringe* con control de sistema sensor de la posición electro-óptico.

Rango de medición de ángulos: $2\eta = 0^\circ - 155^\circ$

Resolución de la posición: 0.01°

Reproductibilidad de la posición: 0.001°

Exactitud de la posición: 0.01°

Slewing rate: mas de $4000^\circ/\text{min}$

Colimadores primarios: finos (0.15°), gruesos (0.60°), ultra-grueso (2°)

Cristales : LiF (200H, 200M, 220H, 220M o 420), PET, Geill, InSb, ADP, TLAP, AX06, AX11, AX20.

Detectores : de flujo proporcional (Ar + 10% CH₄) a presión estable, detector de escintilación

- Sistema de manipuleo de muestras

Cargador de muestras; completa separación de carga y posiciones de análisis tal que permite una fácil conexión a un sistema robotizado de preparación y manipuleo de muestras. Con sistema tornamesa para 11 muestras precargadas para análisis. Sistema codificado de portamuestras para su perfecta identificación al momento del análisis.

- Filtro primario del haz de Rayos X

Sistema automático de inserción de filtros (para remover los picos indeseables del espectro del tubo) o aberturas (para detener el haz cuando se miden muestras muy pequeñas) en el campo del haz primario; con 1 a 4 posiciones, utiliza el espacio de tres monocromadores en el espectrómetro.

- Sistema de Vacío

Dos bombas rotativas de vacío de dos etapas cada una. Una para acondicionar el vacío de la cámara principal y la otra para la cámara primaria

- Sistema de Control de Temperatura

Aislamientos térmicos y termostatos, uso de elementos de calentamiento y sistema de agua de enfriamiento para mantener la temperatura del espectrómetro constante a $27^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ si la temperatura del ambiente varía entre 18°C a 30°C

- Consola Electrónica

El módulo de control electrónico contiene todos los circuitos de medición, fuentes de energía para los diversos instrumentos del equipo, Sistema de Control de Instrumentos (ICS), teclado del operador, pantalla de información y Sistema Computarizado de Análisis (ACS) con periféricos

- Formas de medición

- Cuantitativa, (multi) secuencial
- Cuantitativa, simultánea
- Semi-cuantitativa/cualitativa escaneo por pasos

- Parámetros analíticos seleccionables

Para las mediciones (FRX) cuantitativas, (multi) secuenciales por cada elemento tenemos:

- Colimador primario
- Cristal
- Detector con colimador secundario

- Detector de alto voltaje
- Discriminador de altura de pulsos umbral y ventana
- Filtro primario/ apertura/ ingreso-salida
- Voltaje para el tubo Rayos X.
- Corriente tubo Rayos X.
- Tiempo de conteo.

Para mediciones (DRX) semi-cuantitativas/cualitativas y de escaneo por pasos tenemos:

- Los mismos parámetros que para FRX
- Angulo de arranque 2η
- Angulo de finalización 2η
- Velocidad del scan (disponible, una de las siguientes : 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 °/min).
- Registro de la velocidad del goniómetro.
- Amplitud del paso angular (min. 0.002°)
- Conteo de tiempo por paso (entre 0.1 y 100 seg).
- Detector de abastecimiento de alto voltaje: 2350 V, max. 10 mA, estabilizado con atenuadores de alto voltaje para cada canal.

- Escaladores

Tarjetas multiescaladoras con 2 o 4 escaladores + módulos discriminadores de altura de pulso.

- Terminales

- Unidades de visualización en pantallas
- Impresoras

- Teclado para operador

Teclado terminal y mouse con botones de control dual

- Pantalla de información

Pantalla del espectrómetro, con información de los análisis, y estado del goniómetro

- El Sistema de Control de Instrumentos (ICS)

Consiste de un arreglo jerárquico de microprocesadores y controladores que mantienen las siguientes funciones:

- **Tarjeta madre del Cuantómetro de Rayos X (XQB) :**

Establece el diálogo con el ACS (Analytical Computer System), XQC, XGC, programa ejecutor de análisis, sistema sincronizador de funciones, sistema de control de estado y el detector de los perfiles de alto voltaje

- **Tarjeta Controlador del Cuantómetro (XQC)**

Para el control de funciones auxiliares tales como el manipuleo de muestras, sistema de vacío, control de temperaturas, energía para el tubo de rayos X, enfriamiento del tubo de rayos X, y el regulador de presión del gas para el detector.

