

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“CAPTACIÓN DE PARTÍCULAS CONTAMINANTES DE UNA PLANTA
DE CEMENTO MEDIANTE LA INSTALACIÓN DE UNA TORRE
DE ACONDICIONAMIENTO DE GASES”**

INFORME DE INGENIERÍA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE :

INGENIERO MECÁNICO

WALDO ALFONSO MARISCAL ESPINOZA

PROMOCIÓN 1994 -II

LIMA – PERÚ

2000

Para la persona que siempre
confió en mi capacidad y
perseverancia y me dio todo
el apoyo para lograr se Ingeniero:

Mi Padre: **Domingo Nicolas.**

A mí madre: **Clotilde,**
mis hermanos: **Giovanna**
y **Wilder,**
por su interminable
comprensión, amor y cariño.

A mi esposa: **Sandra**
mi hija: **Zarela Alexandra,**
y mi próximo **Bebe** por nacer
Por mi eterno amor a ellos.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación, ha sido completamente desarrollado en la fabrica Cemento Andino S.A. y está aplicado al proceso de despolvadura del horno n° 3, tiene los siguientes objetivos: Dar a conocer los fundamentos teóricos de los equipos de filtración, desarrollar el método de diseño del sistema de acondicionamiento de gases, mediante la inyección de agua pulverizada y desarrollar los principios de operación, mantenimiento y las medidas de seguridad para su optimo funcionamiento.

Mí reconocimiento y eterno agradecimiento a la Empresa Cemento Andino por haberme brindado información bibliográfica, a todos mis jefes por sus constantes orientaciones y a todos mis colegas Ingenieros que me brindaron su valioso y desinteresado apoyo, para la realización de este informe profesional.

INDICE

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Justificación.....	8
1.3. Objetivos.....	9
1.3.1. Objetivo general.....	9
1.3.2. Objetivos específicos.....	10

CAPITULO II

EL CEMENTO: DESCRIPCION Y PROCESO DE FABRICACION

2.1. Descripción de materiales manipulados en la fábrica..	11
2.1.1. Materias primas.....	12
2.1.2. El clinker.....	14
2.1.3. El cemento.....	16
2.1.3.1. Tipos de cemento.....	17
2.2. Proceso de fabricación del cemento.....	18
2.2.1. Molienda de materias primas.....	18
2.2.2. Pulverizado y secado de materias primas.....	20
2.2.3. Homogenización.....	22

2.2.4. Calcinación.....	24
2.2.5. Clinkerización.....	27
2.2.6. Enfriamiento del clinker.....	30
2.2.7. Molienda de clinker.....	32
2.2.8. Embolsado del cemento.....	33
2.3. Descripción del filtro electrostático.....	34
2.3.1. Antecedentes.....	34
2.3.2. Componentes.....	35
2.4. Características de los electrolitos del horno nº 3...	37
2.4.1. Parámetros de diseño de los electrolitos nº 1 y 2	37
2.4.2. Parámetros de diseño del electrolito nº 3.....	39
2.5. Parámetros de trabajo en conjunto de los electrolitos	41
2.6. Informe de inspección de los electrolitos	42
2.6.1. Informe de inspección del filtro nº 1	42
2.6.2. Informe de inspección del filtro nº 2	42
2.6.3. Informe de inspección del filtro nº 3	43
2.7. Resumen de requerimientos de electrolitos.....	44
2.8. La conservación del medio ambiente.....	45
2.8.1. Normas reguladoras.....	46
2.8.2. El Programa de Adecuación y Manejo Ambiental.....	47

CAPITULO III

TECNOLOGIA DE LA DESEMPOLVADURA

3.1. Descripción del proceso de desempolvadura.....	50
---	----

3.2. Principal agente contaminante: El polvo.....	51
3.2.1. Clasificación.....	52
3.2.1.1. Clasificación por tamaño.....	52
3.2.1.2. Clasificación por su forma.....	52
3.2.1.3. Clasificación por su composición.....	53
3.2.1.4. Clasificación por sus efectos.....	53
3.3. Propiedades físicas de las partículas de polvo.....	53
3.3.1. Tamaño de las partículas.....	54
3.3.2. Relación entre la forma y el aspecto.....	55
3.3.3. Superficie y volumen.....	55
3.3.4. Solubilidad.....	56
3.4. Captación de partículas por el aparato respiratorio....	56
3.4.1. Penetración.....	56
3.4.2. Depósito.....	57
3.4.2.1. Sedimentación.....	58
3.4.2.2. Impactación por inercia.....	58
3.4.2.3. Interceptación.....	58
3.5. Efectos en la salud por exposición al polvo.....	58
3.6. Tipos de despolvadores.....	60
3.6.1. Ciclones.....	61
3.6.2. Filtros de mangas de tejido de vidrio.....	63
3.7. Principio teórico de operación.....	64
3.7.1. Idealización del proceso de captación de polvo..	67
3.7.2. Alambre positivo y cilindro negativo.....	69
3.7.3. Alambre negativo y cilindro positivo.....	71
3.7.4. Determinación de la eficiencia.....	75

3.7.4.1. La resistividad del polvo.....	77
3.7.4.2. Corona invertida.....	79
3.7.4.3. Baja resistividad.....	79
3.8. Conclusiones.....	81

CAPITULO IV

METODOLOGIA Y DISEÑO

4.1. Evaluación de los requerimientos.....	84
4.1.1. Condición de operación "Mill On"	85
4.1.2. Condición de operación "Mill Off"	85
4.2. Parámetros de cálculo.....	85
4.2.1. Condiciones ambientales.....	85
4.2.2. Condiciones de operación.....	87
4.2.2.1. Condiciones de los gases-polvo.....	88
4.2.2.2. Composición promedio de los gases.....	88
4.3. Hipótesis.....	89
4.3.1. Hipótesis principal.....	89
4.3.2. Hipótesis secundaria.....	90
4.4 Selección del dispositivo adecuado.....	90
4.5. Procedimiento de diseño.....	91
4.5.1. Consideraciones generales.....	91
4.5.2. Descripción del sistema.....	94
4.5.3. Consideraciones generales.....	94
4.5.3.1. La Temperatura y humedad del gas.....	96

4.5.3.2. La geometría y tamaño de la distribución de gotas.....	96
4.5.3.3. Velocidad relativa entre gotas y gas....	97
4.5.4. Cálculo de altura de torre.....	98
4.6. Ubicación de la TAG.....	99
4.6.1. Primera alternativa.....	99
4.6.2. Segunda alternativa.....	101
4.6.3. Tercera alternativa.....	102
4.7. Mediciones del sistema de operación.....	103
4.8. Cálculo entalpia.....	105
4.9. Balance térmico del sistema.....	109
4.9.1. Volumen de control.....	109
4.9.2. Cálculo del caudal de agua requerida.....	111
4.10. Mediciones en operación continua del sistema.....	114
4.11. Conclusiones.....	115

CAPITULO V

INSTALACION Y OPERACION DEL SISTEMA

5.1. Descripción de la instalación.....	117
5.1.1. Fabricaciones.....	117
5.1.1.1. Torre de enfriamiento.....	118
5.1.1.2. Ducto del ventilador N+0.00 del WT2 a la torre de enfriamiento N+56.00.....	118
5.1.1.3. Codo autolimpiante.....	119

5.1.1.4. Ducto de salida de la torre a la olla distribuidora de gases.....	119
5.1.1.5. Ducto de salida de la torre al molino de crudo 2.....	120
5.1.1.6. Gusano transportador doble.....	120
5.1.1.7. Gusano transportador de descarga a tolva de bomba neumática.....	120
5.1.2. Montaje mecánico.....	121
5.2. Operación de los componentes del sistema.....	121
5.2.1. Torre de enfriamiento.....	122
5.2.2. Sistema de atomización.....	122
5.2.3. Rack de válvulas.....	123
5.2.4. Sistema de control.....	126
5.2.4.1. Sistema de Control retroalimentado.....	127
5.3. Arranque inicial del sistema.....	129
5.4. Resultados de operación del sistema.....	134

CAPITULO VI

ANALISIS DE COSTOS

6.1. Metodología.....	135
6.1.1. Valoración.....	136
6.1.2. Extensión.....	136
6.2. Costos de inversión del sistema.....	137
6.2.1. Inversiones tangibles.....	137
6.2.2. Inversiones intangibles.....	138

6.3. Costos de operación globales.....	139
6.3.1. Costos fijos.....	139
6.3.2. Costos variables.....	139
6.4. Composición de la inversión.....	140
6.5. Beneficios.....	141
6.6. Evaluación del Proyecto.....	141
6.6.1. Criterio de evaluación atemporal.....	142
6.6.1.1. Tasa de rendimiento.....	143
6.6.1.2. Período de recuperación de inversión....	144
6.6.2. Criterio de evaluación temporal.....	145
6.6.2.1. Valor actual neto (VAN).....	146
6.6.2.2. Valor presente neto (VPN).....	147
6.6.2.3. Tasa interna de retorno (TIR).....	149
6.6.2.4. Relación beneficio costo (B/C).....	150

BIBLIOGRAFIA.

ANEXOS.

PLANOS.

4.7	Parámetros medidos en operación en la TAG.....	114
5.1.	Resultados de la operación del sistema.....	134
6.1.	Inversiones tangibles.....	137
6.2.	Inversiones intangibles.....	138
6.3.	Costos fijos de operación.....	139
6.4.	Costos variables de operación.....	140
6.5.	Cuadro resumen de la inversión.....	140
6.6.	Cuadro resumen de beneficios.....	141
6.7.	Cuadro resumen de totales.....	142
6.8.	Flujos anuales de dinero.....	143
6.9.	TR en los 20 años de duración del proyecto.....	144
6.10.	Tiempo de recuperación de la inversión.....	145
6.11.	Cuadro de calculo del VAN.....	147
6.12.	Cuadro de calculo del VPN.....	148
6.13.	Cuadro de calculo del TIR.....	149

INDICE DE FIGURAS

	<u>Figura</u>	<u>Página</u>
2.1	Temperaturas de gas y material, en secaderos con corrientes del mismo sentido y a contracorriente	24
2.2	Tiempo de calefacción de partículas de caliza de tamaños diversos en suspensión en corrientes de gases	
2.3	Tiempo de calefacción de partículas de caliza de cuarzo de 0.1 a 0.16 mm de diámetro suspendidas en corrientes de gases	26
2.4	Componentes de un filtro electrostático.....	36
3.1	Depósito en el aparato respiratorio en función del tamaño de las partículas.....	57
3.2	Diagrama de un sistema de control de emisiones	62
3.3	Carga de partículas y generación de corona	65
3.4	Principio de operación básica de un precipitador electrostático..	66
3.5	Multiplicación de avalancha	67
3.6	Variación de la caída de tensión en una configuración electrodo-cilindro .	70
3.7	Relative migration velocity versus resistivity of dust.	74
3.8	Relative migration velocity versus precipitator temperatura	75
3.9	Variación de la resistividad del polvo la temperatura y el punto de rocío....	76
3.10	Porcentaje de recolección de polvo y niveles de voltaje	77
3.11	Relación de la Ley de Ohm en la capa de polvo	78
3.12	Factor de resistividad del polvo.. .	80
3.13	Esquema de operación de la TAG	83
4.1	Características de diseño de la torre de acondicionamiento de gases (TAG)... .	
4.2	Alternativas de instalación de la TAG.....	100

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En todo país en vías de desarrollo, las diferentes actividades productivas destinadas a crear bienes de capital, utilizan para la construcción un insumo básico, denominado cemento, este material constituye uno de los productos fundamentales para el crecimiento económico de toda nación. En la actualidad en el Perú, la capacidad total instalada de la industria del cemento, es la siguiente:

- Cementos Lima S.A. 3'500,000 Tm/año
- Cemento Andino S.A. 1'100,000 Tm/año

• Cementos Norte Pacasmayo S.A.	880,000 Tm/año
• Cementos Yura S.A.	500,000 Tm/año
• Cementos Sur S.A.	170,000 Tm/año
• Cementos Rioja	45,000 Tm/año
Total	6'195,000 Tm/año

Nuestro país, en los últimos 10 años a raíz de muchos cambios políticos y económicos, que a experimentado ha logrado estabilizar su economía y producto de estas mejoras socioeconómicas, el consumo de cemento se ha incrementado. En el siguiente cuadro apreciamos las variaciones de producción, ocurridas en la fabricas nacionales:

Tabla 1.1 Producción de cemento en el Perú.
Fuente: **ASOCEM**

AÑO	C.LIMA	C.N. PACASMAYO	C. ANDINO	C.YURA	C. SUR	TOTAL
1985	755,271	351,813	407,117	154,459	88,788	1'757,337
1986	987,349	505,158	418,447	197,856	97,829	2'206,639
1987	1'268,652	596,305	381,082	244,052	94,165	2'584,256
1988	1'174,889	648,301	341,689	247,756	74,671	2'514,306
1989	834,908	528,218	439,311	245,677	56,508	2'104,622
1990	808,311	533,247	427,954	365,282	50,180	2'184,974
1991	865,404	445,118	480,418	277,422	68,199	2'136,561
1992	894,402	455,432	481,242	245,312	87,746	2'164,134
1993	1'028,847	519,813	494,343	284,463	115,577	2'443,043
1994	1'269,054	678,152	697,466	391,072	141,623	3'177,367
1995	1'577,725	838,450	711,796	532,503	131,568	3'792,042
1996	1'637,544	785,716	750,465	546,247	128,391	3'848,363
1997	1'850,392	916,886	759,979	633,787	138,510	4'299,554
1998	1'917,851	794,304	801,208	668,790	157,638	4'339,791

Analizando estos datos podemos deducir, que las cinco fabricas de cemento del país, en los últimos diez años han tenido que trabajar bastante en proyectos de ampliación de sus instalaciones para lograr incrementar su producción, a las cantidades requeridas por el mercado peruano.

Cemento Andino S.A. ubicada en la región central del país, fue afectado por este incremento de la demanda y tuvo que desarrollar un proyecto integral para incrementar su capacidad de producción. Elevar la capacidad instalada de producción, implicó la realización de un estudio de factibilidad para la ampliación y modernización de las instalaciones de la fábrica.

Se inicio la ejecución de este proyecto, el año 1987, en la línea de producción del molino de crudo n° 2 y horno n° 3 (instalados en 1969), ampliando la capacidad de producción de 800 Tm/día a 2000 Tm/día de clinker, este trabajo incluyó la instalación de un electrofiltro nuevo, adicional a los dos existentes instalados en 1969. Cuando se puso en operación la línea del horno n° 3 modernizada, los resultados fueron diferentes a los esperados, no se llegó a la capacidad de producción proyectada, comenzaron a presentarse problemas de operación, los cuales generaron la variación de los parámetros (temperatura y humedad) de los gases-polvo, que ingresaban a los tres electrofiltros mencionados, originando la alta emisión de polvo al medio ambiente, como consecuencia de que estos equipos comenzaran a trabajar con eficiencias de recolección muy bajas polvo.

La presente investigación trata sobre el problema de la baja eficiencia de captación de los electrofiltros, e intenta plantear una solución técnico económica conveniente, mediante la instalación de una torre de acondicionamiento de gases, la cual implica un desarrollo teórico y tecnológico, sustentado como alternativa para mejorar la captación de polvo. En detalle el estudio realizado, esta compuesto de seis capítulos.

El capítulo 1, muestra el planteamiento del problema, con sus antecedentes, justificación y objetivos.

El capítulo 2, presenta una descripción de los principales materiales manipulados en una planta de cemento, se detalla el proceso productivo donde se trabajan con estos materiales y se comienza a ubicar dentro del proceso correspondiente a los gases-polvo y filtros electrostáticos, que son materia de nuestro estudio.

El capítulo 3, procede a una selección de la alternativa más conveniente para nuestro caso, y se comienza a analizar con profundidad el comportamiento y características de los tres participantes principales de nuestro problema los gases-polvo, los filtros electrostáticos y los filtros de mangas, con el objetivo de elegir la alternativa óptima.

El capítulo 4, plantea las hipótesis principales y secundarias, se inicia el trabajo de diseño y selección de componentes del sistema torre de acondicionamiento de gases, se realizan cálculos para obtener un balance de energía y materia, y se define la disposición y geometría final de los equipos en el sistema.

El capítulo 5, presenta todas las consideraciones necesarias para la correcta operación del sistema, se detallan cuadros estadísticos, gráficos y especificaciones del proceso de operación del sistema.

El capítulo 6, detalla un cálculo grueso de todo el costo que demanda la instalación completa del sistema comparado frente a la alternativa de comprar e instalar un filtro de mangas nuevo y se describe el valor incalculable de la conservación ambiental lograda.