- **Tarjeta controlador del Goniómetro (XGC)**

Para el control del goniómetro y los parámetros analíticos de operación

- **Sistema Analítico Computarizado (ACS)**

Usando software especializado efectúa la carga de programas analíticos predeterminados en la tarjeta madre **XQB** y el procesamiento de la información que proporcionan los resultados obtenidos luego de la irradiación.

2 .- TEORÍA DE LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Los Rayos X

Desde el descubrimiento de los Rayos X en 1895 por Wilhem Roentgen, la temprana aplicación de los Rayos X fué el campo de la medicina, aunque en los pasados 30 años el uso de las técnicas basadas en Rayos X a jugado un papel importante y creciente en la caracterización de materiales y análisis.

Características

Los Rayos X son radiación electromagnética que se manifiesta en dos formas: radiación continua y radiación característica (líneas).

La radiación continua es producida cuando un haz de electrones de alta energía desacelera cuando se aproxima a la nube electrónica en los alrededores del núcleo.

La radiación característica (líneas) es producida por medio de la eyección de un electrón de un orbital interno por partículas de alta energía y la subsecuente transición de electrones de orbitales atómicos desde estados de alta a baja energía.

En 1912 Moseley mostró que esto es una simple relación entre la longitud de onda de emisión y el número atómico del elemento excitado

La espectrometría de emisión de Rayos X fue la primera técnica para análisis cualitativos y cuantitativos de elementos por la medida de la longitud de onda y de la intensidad de los Rayos X desde el elemento excitado.

La segunda técnica es la difracción de Rayos X lo cual significa la caracterización de los materiales donde la dispersión característica de Rayos X en la sustancia, esta relacionada con el arreglo molecular de los átomos.

En el presente informe lo que nos interesa es el primero de estos métodos, llamado **Espectrometría de Emisión de Rayos X**, en el cual un haz primario de Rayos X es usado para excitar la radiación secundaria característica de la muestra que se está analizando, esta técnica es la fluorescencia de Rayos X. Los fotones de Rayos X se caracterizan por una longitud de onda (λ) y una energía (E) los cuales están relacionados por la siguiente ecuación :

$$\lambda (\text{Å}) = 12.4 / E (\text{KeV})$$

Un espectrómetro de Rayos X utiliza uno de los dos: el poder de difracción de simple cristal para aisladas y estrechas bandas de longitud de onda o un detector proporcional a aisladas y estrechas bandas de energía desde un haz policromático de radiación característica excitada de la muestra

El primero de los métodos es llamado espectrometría dispersiva de longitud de onda y el segundo espectrometría dispersiva de energía. A causa de las conocidas relaciones entre longitud de onda de emisión y número atómico el aislamiento de líneas características individuales permite una única identificación del elemento, y la concentración del elemento puede ser estimada desde las líneas características.

A través de esta técnica se caracterizan los materiales en términos de composición elemental.

Propiedades de los Rayos X

Cuando un haz de Rayos X cae dentro de un absorbente un número diferente de procesos puede ocurrir.

Los dos procesos más importantes de ellos son la absorción fotoeléctrica y la dispersión, tal como se ilustra en la siguiente figura.

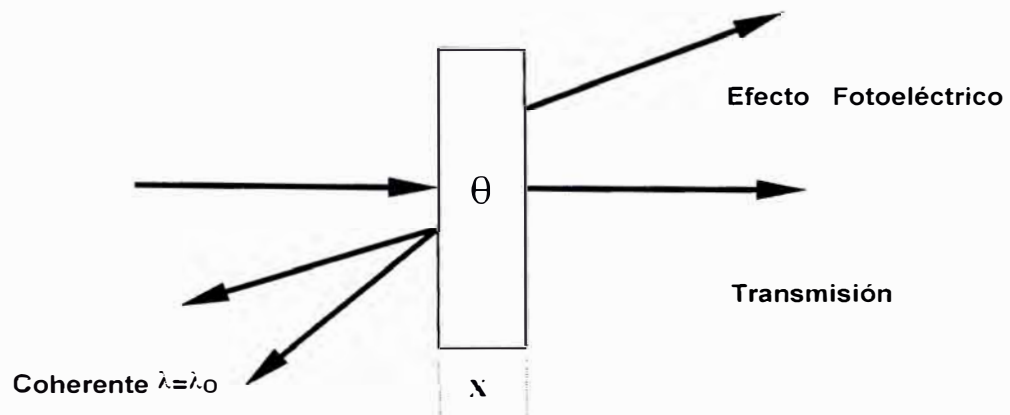


Fig. 1 - Propiedades de los Rayos X

En este ejemplo, un haz monocromático de radiación de longitud de onda λ_0 e intensidad I_0 esta incidiendo sobre un absorbente de ancho x y densidad θ

Una cierta fracción (I/I_0) de la radiación puede pasar a través del absorbedor, la longitud de onda del haz transmitido esta dada por $I(\lambda_0) = I_0 \exp(-\mu\rho x)$, donde μ es el coeficiente de absorción másico del absorbente para la longitud de onda λ_0

Los términos del coeficiente de absorción másico están formados por dos partes: absorción fotoeléctrica y dispersión de los cuales el primero es el más importante.

La absorción fotoeléctrica.- esta compuesta por la absorción en los diversos niveles atómicos, por ello, es una función dependiente del número atómico

La discontinuidad de absorción es el mayor origen de la no-linealidad entre la intensidad de Rayos X y la composición en la espectrometría de fluorescencia de Rayos X

La dispersión también puede ocurrir cuando un fotón de Rayos X colisiona con los electrones del elemento absorbente (fig. 1) aquí, esta colisión es elástica (no hay pérdida de energía en el proceso de colisión) el haz dispersado se dice que es coherente ($\lambda = \lambda_0$)

Sobre ciertas condiciones geométricas las dispersiones coherentes de longitud de onda son exactamente en fase o fuera de fase, puede cancelarse uno con el otro o sumarse para dar otro. La adición de ondas, así, se llama interferencia constructiva y esto puede dar origen a que surja la difracción máxima.

En la practica la espectrometría de Rayos X es concerniente con dos parámetros para medidas.

La energía del fotón de Rayos X (longitud de onda) y la intensidad de los Rayos X emitidos. La energía de longitud de onda se relaciona así:

$$E = hc / \lambda \quad \text{ó} \quad E = 1.24 / \lambda \text{ (nm)}$$

Donde h es la constante de Planck (6.6×10^{-27} erg.seg), c es la velocidad de la luz (3×10^{10} cm/seg) y λ es la longitud de onda.

En espectrometría, la intensidad I de un haz de Rayos X es proporcional al número de fotones de Rayos X que entran al detector por unidad de tiempo, esto es, el número de fotones contados por cada unidad de tiempo.

Emisión de los Rayos X

Los Rayos X para usos analíticos se obtienen de 3 maneras:

Por bombardeo de un blanco metálico con un haz de electrones de alta energía.

Por exposición de una sustancia con un haz primario de Rayos X con el objetivo de generar un haz secundario de fluorescencia de Rayos X.

Utilizando una fuente radioactiva cuyo proceso de desintegración da lugar a una emisión de Rayos X.

Fluorescencia de Rayos X

La absorción de Rayos X produce iones excitados electrónicamente, que pueden volver a su estado fundamental mediante transiciones que implican a los electrones de los niveles de energía más altos. Así cuando el plomo absorbe radiación de longitudes de onda mas corta que 0.14 \AA , se produce un ion excitado con una capa vacante K. Después de un breve periodo, el ion vuelve a su estado fundamental a través de una serie de transiciones electrónicas caracterizadas por la emisión de radiación X (fluorescencia) de longitudes de onda idénticas a las que resultan de la excitación producida por el bombardeo de electrones. Sin embargo, las longitudes de onda de las líneas fluorescentes son siempre algo mayores que la longitud de onda correspondiente a una discontinuidad de absorción, ya que la absorción requiere de la expulsión completa del electrón (esto es, ionización), mientras que la emisión implica transiciones de un electrón desde el nivel de energía superior dentro del átomo. Por ejemplo, la discontinuidad de absorción **K** para la plata, tiene lugar a 0.485 \AA , mientras que las líneas de emisión para el elemento tienen longitudes de onda de $0,497$ y $0,559 \text{ \AA}$. En resumen, el espectro de rayos X característico de un elemento también puede obtenerse al irradiar la muestra con un haz de rayos X, siempre y cuando la radiación X primaria posea la energía suficiente para excitar a los átomos de la muestra. La energía de excitación requerida para sacar un electrón presente en un orbital interno, es superior a la energía contenida en cualquiera de las líneas de emisión del espectro; las líneas de emisión aparecen cuando el electrón cae desde niveles energéticos superiores hasta el nivel interno vacante dentro del átomo.