Finalmente explicamos que el sistema analizado esta en continuo desarrollo en el mundo, aquí solo se presenta parte del estado actual de la tecnología, y estos avances se deben a la coyuntura en el ámbito mundial sobre la importancia de conservar el medio ambiente.

1.1 ANTECEDENTES.

Cemento Andino S.A. es una empresa dedicada a la elaboración de cemento portland tipo I, II y V ASTM C150 de la más alta calidad. Se encuentra ubicada en la sierra central, localidad de Condorcocha, distrito de La Unión Leticia, provincia de Tarma y departamento de Junín. La fabrica se fundó el 21 de abril de 1952, bajo el nombre de “Perú Central”, denominación que fue cambiada a "Cemento Andino S.A." el 20 de Enero de 1956. La planta original entró en operación el 15 de Mayo de 1958 con una capacidad instalada de 90,000 Tm/año haciendo uso del proceso vía húmeda para la fabricación del clinker. La instalación de los equipos se inició con el horno n° 1 (1956/1958), que en inicios era de proceso húmedo y fue posteriormente convertida a seco simple, actualmente tiene una capacidad de 250 Tm/día. Se continuo con el horno n° 2 (1961/1963), diseñado para proceso seco con un intercambiador de calor, de una capacidad de 450 Tm/día. Y finalmente se instaló el horno n° 3 (1967/1969), de proceso seco, instalado con un solo intercambiador, su capacidad inicial era de 800 Tm/día.

El 7 de marzo de 1974, según D.S. 007-74 I.T. del D.L. 18350, promulgada por el régimen militar, fue expropiada la fabrica, pasando a ser administrada por el gobierno. Durante los 6 años (1974/1980) de administración estatal, las instalaciones sufrieron un descuido en su conservación y mantenimiento, lo cual provocó el deterioro de los diversos equipos y maquinarias. Recuperada la fabrica, de la administración estatal, el año 1980, se inició un proceso de transformación, para ello se desarrollo un proyecto integral, con la finalidad primordial de recuperar, modernizar y ampliar la fabrica. Este proyecto fue desarrollado con la participación de las empresas asesoras: ARPL, KHD, Krupp Polysius, Siemens, BHA y otras más. Concluido el estudio de factibilidad, se determinó, realizar la ampliación de la planta en dos etapas:

Primera etapa: modernizar y ampliar la capacidad de producción de la línea del molino de crudo n° 2 y el horno n° 3, existentes. Esta primera etapa se realizó en los años 1987-1988, consistió en la ampliación de la línea de producción del horno n° 3, de 800 Tm/día a 2000 Tm/día.

Segunda etapa: modernizar y ampliar la capacidad de producción de la línea del molino de crudo n° 1 y el horno n° 2. Esta segunda etapa se realizó en los años 1996-1999, consistió en la ampliación de la línea de producción del horno n° 2, de 450 Tm/día a 1500 Tm/día.

En la primera etapa de modernización, la línea del horno n° 3, sufrió los siguientes cambios:

- Construcción de un nuevo intercambiador de calor, de 4 etapas, ubicado paralelamente al antiguo, con una cámara de pre-calcinación (calcinador) común para ambos intercambiadores.

- Cambio de la boca de salida, de tubos (virolas) deterioradas del cuerpo del horno y de polines.
- Reemplazo del enfriador de 800 Tm/día de clinker por uno nuevo de 2000 Tm/día de capacidad. El nuevo enfriador, libera el clinker a una temperatura entre 250 y 350 °C, y va unido a una trituradora hidráulica de rodillos que descarga a un enfriador del "Tipo G".
- Debido a que el nuevo volumen de crudo que ingresaría al horno es 2,5 veces más, se incremento la velocidad máxima de rotación a 3.29 rpm, sustituyendo el motor de 80 kw por uno de 230 kw con velocidad variable, y se cambio todo el sistema de accionamiento (reductor y coronas dentadas).
- Construcción de un conducto de aire terciario del cabezal de salida del horno hasta el precalcinador. Debido a la necesidad de aire en gran cantidad para calentar en contra corriente, mayor cantidad de crudo, en las dos torres de intercambiadores de calor.
- Incremento de la producción del molino de crudo n° 2, de 82 Tm/día a 145 Tm/día y construcción de un separador ciclónico de secado de materia prima.
- Para despolvar los gases-polvo residuales, se instaló un filtro electrostático nuevo y de mayor capacidad.

Concluido los trabajos de ampliación del horno n° 3, no se obtuvieron los resultados proyectados, la producción se incremento solamente a 1200 Tm/día y a partir de allí la operación del horno se complicó y comenzó a generar muchos problemas de operación del sistema, los diversos parámetros de operación

variaron, y la temperatura de ingreso de los gases-polvo, a los filtros electrostáticos se incremento por encima de los 350 °C y ello perjudico a estos equipos, obligándolos a trabajar a muy baja eficiencia de recolección, generándose así el problema de emisión de gases con altas concentraciones de polvo a la atmósfera.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

La emisión de polvo, por las chimeneas del horno n° 3, de la fabrica, pese a ser el polvo inofensivo y no tóxico, comenzó a generar diferentes efectos, en el ámbito ecológico, social, político y económico, las cuales se solucionaron con el desarrollo y ejecución del presente proyecto. Las siguientes razones justifican la realización del presente estudio.

a. Ecológica.

El polvo al encontrarse en el medio ambiente, crea una niebla, y al caer se deposita sobre la vegetación y aguas. Las plantas, no absorben polvo, pero la excesiva concentración de polvo, no les permite captar totalmente los rayos solares. En animales y seres vivos el daño en las vías respiratorias es mínimo.

b. Social.

Al existir polvo en el ambiente de los lugares aledaños, los pobladores de la zona, por ignorancia, comenzaron a culpar de todos sus problemas de salud, al polvo, nuestro estudio contribuirá con informar a la sociedad, sobre el impacto real del polvo en el ambiente.

c. Política.

Al desarrollar un sistema de control ambiental, estamos respetando las leyes nacionales y cumpliendo con las normas sobre inmisiones ambientales vigentes (PAMA), con el objetivo de lograr una equilibrada convivencia entre la empresa y el medio ambiente.

d. Económica.

El polvo que se pierde por las chimeneas del horno, es materia prima semi-procesada, y tiene un precio superior a la materia prima de los yacimientos. Se logra evitar la pérdida de miles de dólares y la empresa al cumplir con las normas ambientales, logra elegibilidad para créditos internacionales.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Disminuir la emisión de polvo al medio ambiente, en los gases residuales del horno n° 3, de la fábrica, de Cemento Andino S.A. mediante un rediseño del sistema de captación de polvo con la finalidad de convertirlo en más eficiente.

Para lograrlo se intenta incrementar la eficiencia de captación de polvo de los actuales filtros electrostáticos, mediante el tratamiento previo de los gases residuales a desempolvar, en una torre de acondicionamiento

de gases, la que será calculada y diseñada, de acuerdo a los parámetros de funcionamiento del sistema horno n° 3 y los electrofiltros actuales.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

La naturaleza de los objetivos específicos planteados está íntimamente vinculado al objetivo general y son:

a. Adecuación del equipo nuevo a los existentes.

Seleccionar entre varios equipos captadores de polvo, el apropiado que se insertara y adaptara en el sistema de equipos existentes. Se analizarán las diferentes alternativas considerando solamente factores técnicos y económicos.

b. Incremento de la productividad.

En simultaneó se busca incrementar la producción, del horno, la captación de los electrofiltros y la recuperación del material crudo captado y recolectado en los silos de almacenamiento.

c. Garantía de un funcionamiento confiable.

Determinar el grado de confiabilidad de operación de la torre de acondicionamiento de gases, interconectado con la línea de producción del horno, el cual tiene un factor de utilización alto, cercano al 95%.

CAPITULO II

EL CEMENTO: DESCRIPCION Y PROCESO DE FABRICACION

2.1. DESCRIPCIÓN DE MATERIALES MANIPULADOS EN LA FABRICA.

Los materiales manipulados en los diversos procesos realizados en la fabricación del cemento se clasifican en:

- Materias primas.
- Clinker.
- Cemento

2.1.1. MATERIAS PRIMAS.

El cemento es un material fabricado con componentes inorgánicos, que contienen principalmente: carbonato de calcio, alúmina, sílice y óxidos de hierro.

a. Caliza.

Se denomina así al carbonato calcio (CaCO_3), que abunda en la naturaleza. La forma más pura de la caliza es: el espato calizo (calcita), el aragonito y la marga. La caliza posee por lo general estructura cristalina de grano fino, tiene una dureza comprendida entre 1.8 y 3.0 de la escala de Mohs (ver anexo nº 2), su peso específico varía entre 2.6 y 2.8 gr./cm^3 . En la naturaleza se presenta de color blanco cuando se encuentra en estado puro, pero influyen en su color la presencia de otros materiales pertenecientes a sustancias arcillosas o a minerales de hierro. Cristaliza en el sistema hexagonal y cuando el grano es microscópico, se le denomina mármol. En la fábrica Cemento Andino, se clasifica a la caliza en: caliza alta y caliza baja, dependiendo del porcentaje de carbonato de calcio que contenga caliza alta es aquella que contiene entre 40% a 70% en peso, de CaCO_3 y caliza baja la que tiene un contenido menor o igual a 40% de CaCO_3 . Esta clasificación, se realizó con el objetivo de obtener una mezcla según las normas ASTM para los diferentes tipos de clinker (por ejemplo el clinker tipo II se busca un material con 74% de CaCO_3).

b. Arcilla.

Es la segunda materia prima importante para fabricación de cemento.

Es un mineral muy abundante en la naturaleza que proviene de la descomposición natural de las rocas, principalmente de las feldespáticas. La composición de la arcilla principalmente es el silicato de alúmina hidratado, el cual se halla mezclando con óxido de silicio, hidróxido de hierro, sulfuro de hierro, manganeso y carbonato de calcio. Sin impurezas es blanca. Tiene la particularidad de absorber el agua y formar una masa tenaz y maleable que se contrae y vuelve dura al calentarla, y cuando está húmeda tiene un olor característico a tierra mojada.

El resultado de un análisis químico de una arcilla magra, es:

- Sílice..... 20 %
- Arena..... 59 %
- Alúmina..... 10 %
- Óxido de Hierro..... 3.5 %
- Carbonato de Cal.... 0.5 %
- Magnesio..... 0.1 %
- Agua..... 6.9 %

c. Oxido de hierro.

Es uno de los compuestos que contribuye a la mayor o menor resistencia a la tensión y compresión y además es el que le da el color gris oscuro o claro al cemento.

d. Yeso.

Es un mineral estable que se encuentra en forma natural, y se presenta en cristales monocíclicos sencillos o formando mezclas y en masas laminares, fibrosas sacaroideas y a veces pulverulenta. El yeso es el sulfato de calcio con dos moléculas de agua. Por la acción del calor se deshidrata, volviéndose opaco y de color blanco, que

reducido a polvo y amasado con agua tiene la propiedad de endurecer rápidamente. En presencia de agua el producto semihidratado vuelve a su forma original, liberando energía en forma de calor de hidratación. Si los cristales individuales están lo suficientemente cerca uno de otro, el yeso formado se mantendrá unido por medio de un crecimiento entrelazado de cristales y de fuerzas moleculares. Este requisito de que las partículas individuales estén muy cerca unas de otras es de vital importancia para que se efectúen las reacciones propias del cemento y es la razón por la cual son tan importantes la cantidad de agua y el grado de compactación. Las desventajas del yeso son: la poca estabilidad del material en condiciones húmedas, su fraguado rápido a menos que sea retardado y su alto calor de hidratación, lo que trae como consecuencia las rajaduras o grietas termales en aplicaciones masivas.

2.1.2. EL CLINKER.

Se denomina “Clinker” al producto obtenido por la calcinación (tratamiento calorífico) en hornos verticales ó rotatorios; hasta fusión incipiente de una mezcla de materiales crudos (caliza, arcilla, óxido de hierro), convenientemente dosificados, pulverizados y homogeneizados, sometidos estos a temperaturas comprendidas entre 1400-1500 °C, lográndose sintetizar una serie de compuestos químicos minerales cuyo conjunto posee un aspecto físico de un magma, que al ser enfriado se convierte en una escoria que se le denomina clinker. Cuando a tenido una buena calcinación tiene apariencia de bolas pequeñas,

irregularmente redondeadas de un color negro aterciopelado ó gris negruzco, mostrando muchos cristalinios brillantes. La coloración adquirida débese a numerosos factores entre otros a las formas y velocidad de enfriamiento, a la presencia de mayor o menor cantidad de compuestos de hierro, y a la relativa cantidad de líquido vítreo cristalizado presentes en él.

Constitución mineralógica cualitativa.

El clinker granulado del cemento portland, tal como sale de los hornos, puede asimilarse a una roca artificial, cuya génesis es comparable en cierto modo a una roca natural eruptiva ó ígnea. Es por lo tanto, petrográficamente considerado un conglomerado de elementos cristalinios y de fase vítrea, formado por consolidación del “crudo” parcialmente fundido al estar sometido a altas temperaturas.

Constitución química cualitativa.

Los componentes químicos del clinker de cemento portland se han considerado divididos en dos grupos el de los llamados principales y el de los secundarios. Atendiendo a su papel químico, también cabe distinguir en ellos dos grupos: el de los componentes ácidos y el de los básicos, según su naturaleza y comportamiento.

Los componentes ácidos del clinker, llamados “factores hidráulicos” por los investigadores de la escuela germana, son la sílice SiO_2 , la alúmina Al_2O_3 y el óxido férrico Fe_2O_3 . De ellos, los dos últimos son, como se indicó los fundentes. Los básicos son la cal (CaO), la magnesia (MgO) y los álcalis K_2O y Na_2O . Los tres componentes ácidos citados son a la vez componentes principales, mientras que de los básicos solo es la cal. Se comprende, por lo tanto, que el clinker de cemento portland esté constituido predominantemente por especies

químicas (Ver tabla 2.1) formados por los componentes ácidos ó factores hidráulicos, total ó parcialmente neutralizados por la cal.

Tabla 2.1. Especies Químicas Constitutivas del Clinker.

Fuente: ASOCEM

NOMBRE	FORMULA INTERNACIONAL	ABREVIATURA
Silicato Tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato Bicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato Tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3S
Ferroaluminato Tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

En el clinker existe además óxido de magnesio (MgO), cal libre (CaO), cuyas proporciones son variadas. También se encuentran presentes los llamados “óxidos menores” en proporciones mínimas, tales como los de Na, Mn, Ti y P.

2.1.3. EL CEMENTO.

Es un material de propiedades adhesivas y cohesivas. Se fabrica para propósitos de construcción de materiales aglomerados hidráulicos. La acción del cemento es el cambio de un compuesto químico inestable a uno estable, el cual se presenta como una masa sólida unida por medio de fuerzas moleculares. Se obtiene mezclando, el clinker con un 3-5% en peso de yeso, y pulverizándolos hasta quedar convertidos en un polvo muy fino. El cemento es hidráulico ya que tiene la propiedad de endurecer bajo el agua, debido a una reacción interna que se realiza por la composición química que tiene. Este es un material, que al agregarle agua solamente o mezclado con otros materiales como arena, grava,

asbesto, suelo, etc., tiene la propiedad de fraguar en una masa endurecida.

2.1.3.1. TIPOS DE CEMENTO.

De acuerdo a las normas ASTM, existen 5 tipos. De los cuales Cemento Andino fabrica los tipos I, II y V.

Tabla 2.2. Composición Química de los Tipos de Cemento.
Fuente: Normas ASTM.

TIPO DE CEMENTO	COMPOSICION			
PORTLAND ASTM	C₃S	C₂S	C₃A	C₄AF
TIPO I	50	24	11	8
TIPO II	42	33	5	13
TIPO III	60	13	9	8
TIPO IV	26	50	5	12
TIPO V	40	40	4	9

Tipo I.

Es el cemento común, usado en construcciones generales de concreto, donde no se requieren propiedades de resistencia especiales.

Tipo II.

(Cemento modificador) Se recomienda para estructuras donde hay calor de endurecimiento ó hidratación moderada y acción moderada de sulfatos.

Tipo V.

(Portland resistente a los sulfatos) Es caracterizado por su alta Resistencia a los sulfatos, es empleada en aquellos trabajos en terrenos húmedos, pantanosos y con alta concentración de sales.

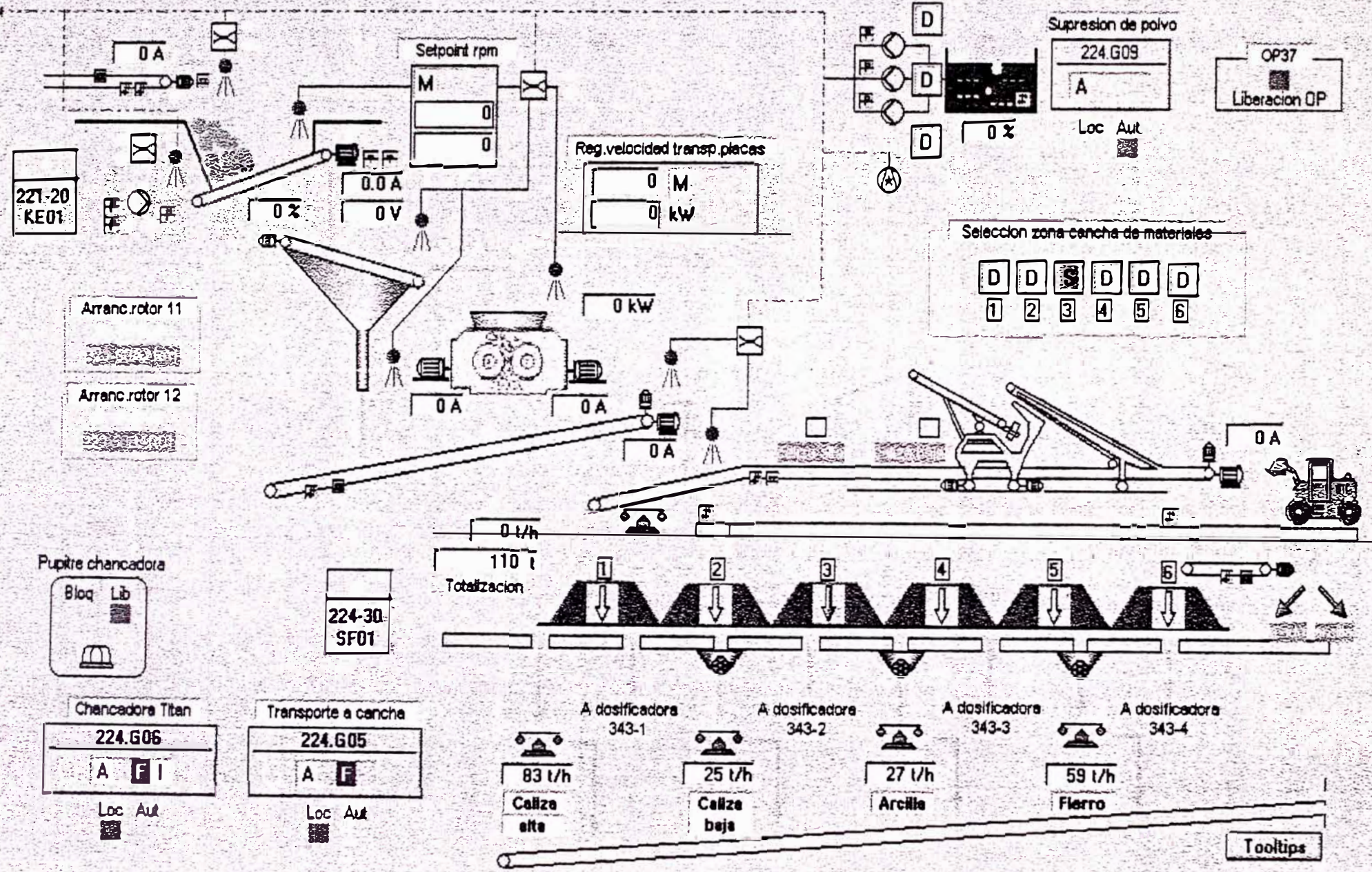
2.2. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO.

En cada proceso de la fabricación del cemento, involucra el manejo y control del polvo en diversos dispositivos, como: ciclones, multicyclones, filtros de mangas, filtros electrostáticos, estos procesos se diferencian entre sí y son.

2.2.1. MOLIENDA DE MATERIAS PRIMAS.

Para la fabricación de cemento portland la caliza, la sílice, la arcilla y el óxido de hierro, una vez extraídos de la cantera son sometidos a una trituración primaria con el objeto de reducir el tamaño de los materiales como máximo a un $\varnothing = 3''$ para lo cual se utiliza un molino de martillos de doble rotor, que trabaja con un grado de desmenuzamiento que se encuentra en un rango de 1 a 15, según el material. El grado de desmenuzamiento, es la relación entre la mayor dimensión lineal del material a dividir (D) y la mayor dimensión lineal del material después de su trituración. Este triturador trabaja con la fuerza de percusión de los martillos, de acuerdo con la fórmula de la energía cinética o impacto (E_c). Por lo tanto para, un funcionamiento eficiente el triturador está diseñado, con una mínima masa de los martillos y para elevar su fuerza de impacto su velocidad es la máxima permisible. El material desmenuzado pasa por el emparrillado primario, (cesta), en donde se realiza el desmenuzamiento definitivo. La distancia de separación entre

Chancadora secundaria TITAN



221-20
RE01

Arranc. rotor 11
Arranc. rotor 12

Pupitre chancadora
Bloq Lib

224-30
SF01

Chancadora Titan
224.G06
A F
Loc Aut

Transporte a cancha
224.G05
A F
Loc Aut

0 t/h
110 t
Totalizacion

A dosificadora 343-1: 83 t/h Caliza alta
A dosificadora 343-2: 25 t/h Caliza baja
A dosificadora 343-3: 27 t/h Arcilla
A dosificadora 343-4: 59 t/h Hierro

Tooltips

las barras de la parrilla determina el tamaño del grano final. Debido a que la percusión sobre el material es irregular, la carga sobre el motor también lo es; por lo que lleva volantes masivos, en cada rotor. Cada material triturado es almacenado en una cancha diferente.

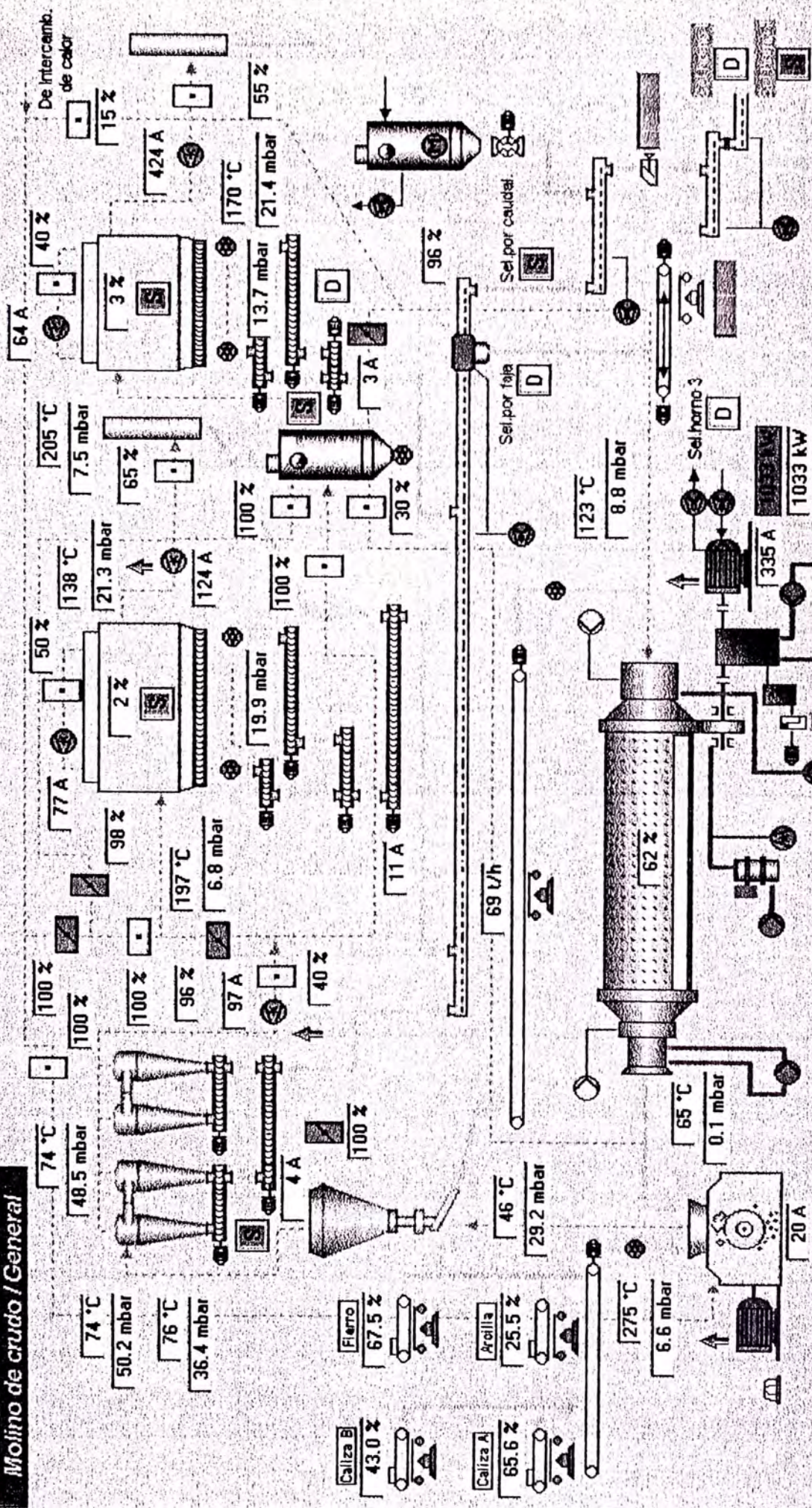
2.2.2. PULVERIZADO Y SECADO DE MATERIAS PRIMAS.

El sistema utilizado es el de molienda y secado en Tándem, en esencia consiste, en un molino de bolas barrido por aire, que opera conjuntamente con un triturador de martillos, de la siguiente manera:

Las materias primas almacenadas en canchas, son dosificadas a una faja transportadora, mediante unas balanzas, la dosificación se realiza en tiempo real, la mezcla es función de la composición del material y del tipo de cemento que se desea fabricar, esta faja descarga el material, en tamaño máximo grano de 75 mm. A través de una compuerta de hojas, hermética, que impide el ingreso de aire frío (falso) al proceso, la mezcla cae a un recinto cerrado dotado de un triturador de martillos. La velocidad angular del rotor del triturador, y los martillos, lanzan a gran velocidad hacia unas placas estacionarias donde por choque se desmenuzan, a la vez, en el recinto circulan gases residuales calientes provenientes de los intercambiadores de calor del horno, el cual realiza la función de quitar la humedad o secar el material. Esta trituración produce entre un 15% a 30% de fracciones finas, que no exigen

Q L A

Molino de crudo / General



Contómetros

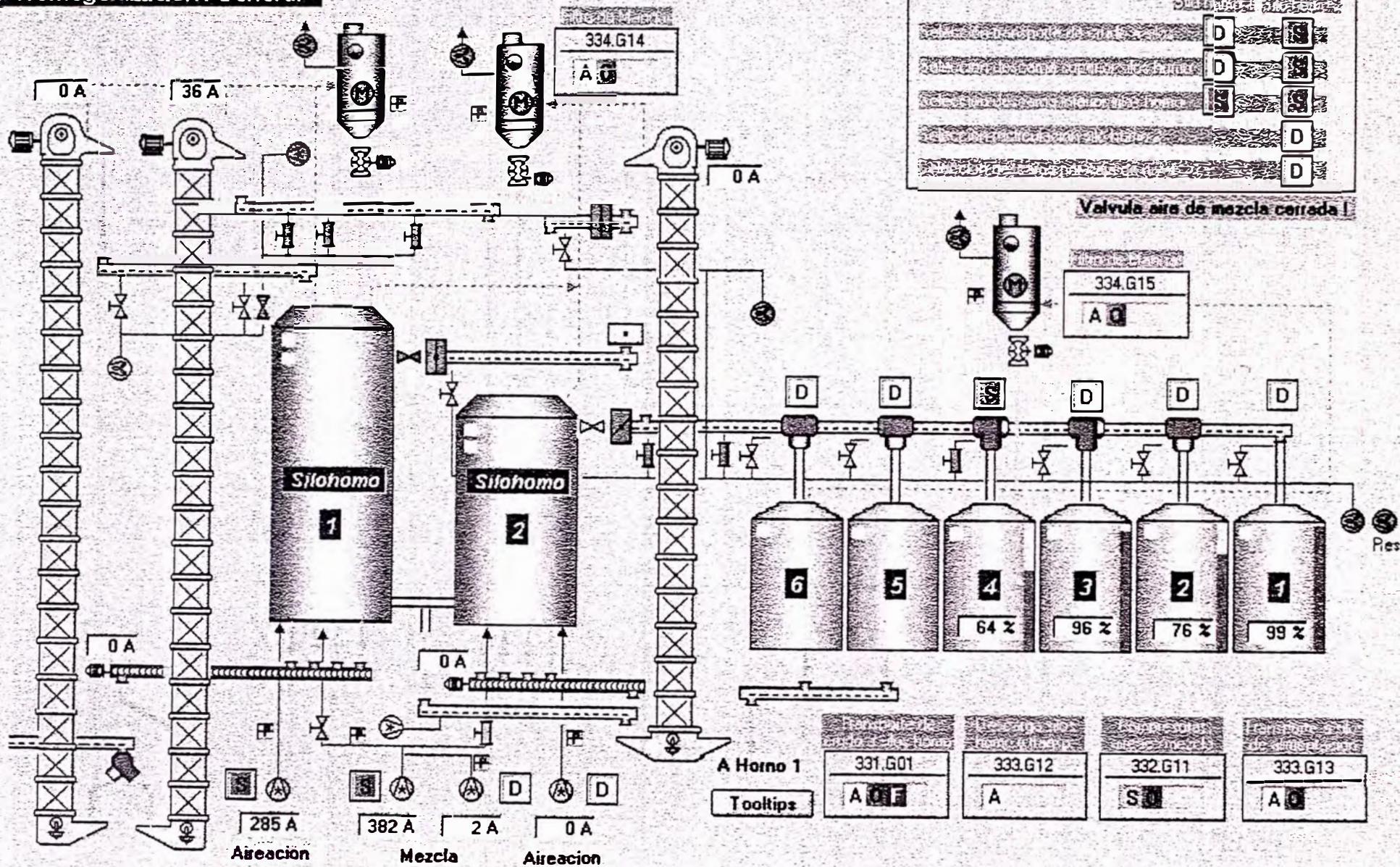
Sirena aviso	321.G10	324.G08	322.G07	324.G06	325.G05	433.G03	433.G04	433.G02	331.G01
	A E	A C	A C	A C E	A C	A	A F	A	A F

Sub división ulterior. Al material previamente triturado a tamaños entre 0.001 - 10 mm lo arrastra la corriente de gases, por el vacío generado por un exhaustor de gran capacidad, a lo largo de un tubo ascendente, hasta un separador cónico de aire (durante este proceso el material continúa secándose). Después de la separación de los finos, las partículas gruesas van a parar a un molino de bolas de una sola cámara, donde terminan de pulverizarse. A efectos del secado final del material llevado al molino se deriva una fracción de la vena de gases residuales al molino. El producto de salida del molino de bolas también pasa al conducto ascendente y luego al separador cónico. Las partículas finas que atraviesan el separador cónico, ingresan en dos ramales paralelos de 2 ciclones cada uno, instalados en serie, donde se captura el material pulverizado y seco, menor a 100 micras de diámetro luego por medio de 2 tornillos transportadores, se descarga a una faja transportadora que lo deposita en un silo de almacenamiento y homogenización.

2.2.3. HOMOGENIZACIÓN.

El material una vez molido pasa a los silos de almacenamiento donde se realiza el proceso de homogenización, en forma física y química. El proceso utilizado, es el proceso Fuller también conocido como sistema de cuadrantes. Consiste en unos depósitos cilíndricos que pueden trabajar en serie o en paralelo, los fondos de estos silos están reunidos

Homogenizacion / General



en cuadrantes, se inicia el ciclo, cuando uno de ellos actúa como cuadrante de mezcla, mientras los otros tres lo hacen como cuadrantes de aireación y termina cuando todos los cuadrantes han realizado la mezcla. La aportación total de aire la suministran dos compresores, uno para el aire de mezcla y el otro para el 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 del 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 homogeneización casi perfecta del crudo, en función al tiempo.

2.3.4. CALCINACIÓN.

Es el proceso de preparación del material que se va a quemar en el horno rotativo, se realiza en dos intercambiadores de calor, los cuales utilizan el principio de suspensión del crudo en la vena gaseosa de los gases residuales calientes.