El carácter de los enlaces en las moléculas y en los sólidos afecta a los espectros de rayos X de los elementos ligeros cuyas líneas de emisión se originan desde el nivel de electrones de valencia, y aún las líneas y los bordes de absorción desde la siguiente capa electrónica mas interna.

En general, con respecto a las líneas del elemento libre, las líneas de un átomo en un compuesto se desplazan hacia longitudes de onda más cortas si el átomo posee una carga positiva y hacia mayores longitudes de onda si su carga es negativa dentro del compuesto. Si se utiliza un espectrómetro de alta resolución se observarán estructuras finas similares en los bordes de absorción.

Instrumentos

La fluorescencia de rayos X (XRF) es uno de los métodos más ampliamente utilizados de entre todos los métodos analíticos para la identificación cualitativa de elementos que tiene números atómicos mayores que el Oxígeno (>8); además, también se utiliza para análisis elemental semicuantitativo o cuantitativo.

Diversas combinaciones de los componentes de los instrumentos conducen a varios modelos de instrumentos fluorescentes de rayos X. Los tres tipos básicos son los dispersivos de longitud de onda, los dispersivos de energías y los no dispersivos; los dos últimos se pueden además subdividir dependiendo de si utilizan un tubo de rayos X o una sustancia radiactiva como fuente de radiación

Elementos dispersivos de longitudes de onda

Los instrumentos dispersivos de longitudes de onda siempre utilizan tubos como fuente debido a las grandes pérdidas de energía sufridas cuando el haz de rayos X es colimado y dispersado dando sus longitudes de onda componentes. Las fuentes radiactivas producen fotones de rayos X en una proporción inferior a 10^{-4} de la de un tubo de rayos X; la atenuación añadida por un monocromador da lugar a un haz que es difícil o imposible de detectar y medir con precisión.

Los instrumentos dispersivos de longitudes de onda son de dos tipos, de un solo canal, o secuencial y multicanal, o simultáneo. Los instrumentos de un solo canal pueden ser manuales o automáticos. Los primeros son totalmente satisfactorios para la determinación cuantitativa de unos pocos elementos.

Para esta aplicación, el cristal y el detector se colocan en ángulos adecuados (θ y 2θ) y el recuento se lleva a cabo hasta que se ha acumulado suficientes cuentas

para dar resultados precisos. Los instrumentos automáticos son mucho más convenientes para análisis cualitativo, donde se debe hacer un espectro completo.

Aquí, el mecanismo eléctrico de movimiento de cristal y del detector están sincronizados y la salida del detector está conectada a un sistema de adquisición de datos.

Los instrumentos dispersivos multicanal son instalaciones grandes y caras que permiten la detección y determinación simultánea de hasta 24 elementos. En este caso, los canales individuales que constan de un cristal adecuado y de un detector están ordenados radialmente alrededor de una fuente de rayos X y del soporte de la muestra.

Normalmente los cristales para todos o la mayoría de los canales están fijos a un ángulo apropiado para una línea dada de análisis; en algunos instrumentos, se pueden mover uno o más cristales para permitir un barrido espectral.

Cada detector en un instrumento multicanal está provisto de su propio amplificador, selector de altura de impulso, escalímetro y contador o integrador. Estos instrumentos están normalmente equipados con un ordenador para el control del instrumento, el procesamiento de los datos y la generación de resultados analíticos.

La determinación de 20 o más elementos se puede llevar a cabo en unos pocos segundos o unos pocos minutos.

Los instrumentos multicanal son ampliamente utilizados en la determinación de diversos componentes de materiales industriales tales como, aceros, otras aleaciones, cementos, minerales y productos de petróleo. Tanto los instrumentos de un solo canal como el multicanal están equipados para manipular muestras en forma de metales, sólidos en polvo, películas evaporadas, líquidos puros o soluciones. Cuando es necesario, los materiales se colocan en una cubeta con una ventana de Mylar o de celofán.