Un Intercambiador de calor consiste en cinco ciclones instalados en serie (uno encima de otro). Interconectados entre sí por conductos. Los conductos y los ciclones están revestidos interiormente con material refractario. El intercambio térmico se realiza en los conductos y en los ciclones, individualmente considerados, en una corriente de la misma dirección para el polvo y los gases; como conjunto, el intercambiador trabaja a contra corriente de modo gradual. En los ciclones, el tiempo necesario para que se depositen las partículas de crudo, disminuye con el cuadrado del diámetro de las partículas, en él supuesto que sean esféricas.

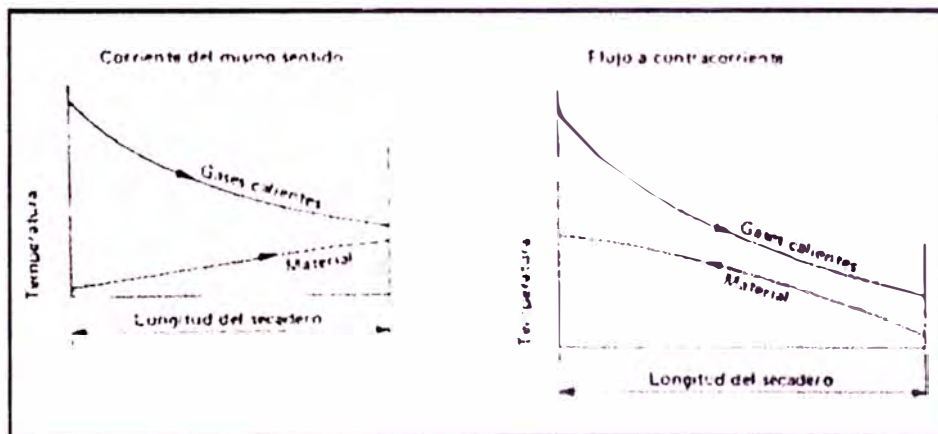


Figura 2.1 Temperaturas de gases y material, en secaderos con corrientes del mismo sentido y a contracorriente.

Es relativamente corto el tiempo necesario para calentar las partículas de crudo en suspensión. En las figuras 2.2 y 2.3 se dan los tiempos que se requieren para calentar partículas de caliza y cuarzo respectivamente de diferentes tamaños.

El diagrama de la fig. 2.2 da el tiempo necesario para calentar partículas de cuarzo de 0.1 a 0.16 mm de diámetro, suspendidas en corrientes de

gases. Si se compara las curvas de calefacción del cuarzo con las de la caliza se observa que estas para diámetros entre 0.1 y 0.16 mm alcanzan, en el mismo tiempo, temperaturas más altas que las de caliza. En los intercambiadores de calor, una partícula de material tarda material hasta la entrada al horno, es decir recorre una altura de 40 metros. Durante este tiempo el crudo se calienta de 80 °C a 800 °C, mientras que los gases ascendentes se enfrían desde 1110 °C a 330 °C.

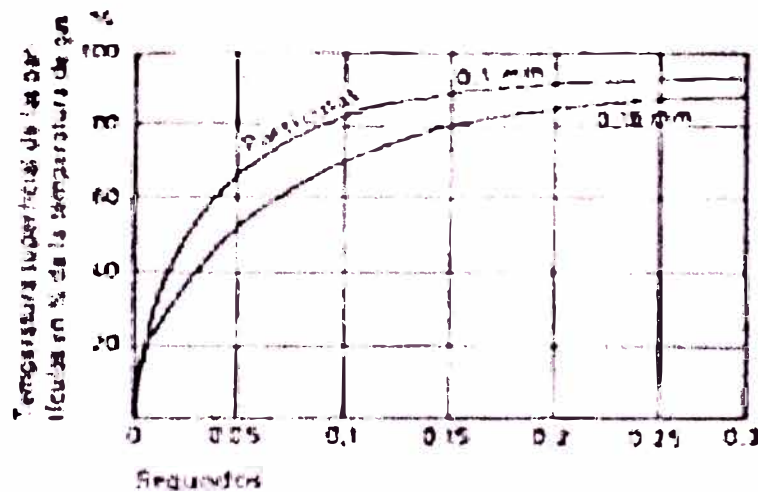


Figura 2.2 Tiempo de calefacción de partículas de caliza de tamaños diversos en suspensión en corrientes de gases.

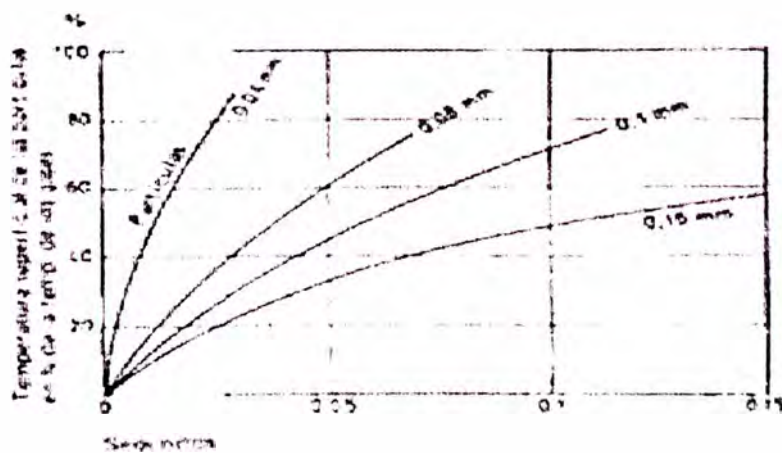


Figura 2.3 Tiempo de calefacción de partículas de cuarzo de 0.1 a 0.16 mm de diámetro suspendidos en corrientes de gases.

2.2.5. CLINKERIZACIÓN.

La calcinación es sin duda el proceso más importante que determina la calidad del cemento ya que de esta etapa depende la calidad del clinker formado. Este proceso se realiza en un horno rotativo, que consiste en un cilindro de acero revestido interiormente de material refractario dispuesto algo inclinado (3.5% sobre la horizontal). De un diámetro de 4000 mm y una longitud de 53 m. Estos hornos tienen un movimiento de rotación lento (máximo 5 rpm); el extremo superior de este cilindro esta conectado con los intercambiadores de calor, por donde ingresa el crudo precalcinado. Por el extremo inferior se inyecta aire a presión y combustible (carbón pulverizado ó petróleo), el combustible inflamado forma un dardo de fuego que alcanza al interior del cilindro, en contra corriente con el crudo que avanza de un modo regular y continuo según una trayectoria helicoidal en contacto con las paredes merced a la rotación é inclinación del horno. El contacto directo de los gases calientes, al principio, y después por radiación del foco calorífico rectilíneo que supone el dardo de fuego, da el calor necesario para los procesos de calcinación hasta ser extraído el producto resultante.

Reacciones químicas en la clinkerización.

La materia prima fluye a través del horno y la temperatura aumenta hasta un máximo de 1450 °C a 1550 °C. A estas temperaturas la carga del horno solo es sinterizada, o sea sólo la menor parte del material se funde. Las principales reacciones suceden en el estado sólido.

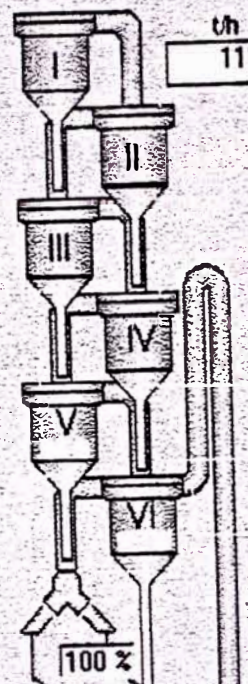
Horno / Intercambiador

Al molino de crudo

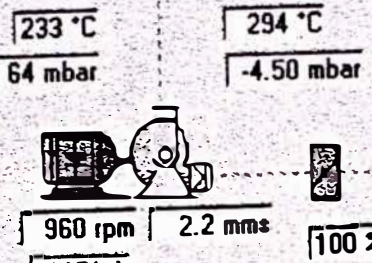
0.02 vol% CO
4.2 vol% O2

Sonda en operacion

2 %
295 °C
588 °C
36 mbar
583 °C
756 °C
15 mbar
772 °C
841 °C



t/h 111
295 °C
58 mbar
466 °C
44 mbar
464 °C
699 °C
27 mbar
710 °C



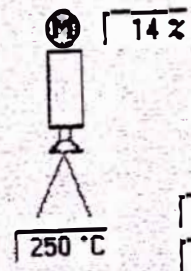
Reg.%O2 intercambiador
4.23 M
4.23 % O2

Seleccion horno
Calentamiento
Operacion horno
Operacion enfri.
Analizadores gas

Produccion =
Consumo = 846 kcal/kg

924 °C 11 mbar
878 °C 5 mbar

4.00 A
4.03 rpm
Torque horno = 65 %



14 %
250 °C
0.53 mbar
1074 °C

Reg.presion cabedal
-0.53

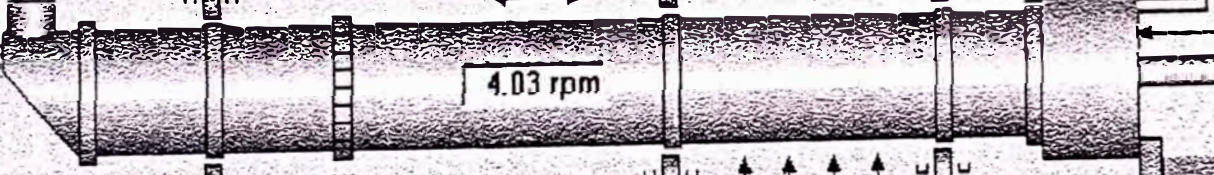


4.12 t/h CARBON
4 t/h Pircion 2
2 t/h Pircion 1

911 °C
0 mbar

Reg.cpm parrilla
59.71

0.00 vol% CO
5.8 vol% O2
Sonda en operacion

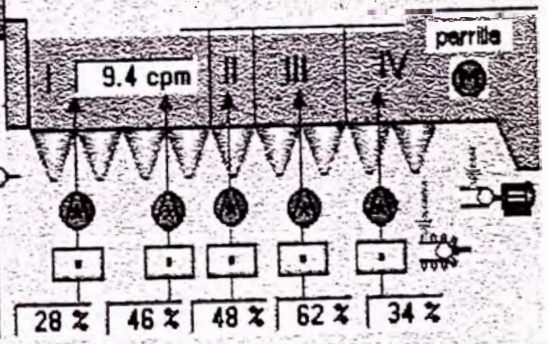


1510 l/h Quemador
2483 l/h
0.00 t/h CARBON

2 mbar 1088 °C

Tooltips Contometros

Sist.longitudinal	Motor aux.horno	Motor ppal.horno	Sistema lubricac.	Ventilador interc.	Ventil. axiales	Vent.enfriamiento	Vent.muticicion
432.G04	432.G06	432.G05	432.G03	432.G07	438.G08	438.G07	438.G04
A	A	A	A	A	A	A	A



Conforme aumenta la temperatura, la primera reacción es la evaporación del agua libre, a 100 °C. Entre 150 °C y 350 °C el agua combinada queda libre y a más o menos 600 °C todas las moléculas OH presentes son expulsadas. Entre 900 °C y 1000 °C el carbonato de calcio se disocia en $\text{CaO} + \text{CO}_2$. Esta reacción se denomina calcinación, empieza la reacción entre el CaO y los componentes sílicos. A una temperatura un poco mayor se lleva a cabo la formación de la fase líquida. La formación de silicato prosigue hasta que todo el SiO_2 está combinada con el CaO. Por esto aumenta la cantidad de líquido. Normalmente entre 10 y 20% de la carga se funde. Lo derretido consiste principalmente de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y CaO. A una temperatura de sinterización determinada, el material está aproximadamente en equilibrio, y es aquí cuando empieza la formación de cristales. En este estado, al material cocido se le denomina clinker, durante el siguiente enfriamiento la fase líquida se solidifica, cristalizándose el aluminato de calcio y la ferrita de calcio. La textura del clinker está fuertemente influenciada por diferentes parámetros del proceso. Los factores principales son:

- Química del crudo.
- Finura y homogeneidad del crudo.
- Ceniza del carbón.
- Temperatura de cocción.
- Grado de enfriamiento.

2.2.6. ENFRIAMIENTO DEL CLINKER.

El enfriamiento del clinker influye sobre su estructura, composición mineralogía, molturabilidad y con ello sobre las propiedades del cemento que con el se fabrique. El enfriamiento del clinker es necesario porque:

- a. El clinker al rojo no es transportable.
- b. El clinker caliente influye desfavorablemente en la molienda del cemento.
- c. El aprovechamiento del contenido térmico del clinker caliente en Aproximadamente, 200 kcal/kg-clinker, disminuye los costos de producción.
- d. Un proceso de enfriamiento adecuado perfecciona las propiedades del cemento.

Se emplea un enfriador de parrillas, este tipo de enfriador es el más común porque produce un eficiente intercambio térmico entre el aire de refrigeración y el clinker caliente en pequeño espacio. Este tipo de enfriador permite el control exacto de la temperatura del aire secundario y la temperatura del clinker, tiene muy pocas pérdidas de calor por radiación y convección, es posible un rápido enfriamiento inicial del clinker, que es de gran importancia para la formación del silicato tricalcico. Al ingreso el clinker, esta a una temperatura que oscila entre 1360 y 1400 °C, el rendimiento térmico del enfriador esta entre 72 y 75%. Consiste en una serie de placas instaladas alternativamente fijas y

móviles. Las partículas pequeñas de clinker caen por las ranuras abiertas en las placas a una tolva, donde se almacenan para después ser evacuadas, a una cadena metálica de arrastre. Las rocas de clinker de mayor tamaño son transportadas por las placas que tienen un movimiento de vaivén, a una prensa hidráulica que lo tritura que luego, cae a una banda transportadora de baldes metálicos que lo traslada a un enfriador del "tipo G", que es un intercambiador de calor con aire indirecto, que utiliza la gravedad para enfriar el clinker. Finalmente otra banda transportadora de baldes lo traslada al material a una zona de almacenamiento al aire libre, donde terminara de enfriarse.

2.2.7. MOLIENDA DE CLINKER.

El clinker es un producto intermedio en la fabricación del cemento. Si se le añade durante la molienda de 3 a 5 % de yeso recién se obtiene cemento. La forma de molienda, es decisiva para la optima calidad del cemento. La tecnología de la molienda se basa en los conocimientos siguientes:

- a. La fracción granulométrica entre 3 y 30 micras es decisiva para el desarrollo de las resistencias mecánicas del cemento.
- b. La fracción menor que 3 micras solo contribuyen a las resistencias iniciales.

- c. La fracción por encima de 60 micras se hidrata lentamente y solo representa un papel secundario en la resistencia del cemento.

La molienda se realiza en circuito cerrado, donde los gránulos gruesos pasan por el molino varias veces. Los finos se retiran como producto final en el separador. Los molinos son de bolas, son tubos de acero, rotatorios, tienen 2 ó 3 compartimentos, donde el desmenuzamiento se realiza por el movimiento de cuerpos moledores (bolas de acero) por el giro del cilindro del molino. La molienda se realiza por choque y rozamiento entre bolas, material y las paredes blindadas del molino. La corriente de aire es generada por un exhaustor y el filtrado es por filtros de mangas.

2.2.8. EMBOLSADO DEL CEMENTO.

Una vez que el cemento se encuentra depositado en los silos de almacenamiento el producto está listo para ser despachado, en forma envasada o a granel. El cemento dentro del silo se encuentra sometido a un aireado que lo vuelve fluido, para embasarlo equipos de transporte lo llevan a una máquina rotativa que tiene una capacidad para ensacar 2200 bolsas/hr terminado el embolsado un sistema de transporte de fajas permite el carguío a los camiones de los clientes. El movimiento interno de bolsas nuevas se hace por medio de fajas y winches, que permiten abastecer en forma rápida a las máquinas de embolsar.

2.3. DESCRIPCIÓN DEL FILTRO ELECTROSTÁTICO.

Un filtro electrostático, es un aparato que purifica gases residuales de procesos industriales, utilizando fuerzas eléctricas para retirar partículas sólidas que transporta el flujo de gas. Su funcionamiento se basa en aprovechar el efecto de ionización de los gases a desempolvar en un campo eléctrico intenso, formado entre los electrodos emisores negativos y los electrodos de precipitación positivos (descarga por efecto corona). Se utilizan en una variedad de industrias para recolectar varios tipos de partículas.

2.3.1. ANTECEDENTES.

El control de la emisión de partículas en los procesos industriales ha sido un problema al que se ha dado importancia en la última parte del siglo XX. Frederick Cottrell desarrolló la tecnología electrostática que ha estado en uso desde principios de 1900. La primera instalación exitosa recolectaba vapor de ácido sulfúrico. Posteriormente, cuando los boilers de carbón pulverizado se volvieron populares, el diseño continuó mejorando logrando alta eficiencia en recolección de ceniza. El diseño que conocemos actualmente se estableció al finalizar los años veinte. Durante los años sesenta, el énfasis en cuanto al ambiente aceleró la tendencia de mejorar los aparatos de control de partículas. Aunque el diseño básico del precipitador había permanecido sin

cambio, se continuo mejorando la fuente de poder y selección de materiales, permitiendo que aumentaran en su eficiencia de recolección. Con el surgimiento del acto de aire limpio y sus limitaciones tan estrictas, impulsaron el refinamiento en la operación, desarrollo de nuevos materiales, mayor espaciamiento entre placas, energización intermitente, controles de voltaje de microprocesador y controles de sacudido, reactores limitadores de corriente de inductancia variable, y programas de computadora que permiten ver y guardar datos de operación del precipitador, con lo que se ha logrado incrementar las eficiencias de recolección a un rango de 99.5% a 99.9 %.

En la industria del cemento se emplean únicamente filtros electrostáticos secos, que tiene varios tipos básicos, que difieren en sus componentes internos, estilo de limpieza (mecanismo de sacudido) y características de diseño.

2.3.2. COMPONENTES.

Los filtros electrostáticos están conformado de elementos internos y externos, mecánicos y eléctricos, que trabajan en unión bajo condiciones dinámicas, sin importar su diseño particular, se componen de (ver fig.2.4), las siguientes partes:

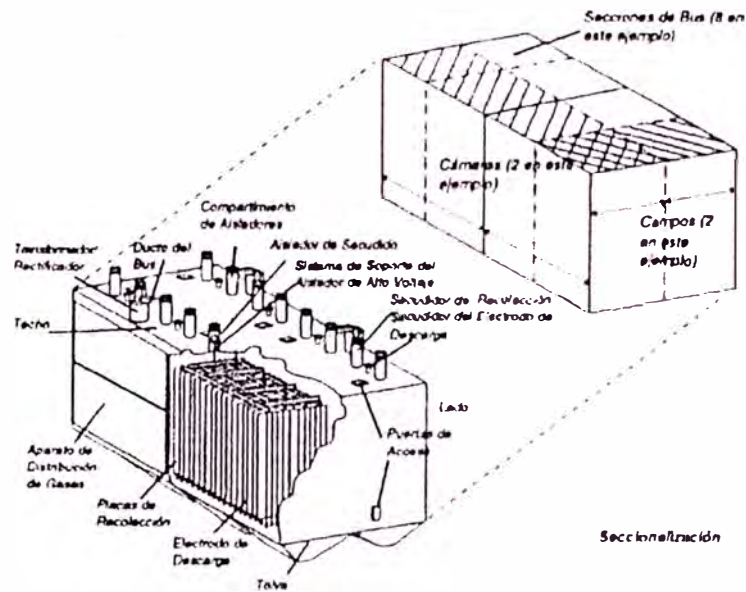


Figura 2.4 Componentes de un filtro electrostático.

Estructura: Incluye placas de acero y barras de soporte usadas para cubrir y soportar los electrodos y demás componentes en un marco rígido para mantener la alineación y la separación adecuada de los electrodos. Esta hecha de acero al carbono 6 mm de espesor, cubiertas con material aislante.

Compartimentos de aisladores: Son cubiertas individuales para proteger los conductores de alto voltaje y los aisladores cerámicos que soportan elementos como el eje de del sistema golpeador de placas, etc.

Tolvas: Se usan para guardar temporalmente el polvo recolectado antes de desalojarlo. Están diseñadas con una inclinación de 60° para permitir la caída libre del polvo.

Zona de tratamiento: Es el área dentro del precipitador donde el flujo de gas se distribuye y el polvo se carga y recolecta. Incluye aparatos de distribución, electrodos de descarga y de recolección. Componentes

importantes son los sacudidores y vibradores, controles de sacudido, sistemas de purga de aire, aisladores y otros.

2.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELECTROFILTROS.

La instalación del horno n° 3 fue construida por la empresa alemana KHD a finales de los años 60. Originalmente trabajó con una torre de intercambio de calor, produciendo 800 Tm/día de clinker.

Para su depuración el gas de salida se conducía por dos electrofiltros suministrados por KHD de dos campos, dispuestos en paralelo. A finales de los años 80 la planta existente fue ampliada por KHD para aumentar la producción diaria de clinker de 800 a 2000 Tm/día. Para el horno se construyeron dos torres de intercambio de calor dispuestos en paralelo con un precalcinador común. Debido al mayor caudal de gas se añadió a los electrofiltros existentes otro electrofiltro nuevo (KHD) de tres campos. La distribución del flujo de gas hacia las diferentes líneas de filtro se realiza después de una cámara de mezcla de gas. En la mayor parte del tiempo el horno trabaja en servicio conjunto con un molino de bolas. En esta línea no existe un enfriador por evaporación. las principales características de los electrofiltros, se presentan a continuación en las siguientes tablas:

2.4.1. PARÁMETROS DE DISEÑO DE ELECTROFILTROS N° 1 Y 2.

Se diseñaron para trabajar con las siguientes características:

Caudal de gas (ef)	176,573 ACFM / 300,000 m ³ /hr
--------------------	---

Temperatura del gas	:	100 °C
Presión barométrica	:	18.898 in. Hg
Presión de trabajo	:	-0.732 in.W.C./-18.6 mm.c.d.a.
Carga de polvo en el gas bruto (ef.)	:	60 g/m ³
Carga de polvo en el gas depurado (ef.)	:	300 mg/m ³

Tabla 2.3 Datos de placa de electrofiltros 1 y 2.

Fuente: KHD

Tipo	11L-27-9-7/7
Año de construcción	1968
Numero de filtros	2
Numero de campos eléctricos	2
Numero de pasajes por campo	27
Distancia entre electrodos	260 mm
Longitud efectiva de un campo	3.29 m
Altura de electrodo de precipitación	8.00 m
Superficie de precipitación por campo	1420.94 m ²
Tipo de electrodo de precipitación	Tiras de chapa de acero
Tipo de electrodo de ionización	Alambre de púas. Alambre redondo.
Numero de grupos de A.T.	2
Tipo	AEG
Año de construcción	1967
Entrada: tensión/corriente/frecuencia	440V / 113 A / 60 Hz
Tensión secundaria: con carga	78 kv.
Corriente secundaria	600 mA
Control de A.T.	Transductor

En el año de 1984, estos electrofiltros trabajaban en las siguientes condiciones:

Caudal de gas (ef)	:	120,000 ACFM / 203,880 m ³ /hr
Temperatura del gas	:	83 °C
Temperatura del punto de rocío Del agua.	:	48 °C
Humedad del gas	:	11.3 5

Carga de polvo en el gas depurado (ef.) :

En 1975 : 265 mg/m³

En 1984 : 429 mg/m³.

En el año de 1988, después de la ampliación del horno n° 3, cada uno de los electrofiltros operara bajo las siguientes condiciones:

Servicio directo: Mill Off

Caudal de gas (ef.) : 142,500 m³/hr

Temperatura del gas : 356 °C

Temperatura del punto de rocío del agua : 45 °C

Carga de polvo en el gas bruto : 30 g/m³

Presión del gas (abs.) : 624 mBar

Servicio conjunto: Mill On

Caudal de gas (ef.) : 127,500 m³/hr

Temperatura del gas : 90 °C

Temperatura del punto de rocío del agua : 60 °C

Carga de polvo en el gas bruto (ef.) : 40 - 60 g/m³

2.4.2. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL ELECTROFILTRO N° 3.

Estas condiciones de diseño son a las que operara el electrofiltro n° 3.

Servicio directo: Mill Off

Caudal de gas (ef.) : 277,000 m³/hr

Temperatura del gas	:	356°C
Temperatura del punto de rocío del agua	:	45°C
Carga de polvo en el gas bruto	:	30 g/m ³
Presión del gas (abs.)	:	624 mBar
<u>Servicio conjunto: Mill On</u>		
Caudal de gas (ef.)	:	255,000 m ³ /hr
Temperatura del gas	:	90°C
Temperatura del punto de rocío del agua	:	60°C
Carga de polvo en el gas bruto (ef.)	:	40 – 60 g/m ³
Carga de polvo en el gas depurado (ef.)	:	150 mg/m ³

Tabla 2.4. Datos de placa de electrofiltro 3.
Fuente : KHD

Tipo	HL-28-10-12/12/12
Año de construcción	1987
Número de filtros	3
Número de campos eléctricos	3
Tipo de electrodo de precipitación	Planchas de acero
Tipo de electrodo de ionización	Alambre de púas
Entrada: tensión/corriente/frecuencia	440 V/113A/60Hz
Tensión secundaria : con carga	68 kv.
Corriente secundaria	700 mA
Control de A.T.	Transductor

2.5. PARAMETROS DE TRABAJO EN CONJUNTO

Tras ampliación del horno, el caudal total del gas de escape ascendió a 510,000 m³/hr de los cuales 255,000 m³/hr pasarán al filtro 3 y 255,000 m³/hr a los filtros 1 y 2. Estos quedarán aliviados en relación a su caudal de diseño.

Después de haber reparado los daños encontrados en los filtros 1 y 2, se podrá partir de una emisión media total de ambos ramos de depuración de aprox. 600mg/m³ en servicio conjunto en Mill On.

Trabajaran en conjunto desempolvado, los gases-polvo, bajo las siguientes condiciones:

Servicio directo: Mill Off

Caudal de gas (norm., Húmedo)	:	150,000 m ³ /hr
Caudal de gas (ef.)	:	562,000 m ³ /hr
Temperatura del gas	:	356°C
Presión del gas (abs.)	:	624 hPa
Temperatura del punto de rocío de agua	:	45°C
Carga de polvo en el gas bruto	:	30 g/m ³

Servicio conjunto: Mill On

Caudal de gas (ef.)	:	510,000 m ³ /hr
Temperatura del gas	:	90°C
Temperatura del punto de rocío de agua	:	60°C
Carga de polvo en el gas bruto	:	30 mg/m ³

2.6. INFORME DE INSPECCION DE LOS ELECTROFILTROS

Para mejorar la captación de los electrofiltros, es necesario conocer el estado en que se encuentran, los cuales después de diversas inspecciones realizadas por diferentes especialistas, se encuentran en las siguientes condiciones:

2.6.1. INFORME DE INSPECCIÓN DEL FILTRO N° 1.

La capa de polvo sobre los electrodos de ionización de ambos campos tenía un espesor de aproximadamente 1 mm. La capa de polvo en los electrodos de ionización en el primer campo (alambre de púas) cubría las púas. Los depósitos en el segundo campo alcanzaron 1 - 2 mm.

El sistema de sacudido que golpea los electrodos de ionización no alcanza los yunques de los alambres del primer campo.

Una chapa perforada de la pared de distribución de gas se había deformado a causa de las altas temperaturas, disminuyendo de esta forma la distancia hacia el sistema de ionización.

En la entrada al segundo campo en el lado izquierdo faltó la chapa deflector de gas entre la pared del filtro y la última tira del electrodo de precipitación. En el segundo campo se midió una distancia mínima de ionización de 70 mm.

Alrededor del registro de inspección entre el primer y segundo campo se observó una corrosión más pronunciada a lo normal debido a la filtración de aire.

2.6.2. INFORME DE INSPECCIÓN DEL FILTRO N° 2.

Las capas de polvo encontradas en los electrodos de precipitación eran finas de 1 mm. Los electrodos de ionización del primer campo tenían depósitos de polvo de 2 - 3 mm. Y los del segundo campo tenían depósitos de aproximadamente 1 mm. Por lo que se podrían describir como limpios en comparación con los demás. En la salida del primer campo alambres adyacentes se encontraban enganchados, probablemente debido al efecto del flujo de gas. Debido a ello la distancia de ionización resultó en 10 mm. La distancia de ionización mínima en el segundo campo ascendió a 70 mm. Faltaba la chapa deflectora inferior y la mitad de la chapa deflectora lateral en la entrada

al segundo campo. En la parte inferior derecha del segundo campo faltaban varios metros cuadrados de las placas de precipitación debido a la corrosión.

Calculo de la velocidad media de migración.

- Caudal de gas en entrada al filtro:

$$V_f = 41.67 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Carga de polvo en el gas bruto (cf.):

$$C_R = 60 \text{ g/m}^3$$

- Carga de polvo en el gas depurado (ef.):

$$C_r = 0.3 \text{ g/m}^3$$

- Superficie proyectada de precipitación:

$$A_f = 2841.88 \text{ m}^2$$

$$f = \frac{A_f}{V_f} = \frac{2841.88}{41.67} = 68.2 \frac{\text{s}}{\text{m}}$$

- Superficie específica de precipitación (f):

$$W = \frac{100 \cdot \ln(C_R/C_r)}{f}$$

- Velocidad de migración:

$$w = 7.77 \text{ cm/seg}$$

Si se parte otra vez de un valor “w” de 10 - 11 cm/s, con una anchura de pasaje de 300 mm, se debería llegar a un valor “w” entre 8.7 y 9.5 cm/s. El resultado arriba demuestra que fue dimensionado ampliamente el valor “w” para alcanzar un contenido de polvo en el gas depurado de 300 mg/m^3 (p,t,f) en servicio conjunto o Mill On.

2.6.3. INFORME DE INSPECCIÓN DEL FILTRO N° 3.

Fue dimensionado para un contenido de polvo residual en el gas limpio de 150 mg/m^3 (p, t, f), lo que referido al caudal de gas normalizado da unos 400 mg/m^3 . El 40 % de los electrodos de descarga se encontraban

rotos, las pesas fuera de lugar. El sistema de golpeadores de placas, con sus martillos, reductores, en buen estado pero la estructura y apoyos del eje totalmente desgastados. En el sistema de sacudido de los electrodos de descarga, se encontró los componentes del mecanismo de golpeteo, bien desgastados y corroidos. Las placas recolectoras estaban cubiertas con polvo hasta 2 mm de espesor. Los aisladores de porcelana rotos. El sistema de energización en buen estado.

2.7. RESUMEN DE REQUERIMIENTOS DE FILTROS.

Terminado el trabajo de inspección y análisis de los electrofiltros se identificó todas las variables del problema y se tomó la decisión de repararlos completamente antes de instalar la torre de enfriamiento. La repotenciación de estos electrofiltros implica cambiar las siguientes partes, con repuestos nuevos:

- Alambres de púas y alambres lisos.
- Pesos de tensado de alambres.
- Estructuras de electrodos recolectores.
- Sistemas anti-oscilación eléctrica.
- Soportes y aisladores pasamuros.
- Placas recolectoras de acero.
- Estructuras y accesorios de las placas recolectoras.
- Marcos de las placas recolectoras.
- Aisladores de las placas recolectoras.
- Instalación de medidores SQ-300 AVC's.
- SCR en reemplazo de reactores.
- Cabinas de control de línea.
- Reactor de control de corriente.
- Planchas de admisión perforadas.
- Modificación de planchas perforadas existentes.
- Modificación de planchas de salida.
- Cambio de compuertas de ingreso de flujo.

- Válvulas rotativas selladoras de 10 pulg.
- Limpiadores acústicos AH-15s.

2.8. LA CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE.

En todo el mundo el cemento, es la industria básica, esencial para el desarrollo humano y constituye la materia prima de la actividad productiva de la construcción. Con el paso de los años el desarrollo tecnológico de las fabricas de cemento es impresionante, en la actualidad existen fabricas gigantescas que producen hasta 10,000 Tm/día, debido a esta producción se ha generado en el proceso un incremento gigantesco en el volumen de los gases a desempolvar.

Toda planta de cemento produce emisiones de partículas y gases (NO_x y SO_2). Estas emisiones están controladas por limites establecidos en el ámbito internacional, con el objeto de preservar el ambiente. No obstante que las partículas finas o polvo producido en el proceso productivo, son no-toxico, no-inflamable y no-corrosivo, pero si constituyen una molestia a la normal realización de nuestras actividades y por lo que se requiere bastante esfuerzo para minimizar su impacto en el ambiente. Este impacto en el medio ambiente es localizado, comprendido en un radio máximo de 10 km alrededor de la instalación. Las normas vigentes en diversos países, han sido prescritas con el objetivo de controlar la polución del aire local y alrededores. En todas las fabricas del mundo se a tomado la iniciativa de alcanzar el control de polución y se a comprendido que la emisión de partículas afecta la productividad.

2.8.1. NORMAS REGULADORAS.

La mayoría de países del mundo a excepción del Perú, tienen legislaciones ya promulgadas para limitar la contaminación atmosférica. Las normas sobre el control del aire, en la mayoría de países, se clasifican en dos grupos.

a. Emisiones por chimenea.

Los niveles de contaminación de polvo (partículas) en muchos países se cuantifican por diversos parámetros como: capacidad, antigüedad, proceso y ubicación de la planta. Los límites de emisión por chimeneas vigentes en algunos países se muestra en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Límites de emisión por chimeneas extranjeras.

Fuente: ASOCEM

PAIS	LIMITES DE EMISION (mg/Nm ³)
ALEMANIA	50
AUSTRIA	50
JAPON	50
PORTUGAL	50
SUIZA	50
ESTADOS UNIDOS	70
ARABIA SAUDITA	70
UK	100
SUDAFRICA	120

SUECIA	150
FRANCIA	150
CANADA	200

b. Estándares de calidad de aire ambiental.

Las normas de calidad estándar de aire ambiental (AAQ) no se refieren a ninguna industria en particular. Esta norma estipula que la concentración de contaminantes para un área particular en el medio ambiente no deberá exceder un límite establecido. Los estándares son para las emisiones gaseosas y las partículas suspendidas en el ambiente (SPM). La tabla 1.3 presenta las normas en la India.

Tabla 2.6 Estándares de Calidad de Aire Ambiental en la India.
FUENTE: ASOCEM

CATEGORIA DEL AREA	ESTANDARES ($\mu\text{m} / \text{m}^3$)			
	SPM	SO ₂	NO _x	CO
Industria/Diversa	500	120	120	5000
Residencial/Rural	200	80	80	2000
Sensitiva	100	30	30	1000

2.8.2. EL PROGRAMA DE ADECUACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL

El PAMA es un conjunto de normas que se establecen de acuerdo a las leyes promulgadas por el Ministerio de Energía y Minas y el Ministerio de Industria, Turismo y Negociaciones Comerciales Internacionales (MITINCI).

El PAMA ó Programa de Adecuación y Manejo Ambiental, es un estudio técnico que todas las empresas minera e industriales en operación, están obligadas a presentar. Este estudio trata sobre el desarrollo de los aspectos de seguridad e higiene ambiental, que se deben cumplir, mediante normas específicas con el objeto de proteger el medio ambiente. Este estudio está sujeto a la aprobación o desaprobación de la autoridad competente para que una operación pueda continuar en marcha, ó para el caso de un proyecto nuevo, para que este pueda ser autorizado a su ejecución el estudio equivalente a desarrollar es el EIA ó Estudio de Impacto Ambiental.

Marco legal del pama.

En el anexo n° 1 se presenta una relación secuencial de las normas ambientales vigentes que son relevantes para el ejercicio de la actividad minera e industrial. Cemento Andino, por tener actividad minero industrial enfoca el problema de emisiones, en el sector Industria, regido por normas promulgadas por el MITINCI.

Normas de control de emisiones.

De conformidad con el Decreto Supremo N° 019-97- MITINCI, “Reglamento de protección ambiental, para el desarrollo de actividades de la industria manufacturera” las empresas minero-industriales del Perú tienen las siguientes obligaciones en lo concerniente al mejoramiento de la calidad de aire:

- a. La empresa deberá implementar y poner en operación un programa de monitoreo de las inmisiones o la calidad del aire en

cada foco emisor, con dos mediciones, una a barlovento y la otra sotavento y contrastar estos valores.

- b. La empresa deberá presentar informes sobre el programa de monitoreo en un informe de Diagnostico Ambiental Preliminar (DAP), que es un equivalente a la Evaluación Ambiental Preliminar (EVAP), realizada antes del PAMA. Después de la evaluación personalizada de cada DAP, presentado por las diversas empresas industriales, recién el MITINCI establecerá y aprobará los patrones ambientales.

Monitoreo de polución del aire.

Las partículas diámetro mayor a 10 micras, denominadas Partículas en Suspensión Total (TSP) tienen mucha importancia, debido a su impacto en la visibilidad, al daño a la vegetación y al suelo. Se ha demostrado que las partículas más pequeñas, con un diámetro menor o igual a 10 micrones (PM_{10}) son dañinas para la salud, debido a que, estas partículas en este rango de tamaño ingresan y permanecen en los pulmones. Dado que, hasta la fecha, el Perú no ha promulgado estándares para agentes contaminantes específicos y debido a que las mediciones de PM_{10} son mucho más difíciles y costosas que las de TSP, la ley exige a las empresas como mínimo el monitoreo TSP, debido a que el control de estas partículas es beneficioso para la salud y el bienestar de las personas.

CAPITULO III

TECNOLOGIA DE LA DESEMPOLVADURA

3.1. DESCRIPCION DEL PROCESO DE DESEMPOLVADURA.

En la industria del cemento, el producto final y los intermedios generan polvo, La producción de polvo es una inevitable secuela que acompaña al proceso de trituración y de manipulación tecnológica de los componentes del cemento. En el presente estudio se intenta incrementar la eficiencia de captación de los electrofiltros, del sistema formado por el horno nº 3 y el molino de crudo nº 2.

Para impedir que el polvo pase al ambiente, las máquinas y demás dispositivos funcionales de las fábricas trabajan a depresión lo que hace necesario la manipulación y limpieza de masas o volúmenes importantes de aire.

El polvo de gas residual representa una mezcla de crudo. La composición del polvo de gas residual está determinada, por el tamaño de las partículas que los gases pueden arrastrar. Al utilizar carbón como combustible, parte de sus cenizas se incorporan a los gases residuales (entre 35 – 40 %) y los gases los transportan y aparecen en el polvo de los gases residuales.

Para nuestro sistema analizado, la generación de polvo se realiza en las diferentes etapas de trituración del material crudo y en la precalcinación en los intercambiadores de calor del horno, todo este material es transportado por el aire aspirado por los ventiladores a los filtros electrostáticos, donde se separa el polvo y se libera al ambiente la menor masa de polvo posible.

3.2. PRINCIPAL AGENTE CONTAMINANTE: EL POLVO.

En la industria del cemento son varios los agentes ambientales de riesgo contaminante, que se presentan a lo largo del proceso productivo, los más importantes son: el polvo, el ruido y el calor radiante.

El polvo es sin embargo el principal de estos, y en el campo de los contaminantes químicos industriales ocupa un lugar destacado (ver anexo n° 3), debido a los efectos que puede tener sobre la salud de las personas.

3.2.1. CLASIFICACION.

El polvo industrial en general se puede clasificar en función del: tamaño, forma, composición y efectos.

3.2.1.1. CLASIFICACION POR TAMAÑO.

Respirable: Con tamaño inferior a 5 micras, pueden penetrar en los pulmones.

Inhalable: Con tamaño menor a 10 micras puede penetrar al sistema respiratorio, no ingresarán a los pulmones.

Visible: Es mayor a 40 micras, se puede distinguir a simple vista y detrás de un haz luminoso.

Sedimentable: Con tamaños entre 10 y 150 micras, debido a su peso se depositan rápidamente.

3.2.1.2. CLASIFICACION POR SU FORMA:

Polvo: Partículas sólidas en suspensión que no sean fibras.

Fibras: Se llaman fibras a las partículas mayores a 5 micras de longitud, con un diámetro de sección transversal menor de 5 micras y una relación longitudinal-anchura mayor de 3.

3.2.1.3. CLASIFICACION POR SU COMPOSICION:

Animal: Por ejemplo plumas, pelos, cueros, etc.

Vegetal: Ejemplo polen, cereales, paja, tabaco y algodón.

Mineral: Ejemplo metales, no metálicos, etc.

3.2.1.4. CLASIFICACION POR SUS EFECTOS:

Polvo tóxico: Tiene una acción tóxica primaria en el organismo, por ejemplo: óxido de plomo, que produce saturnismo.

Polvo inerte: No produce alteraciones fisiológicas importantes. Su efecto más importante es la producción de molestias en el trabajo.

3.3. PROPIEDADES FISICAS DE LAS PARTICULAS DE POLVO.

El comportamiento de las partículas en el aire y en el cuerpo humano depende de las propiedades físicas y químicas que tengan. El tamaño y la forma de las partículas son de máxima importancia como factores que influyen no solo en la velocidad con que ellas se depositan y por ende en el tiempo de permanencia en el aire, sino también en su penetración y acumulación en el sistema respiratorio. Los efectos nocivos de las partículas dependen de la composición química, mineralógica, la solubilidad y la actividad biológica de estas.

3.3.1. TAMAÑO DE LAS PARTICULAS.

Es la característica física más importante del material en suspensión. El tamaño de las partículas suele definirse por su diámetro, a menos que se conozca la forma geométrica, en cuyo caso pueden indicarse la longitud y la anchura. Para las partículas esféricas, el diámetro será un índice específico del tamaño, pero para las no esféricas es preciso adoptar algún índice convencional; los más frecuentes expresan:

- Volumen de la partícula en términos de esfera.
- Masa de la partícula en términos de esfera.
- Velocidad de sedimentación de la partícula en términos correspondientes a una esfera.
- El diámetro de la partícula como dimensión de la superficie proyectada tal como se ve al microscopio.

El concepto más utilizado para definir el tamaño de las partículas en evaluaciones de la higiene industrial se deriva de la velocidad de caída de la partícula en aire en reposo. Cuando la partícula deja de estar en reposo y cae libremente, queda sujeta a la fuerza de la gravedad que la atrae hacia abajo y a la resistencia, aerodinámica opuesta de la atmósfera. Se llega al equilibrio entre ambas fuerzas y la partícula desciende con una velocidad constante conocida como velocidad terminal de sedimentación. Actualmente el método preferido para expresar el tamaño de las partículas es el diámetro aerodinámico equivalente, por estar más relacionado con la capacidad de las

partículas a penetrar en el aparato respiratorio y con la probabilidad de depósito en él. Son de interés para la higiene industrial, las partículas de un diámetro inferior a 10 micras, denominadas partículas inhalables.

3.3.2. RELACION ENTRE LA FORMA Y EL ASPECTO.

El tamaño de las partículas por sí solo no es suficiente para determinar todas las consecuencias biológicas de inhalar las partículas que están suspendidas en el aire, también influye el efecto producido por las propiedades físicas como la forma, la porosidad y la aspereza. La forma de la partícula depende de la naturaleza del material de que proceden y de la manera en que se han formado.

Tabla 3.1 Formas típicas de las partículas de diferentes tipos de material.

Fuente: OMS – 1984

FORMA	EJEMPLO DE PARTÍCULAS
Esfera	Negro de carbón, óxido de hierro, polvillo de cenizas.
Copo	Mica, té, tabaco.
Fibra	Asbesto, algodón, lana mineral, fibra de vidrio, polen.
Prisma	Cuarzo, hierro

3.3.3. SUPERFICIE Y VOLUMEN.

La forma de la partícula determina la relación entre su superficie y su volumen. Cuanto más se aleje de la forma esférica mayor superficie

tendrá con relación al volumen esto influye sobre todo en su velocidad de caída y tiene gran importancia biológica.

3.3.4. SOLUBILIDAD.

En un medio acuoso o en lípidos tiene una gran importancia biológica por influir en la velocidad de reabsorción en el organismo.

En el caso de sustancias irritantes o susceptibles de producir intoxicación sistemática puede ser importante la velocidad a que se disuelven en el organismo, que disminuye, por otra parte, cuando se trata de partículas insolubles.

3.4. CAPTACION DE PARTÍCULAS POR EL APARATO RESPIRATORIO.

3.4.1. PENETRACIÓN.

Las partículas pueden penetrar en el organismo humano por el sistema respiratorio, causando efectos locales en los pulmones y otras partes del sistema (p.e irritación de las vías respiratorias superiores). Las sustancias muy solubles pueden ser absorbidas por cualquier región de las vías respiratorias; en ese caso el lugar en que se depositen es de

menor importancia por los efectos sistemáticos. Si se trata de partículas insolubles tiene importancia fundamental el lugar de depósito en el sistema respiratorio. Este lugar depende de las propiedades aerodinámicas de las partículas, su forma, las dimensiones de los conductos y las características de la respiración.

3.4.2. DEPÓSITO.

Los 3 mecanismos por los que las partículas se depositan en el sistema respiratorio son: Sedimentación, impactación por inercia, interceptación,

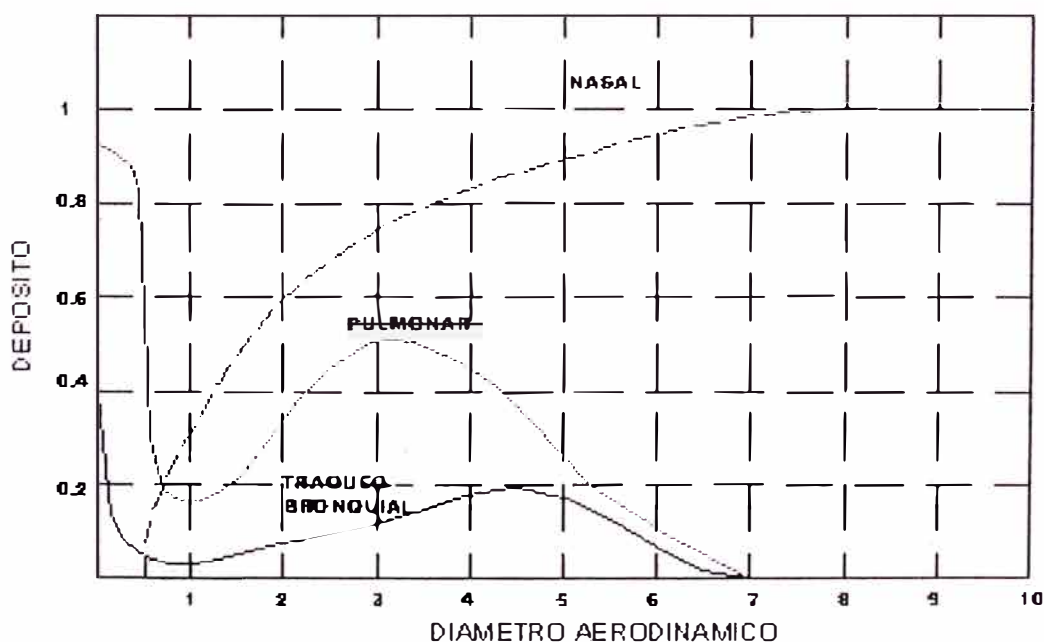


Figura 3.1 Depósito en el aparato respiratorio en función del tamaño de las partículas en 15 respiraciones por minuto. (Volumen de aire por respiración = 1450 ml).

3.4.2.1. SEDIMENTACIÓN.

La deposición es proporcional a la velocidad de las partículas en caída libre (es decir, proporcional al cuadrado del diámetro aerodinámico) y al tiempo disponible para la deposición.

3.4.2.2. IMPACTACIÓN POR INERCIA.

Debido a la tendencia de las partículas a seguir avanzando en línea recta, cuando cambia la dirección de la corriente aérea. Este mecanismo la deposición es proporcional a la velocidad de las partículas en caída libre y a la velocidad del aire.

3.4.2.3. INTERCEPTACIÓN.

Se produce cuando las dimensiones geométricas de una parte transportada por corriente de aire impide superar el obstáculo.

3.5. EFFECTOS EN LA SALUD POR EXPOSICIÓN AL POLVO.

El material descargado al ambiente por las chimeneas, está compuesto de diversos elementos (ver tabla 3.2) y de acuerdo a la clasificación anterior es:

- Por su tamaño es sedimentable, visible, inhalable y respirable.
- Por su forma es polvo.
- Por su composición es mineral, no metálico.

Por sus efectos, es polvo inerte. En la industria del cemento, la exposición al polvo generalmente no es tóxica, debido a que los contenidos de compuestos químicamente puros son difíciles de encontrar, el polvo siempre se encuentra asociado con diferentes elementos y compuestos en forma natural. La siguiente tabla muestra las características del polvo que ingresa a los electrofiltros.

Tabla 3.2 Composición química del crudo y del polvo del horno rotatorio.
Fuente: Cemento Andino S.A.

Componente	Molino Crudo %	Horno – Gas Residual %
Pérdida al rojo	35.43	23.95
SiO ₂	11.39	15.90
Al ₂ O ₃	5.31	3.78
Fe ₂ O ₃	1.81	2.58
CaO	43.52	34.40
MgO	0.98	0.78
SO ₃	0.72	7.74
Na ₂ O	0.09	0.41
K ₂ O	1.25	11.06

Los siguientes son datos representativos de las diversas mediciones realizadas en fábrica, mediante el método de sedimentación usando la pipeta de Andreasen.

Tabla 3.3 Análisis granulométrico del polvo de chimenea antes de ingresar a electrofiltros.
Fuente: Cemento Andino S.A.

D2 (µm)	H	t	W	% R.A.
50	20	0''	0.6001	100
45	19.6	101''	0.3358	44.0
30	19.2	3' 43''	0.3263	45.6
15	18.8	14' 36''	0.0806	86.6
10	18.4	32' 08''	0.0617	89.7
5	18.0	2h 05' 46''	0.0587	90.2
4	17.6	3h 12' 13''	0.0575	90.4
2	17.2	12h 30' 04''	0.0800	93.7

Tabla 3.4 Análisis granulométrico del polvo de chimenea a la salida de electrofiltros.
Fuente: Cemento Andino S.A.

D2	H	T	W	% R.A.
50	20	0''	0.4286	100
45	19.6	101''	0.3443	19.7
30	19.2	3' 43''	0.3388	21.0
15	18.8	14' 36''	0.0686	84.0
10	18.4	32' 08''	0.0601	86.0
5	18.0	2h 05' 46''	0.0590	86.2
4	17.6	3h 12' 13''	0.0589	86.3
2	17.2	12h 30' 04''	0.0400	90.6

3.6. TIPOS DE DESEMPOLVADORES.

En la fabricación del cemento portland el factor más importante de emisión son las partículas sólidas, denominadas como polvo. Para cumplir con las normas establecidas por Ministerio para el control de emisiones, a veces es menester combinar los distintos tipos de desempolvadores, según parámetros de proceso. Los desempolvadores se valoran según su rendimiento. Es decir la relación, en porcentaje, de la cantidad de polvo que recoge, y la recibida por este, por tanto si en un desempolvador se recogen 95 gr. de polvo por cada 100 gr. que entran, el rendimiento es 95 %. Los factores que ayudan a compararlos son:

- Concentración o carga de salida
- Humedad de entrada
- Temperatura de entrada
- Tipo de partículas (polvo) recolectado
- Concentración del polvo de entrada

- Volumen de entrada
- Pérdida de presión.

En la Tabla 3.5 muestra un cuadro con equipos de filtraje y sus respectivos rangos de aplicación según el tamaño de partículas con las que trabaja. Donde se puede notar, el gran rango de utilización de los filtros electrostáticos.

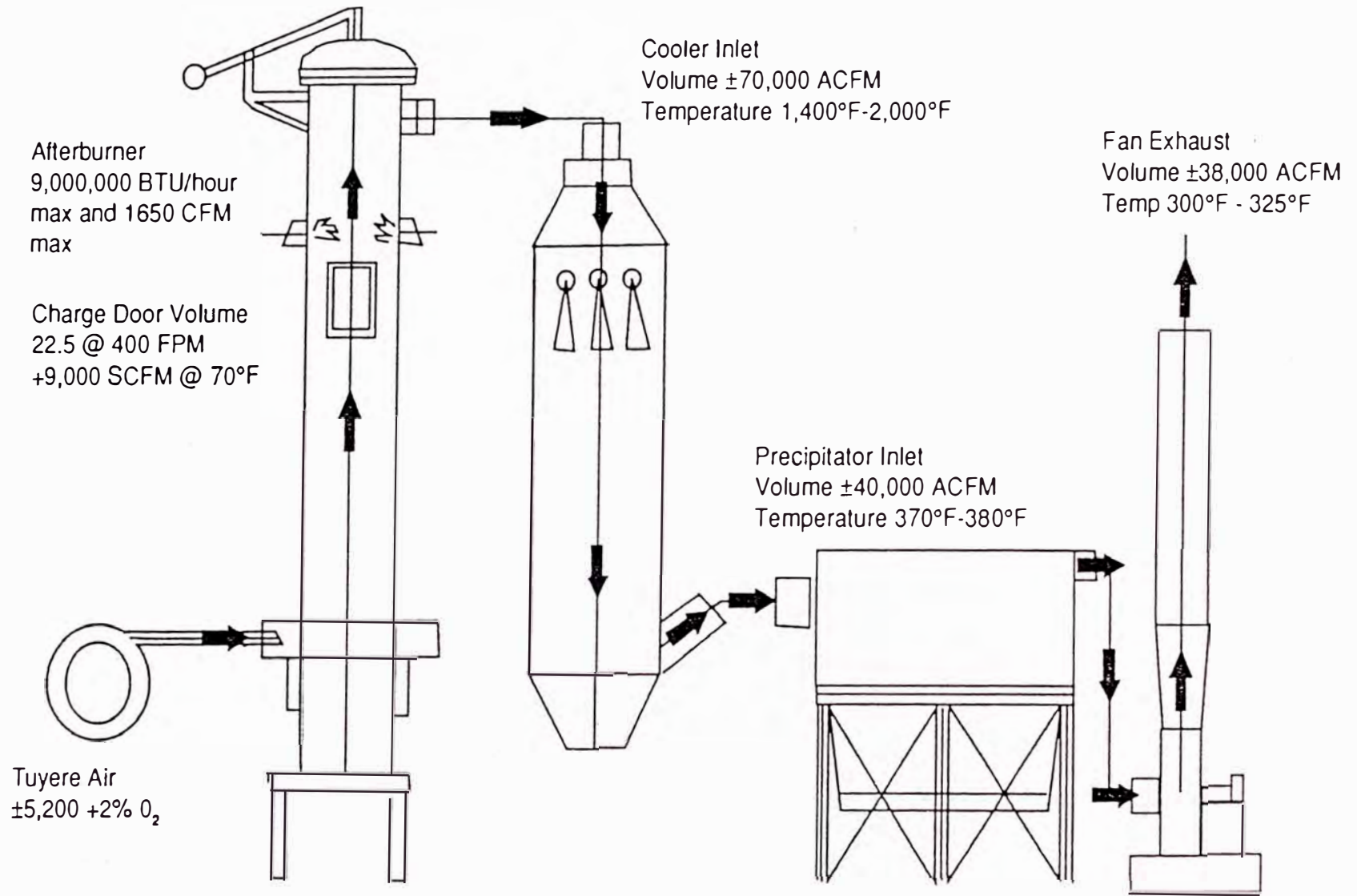
Tabla 3.5 Características de los diferentes tipos de filtros

FUENTE: ASOCEM

CARACTERÍSTICAS	FILTRO DE MANGAS	CICLON COLECTOR	FILTRO ELECTROSTATICO
Principio de funcionamiento	Aspiración y estancamiento en mangas	Efecto de centrifugación y gravedad	Atracción de partículas cargadas Por fuerzas electrostáticas.
Temperatura del Polvo (°C)	De 100 a 285 °C	Hasta 875 °C, utilizando Material refractario	Hasta 400 °C, con Torre de Enfriamiento
Pérdida de presión (mmH ₂ O)	De 60 a 150 mm de Agua	De 130-180 mm H ₂ O	De 15 a 20 mm de Agua
Tamaño de las Partículas	Mayores de 1 micra.	Mayor a 20 micras	Mayor de 0.5 micras.
Eficiencia	99.95%	Entre 85% y 90 %	99.99%
Velocidad ó flujo	Aprox. 17 m ³ /seg	Aprox. 25 m ³ /Seg	Aprox. 1 m/Seg

3.6.1. CICLONES.

Son aparatos centrífugos, constan, de dos partes, una cilíndrica, la otra cónica. El gas entra por la parte alta del cuerpo cilíndrico, tangencialmente, y se mueve en espiral, a lo largo de la pared, hacia abajo, casi hasta la parte inferior del cono (torbellino exterior), desde aquí comienza a ocupar el espacio interno del ciclón, en donde se mueve hacia arriba y también en espiral (torbellino interior). La fuerza centrífuga hace que las partículas de polvo del gas se depositen sobre la



Cupola Emission Control System
Process Flow Diagram



pared del ciclón y tanto por la acción de la gravedad, como por la del torbellino exterior, se desplazan hacia abajo. La mayor parte de las partículas caen en un colector, de donde se extraen mediante una esclusa de sectores y un tornillo sin fin. El torbellino gaseoso que sube es el gas depurado que, sin embargo, todavía contiene cierta cantidad de finas partículas sólidas. El torbellino interior ocupa solo una parte pequeña de la sección cilíndrica, alrededor de este torbellino y a lo largo de su eje se establece la llamada zona neutra que si es amplia da lugar a que los gases tomen el polvo que arrastran consigo. De aquí se deduce que cuanto más largo es el camino que ha de seguir una partícula de polvo para alcanzar la capa límite, tantas menos partículas se depositaran en el ciclón. Por consiguiente, el rendimiento de un ciclón es inversamente proporcional a su diámetro. Los ciclones con 400, 600 y 3150 mm tienen rendimientos de 96.7%, 88.2% y 57.5%. Los ciclones pueden disponerse en conexión paralela para grandes caudales, como también en serie para el logro de altos grados de sedimentación de polvo o en combinación de series en paralelo para altos caudales y altos rendimientos. Los ciclones, con caudal muy alto, ofrecen un grado de desempolvado a los gases con alto contenido de polvo; suelen disponerse como separadores previos a los filtros de fibra de vidrio o electrostáticos. A la agrupación de varios ciclones pequeños de pequeño diámetro y poca capacidad (unos 25 m³/min.), se les denomina multiciclones. Que agrupados pueden procesar grandes caudales de gases. Estas son estructuras cerradas, dispuesta en

escalones, para distribuir la vena gaseosa en paralelo, con una toma de gases común y una cámara de descarga de polvo. Los multiciclones pueden albergar hasta 400 ciclones. El rendimiento de los multiciclones esta entre el 85-94% para partículas por encima de 15-20 μm de diámetro con una caída de presión de 130-180 mm de columna de agua.

3.6.2. FILTROS DE MANGAS DE TEJIDO DE VIDRIO.

Los filtros de mangas, son una agrupación de mangas con diámetros entre 100 y 300 mm y de una longitud de hasta 10 m fabricadas con tejido o fieltros de fibras de vidrio, naturales o sintéticas. Los filtros de mangas pueden retener partículas inferiores a 1 μm y obtener rendimientos del 99.95%. Según el material del tejido estos filtros pueden trabajar con gases a temperaturas incluso de 285 °C. Los gases con polvo pasan a través de un medio poroso el tejido del filtro y se depositan partículas en sus huccos. Cuando estos se han llenado comienza a formarse una capa de polvo, que constituye la parte más importante de la acción filtrante. Antes de formarse la capa de polvo en el filtro, el rendimiento del filtro es bajo. Si la capa es gruesa, la eficiencia aumenta, pero la pérdida de carga comienza a subir, lo que exige su limpieza. Según las propiedades del polvo y del tipo de tejido, se suelen emplear cuatro métodos para la limpieza del filtro, que son:

- Oscilación de las mangas.

- Inyección de aire en sentido inverso al de la separación del polvo.
- Presión pulsátil.
- Limpieza con ondas sonoras.

Para depurar los gases residuales del horno y del aire caliente de los enfriadores, se instalan desempolvadores de gran volumen, dotados con mangas de filtro fabricadas con fibras de vidrio. Estos desempolvadores, de gran tamaño, contienen desde 500 a 2500 mangas de tejido de vidrio de 10 m de longitud y 300 mm de diámetro. La carcasa de los filtros de tejido de vidrio esta dividida en cámaras de igual tamaño provista cada una de ellas de válvula de cierre para la vena de gases, así como de acceso del aire de limpieza de las mangas. Para la limpieza de los filtros de mangas con tejido de vidrio se acostumbra utilizar una combinación de aire de limpieza y de ondas sonoras. Un tubo colector conduce los gases calientes que arrastran polvo a las cámaras, desde las cuales, como gas depurado, se envían a la atmósfera. Los filtros de tejido de vidrio retienen, en la mayoría de los casos, del 99.90 - 99.96 % del polvo introducido en el tramo granulométrico del 10 % para tamaño menor que 10 μm y 90% para diámetro menor que 5 μm . Se fabrican filtros de tejido de vidrio tanto para depresión como para sobre presión.

3.7. PRINCIPIO TEÓRICO DE OPERACIÓN.

La teoría de operación, se basa en dos fenómenos físicos:

- La Ionización de partículas por bombardeo de electrones, entre dos electrodos sometidos a alta tensión (efecto corona).
- La fuerza de atracción, que se origina en una partícula cargada eléctricamente, cuando esta se encuentra dentro de un campo eléctrico intenso.

El filtro electrostático, tiene un arreglo interno, conformado por electrodos de recuperación (placas) ubicadas en paralelo, entre las cuales se encuentran, los electrodos de Ionización (alambres). A través de esta disposición cruza el flujo de gases-polvo (ver fig. 3.3). Sobre este arreglo, al aplicar una alta tensión continua (48-80 Kv.) entre ambos electrodos recolectores ó placas (polo positivo y tierra) y los electrodos de ionización ó alambres (polo negativo), se produce una emisión de electrones en los alambres (efecto corona), las que se adhieren a las moléculas de los gases que rodean al electrodo y se ionizan, estas a su vez ionizan a las partículas de polvo existentes en los gases.

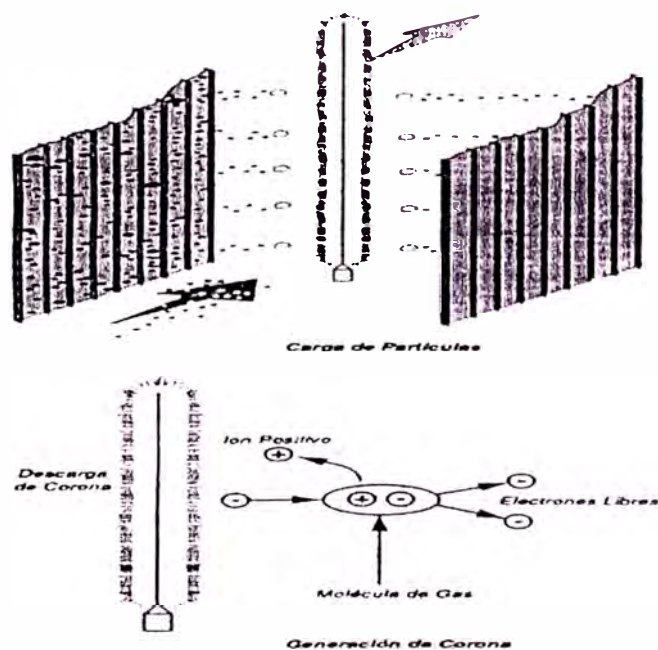


Figura 3.3 Carga de partículas y generación de corona.

Las moléculas de gases y las partículas de polvo una vez ionizadas negativamente, son atraídas hacia las placas, por acción de la fuerza eléctrica, donde se depositan y queda neutralizadas, después de un tiempo determinado de recolección, un sistema de golpeo realiza la evacuación del polvo recolectado en las placas, hacia las tolvas. El proceso completo de filtrado electrostático, consiste en cinco pasos básicos que se ejecutan de manera continua:

1. Distribución del gas a la zona de tratamiento.
2. Carga de partículas/descarga de corona (conducción de gas).
3. Captación del polvo en las placas de recolección.
4. Acumulación (aglomeración) del polvo.
5. Desalojo del material recolectado.

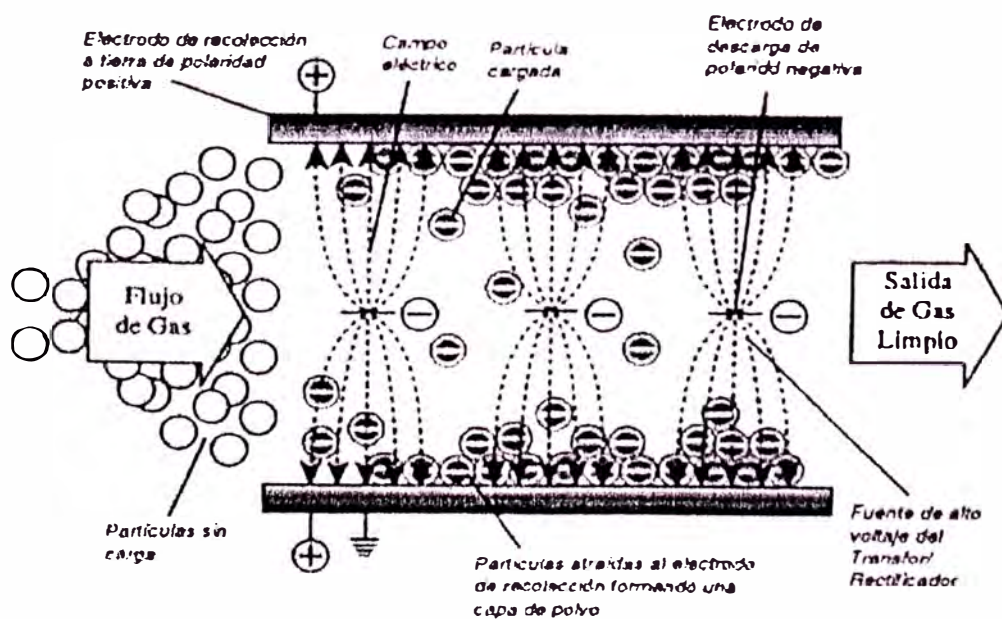


Figura 3.4 Principio de operación de un precipitador electrostático

3.7.1. IDEALIZACIÓN DEL PROCESO DE CAPTACIÓN DE POLVO.

La captación de polvo, se logra aprovechando el efecto corona, el cual es un fenómeno de descarga donde las moléculas gaseosas se ionizan por choques de electrones en la región de un fuerte campo eléctrico.

Cuando se someten los electrodos recolectores (placas) y los de descarga (alambres), a una alta tensión mayor a los 10 Kv., en las inmediaciones de electrodo de descarga, se crea una fuerte intensidad de campo eléctrico, que acelera los electrones libres presentes en el gas. Estos electrones adquieren suficiente velocidad para chocar y poder ionizar las moléculas de gas, produciendo un ion positivo y un electrón adicional libre.

Los electrones libres crean más iones positivos y electrones libres, según van chocando con otras moléculas de gas (proceso denominado multiplicación de avalancha) en la región de luminosidad de corona.

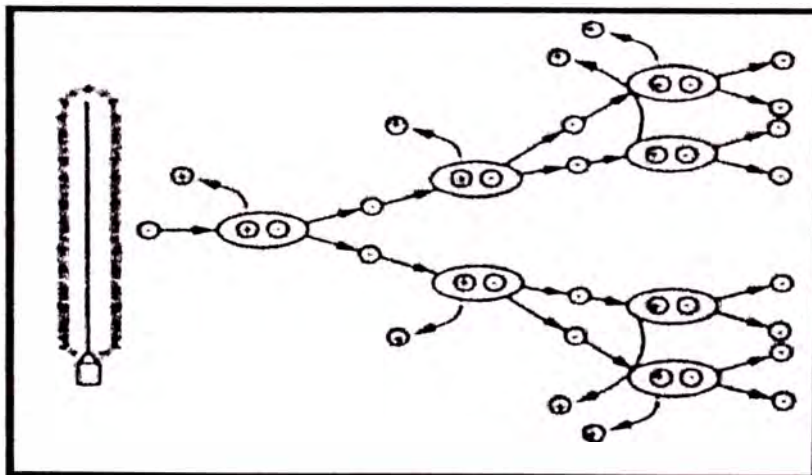


Figura 3.5 Multiplicación de avalancha.

Esta avalancha continua hasta que la fuerza del campo eléctrico disminuye hasta donde la energía para continuar con la ionización es insuficiente. Los lentos iones positivos emigran de regreso al electrodo de descarga y forman nuevos electrones libres (emisión secundaria) al chocar con los alambres. Los electrones en movimiento producidos durante el proceso de avalancha siguen las líneas eléctricas hacia los electrodos de recolección o placas, salen de la región de corona y entran a la región inter-eléctrica, aquí la intensidad del campo eléctrico disminuye, y la velocidad de estos electrones libres disminuye. Estos iones sirven como mecanismo principal para cargar el polvo y las moléculas de los gases_polvo. Convirtiéndolos en iones negativos, los cuales emigran hacia las placas de recolección (tierra o positivo). El espacio de carga que es una concentración estable de los iones negativos de gas, se forman en la región inter-eléctrica. La limitación del proceso lo establece las características de resistencia eléctrica del polvo. A incrementos en el voltaje aplicado aumentarán la fuerza del campo y formación de iones hasta que ocurra una descarga eléctrica o chispa. La chispa es una descarga eléctrica a través del gas entre los electrodos de descarga y de recolección. Causa una caída inmediata del campo eléctrico. El efecto corona, se presenta con tensiones alternas o continuas, para nuestra aplicación, como es necesario direccionar el flujo de cargas no se puede utilizar la corriente alterna. Para apreciar la variación de la tensión entre los electrodos de ionización (alambres) y los de recolección

(placas), se idealiza un sistema formado por un alambre concéntrico a un cilindro, donde se presentan 2 posibles casos.

3.7.2. ALAMBRE POSITIVO Y CILINDRO NEGATIVO.

Con intensidades de campo reducidas, los iones positivos (ver fig. 3.6) presentes en el espacio se desplazarán hacia el cilindro, y los electrones hacia el alambre. Al ir incrementando la tensión, comienza la ionización por choque en el espacio que circunda al alambre, y comienzan a aparecer iones positivos y negativos donde la intensidad de campo es máxima.

Debido a su menor velocidad, la concentración de iones positivos, en la zona de ionización por choque, es alta; pero al contrario los electrones por su mayor velocidad, acuden a descargarse rápidamente sobre el alambre. En el resto del campo la mayor concentración es de iones positivos. Por la curva 0, la distribución de la tensión cuando la ionización comienza, y las curvas 1 y 2, la misma distribución al elevarse la tensión.

A medida que aquel estado de ionización por choque progresa, se suaviza la fuerte caída de tensión en las inmediaciones del alambre, a causa del creciente número de cargas espaciales presentes, las cuales rodean al electrodo a manera de una funda de iones. La caída de tensión aumenta, por consiguiente, en las proximidades del cilindro.

CONFIGURACION ELECTRODO - CILINDRO

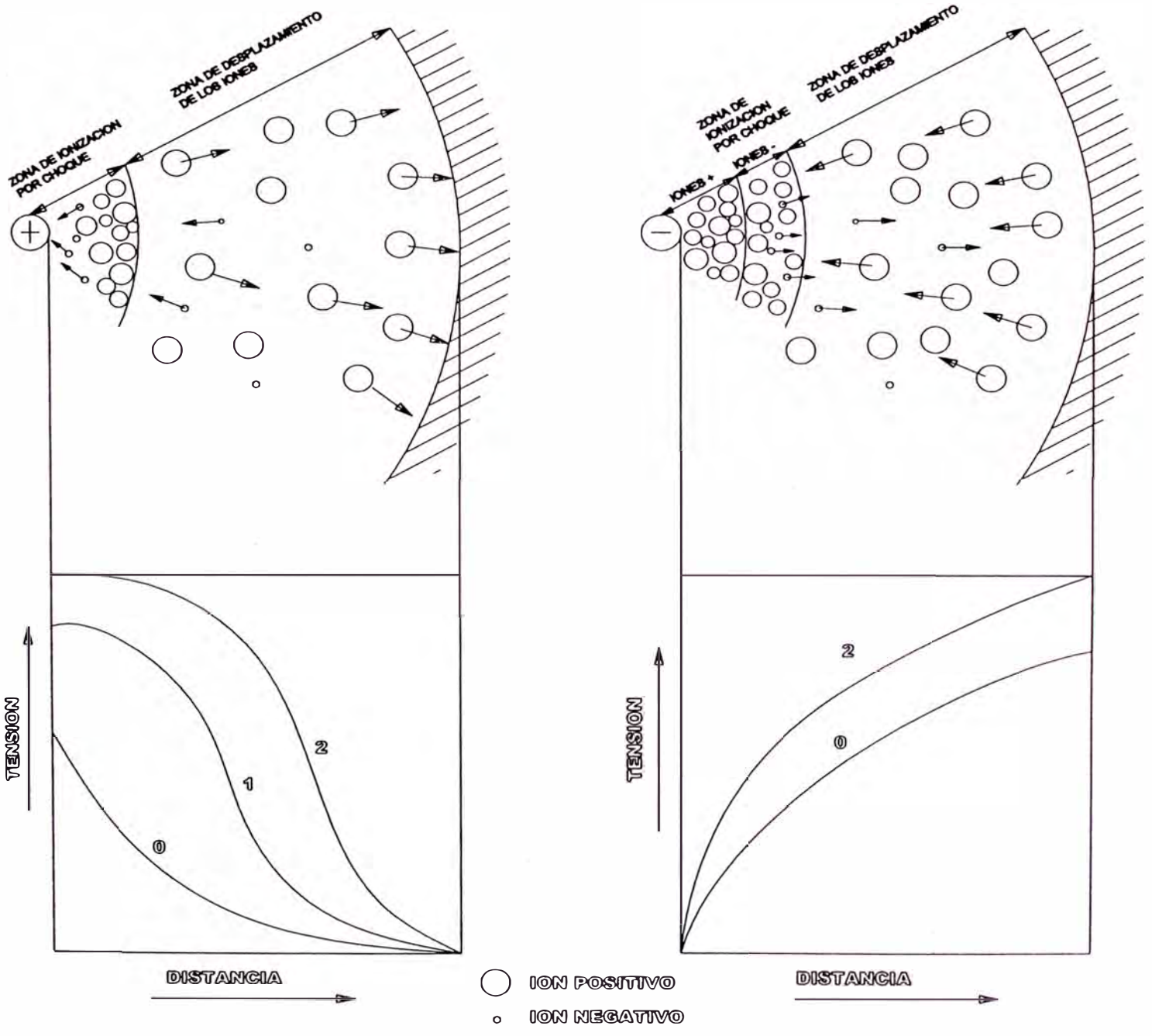


Fig. 3.6 Variación de la caída de tensión en una configuración electrodo-cilindro

3.7.3. ALAMBRE NEGATIVO Y CILINDRO POSITIVO.

Los electrones, que se encuentran en el campo más intenso alrededor del alambre (ver fig. 3.6), se convierten en agentes de ionización por choque. Los nuevos electrones así liberados se movilizan con gran velocidad, hacia el ánodo y a los iones positivos generados, permanecen más tiempo a lo largo del campo, comportándose como un ánodo artificial en las proximidades del cátodo, incrementando la caída de tensión alrededor del alambre. Los iones positivos próximos al campo intenso, pueden llegar a ser agentes de ionización por choque.

Por lo tanto, alrededor del alambre se producirá un incremento de la intensidad de campo.

Como consecuencia, la tensión de establecimiento de la “Multiplicación por avalancha”, es siempre menor cuando el alambre tiene polaridad negativa.

En la zona exterior al espacio ionizado, puede admitirse la presencia casi exclusiva de electrones e iones negativos, que se comportan como un electrodo artificial ocasionando con ello el aumento de la caída de tensión en las proximidades del ánodo en cuestión.

Las partículas de polvo tienen una constante dieléctrica, superior al del gas que lo contiene, provocando una distorsión de las líneas de fuerza, del campo alrededor de estas.

Los iones negativos que siguen el camino de las líneas de fuerza, alcanzan a las partículas y se unen debido a las fuerzas de atracción

molecular. La carga de una partícula produce una alteración del campo eléctrico.

La máxima carga que puede asociarse a cada partícula será siempre, un múltiplo de la carga elemental “e” ($e=1.6 \times 10^{-19}$ As). Según la naturaleza y el tamaño de las partículas el valor puede variar entre unas cuantas unidades y varios millones de veces la carga elemental “e”. La mayor carga posible, está expresada por la siguiente ecuación:

$$q = k \cdot E \cdot r^2 \dots \text{Amp} - \text{seg} \dots \dots \dots (2.1)$$

Donde:

q = Máxima carga posible.

k = Constante (As/cm²)/(kv./cm).

E = Intensidad de campo eléctrico en el lugar de la partícula (kv./cm).

r = Radio de la partícula (cm).

La magnitud “k” es función de la constante dieléctrica y la conductividad de la partícula, es del orden de 10^{-14} .

La carga es proporcional a la intensidad del campo eléctrico “E”, está disminuye rápidamente de su máximo valor, (alrededor del electrodo de ionización), con la distancia, no solo por razones geométricas, sino también por presencia de cargas espaciales positivas, y después decrece lentamente hasta el electrodo de descarga.

Para fines de estudio, las partículas se asumen como esferas de idéntica masa y volumen.

Debido a la carga incorporada en la partícula, se genera una fuerza “F”, en función de “E” y de “r”.

$$F(E, r) = 1.02 \times 10^4 q \cdot E \dots\dots\dots (2.2)$$

$$F = 1.02 \times 10^4 \cdot k \cdot E^2 \cdot r^2 \dots (Kg - F) \dots\dots\dots (2.3)$$

reemplazando el valor de “q” de la ecuación (2.1), obtenemos:

La partícula se mueve a velocidad constante en dirección al ánodo, bajo la influencia de esta fuerza “F” y de la fuerza “F_r” de rozamiento con el gas.

La fuerza de rozamiento en los flujos de gases está descrita por la ecuación de Stokes:

$$F_r = 6.12 \times 10^{-6} \cdot p \cdot n \cdot r \cdot w \cdot (Kg - F) \dots\dots\dots (2.4)$$

Donde:

n = Viscosidad dinámica del gas (Poises)

r = Radio de la partícula (cm)

w = Velocidad de migración de la partícula perpendicular a la dirección del flujo gaseoso (cm/seg.).

Debido a que las fuerzas “F” y “F_r” se equilibran se pueden igualar las ecuaciones (2.3) y (2.4), despejando “w” se obtiene:

$$w = 10^8 \cdot \frac{k \cdot E^2 \cdot r}{6 \cdot p \cdot n} \dots (m/ s) \dots\dots\dots (2.5)$$

De esta ecuación deducimos que la captación de una partícula será más rápida cuando mayor sea su velocidad normal a la corriente gaseosa.

Entonces para lograr buena eficiencia de captación, es necesario elevar al máximo la intensidad de campo eléctrico, es decir aplicar la máxima tensión posible entre los alambres y placas. Esta tensión, es ligeramente inferior a la tensión de ruptura, que es función de la naturaleza de los gases, su temperatura, concentración de polvo, composición entre otros. Según la ecuación (2.5) la velocidad “w” de las partículas es proporcional al radio “r”, por lo tanto el polvo grueso se separa con mayor facilidad que el fino. Pero también las partículas finas con radios inferiores a 10^{-4} cm, se encuentran favorecidas por los movimientos Brownianos de las moléculas quienes tienen energía cinética que depende de la temperatura. Esta energía les permite alcanzar a las partículas flotantes cargadas negativas y vencer la repulsión electrostática, de modo que, en realidad el valor máximo de carga de estas partículas finas es superior al calculado con la fórmula (2.1). El aumento de carga, repercute en un incremento de velocidad, lo que explica el notable efecto filtrante para partículas pequeñas.

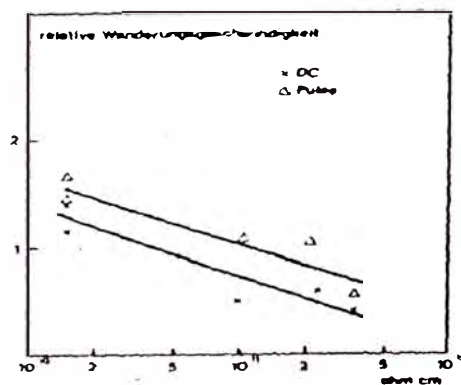


Bild 3: Relative Wanderungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Widerstand eines Kalkofenstaubes

Relative migration velocity versus resistivity of dust lime-burning process

Figura 3.7 Relative migration velocity versus resistivity of dust.

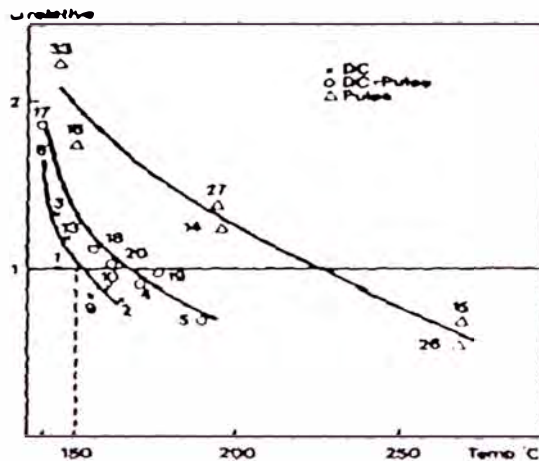


Abbildung 11: Relative Wanderungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Filtertemperatur

Relative migration velocity versus precipitator temperature

Figura 3.8 Relative migration velocity versus precipitator temperature.

3.7.4. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA.

La eficiencia del proceso de filtración electrostática, se describe con la ecuación desarrollada por Deutsch-Anderson, bajo condiciones ideales.

$$n = 1 - e^{-w \cdot A / Q} \dots \dots \dots (2.5)$$

Donde: n = Eficiencia de colección (grado de limpieza).

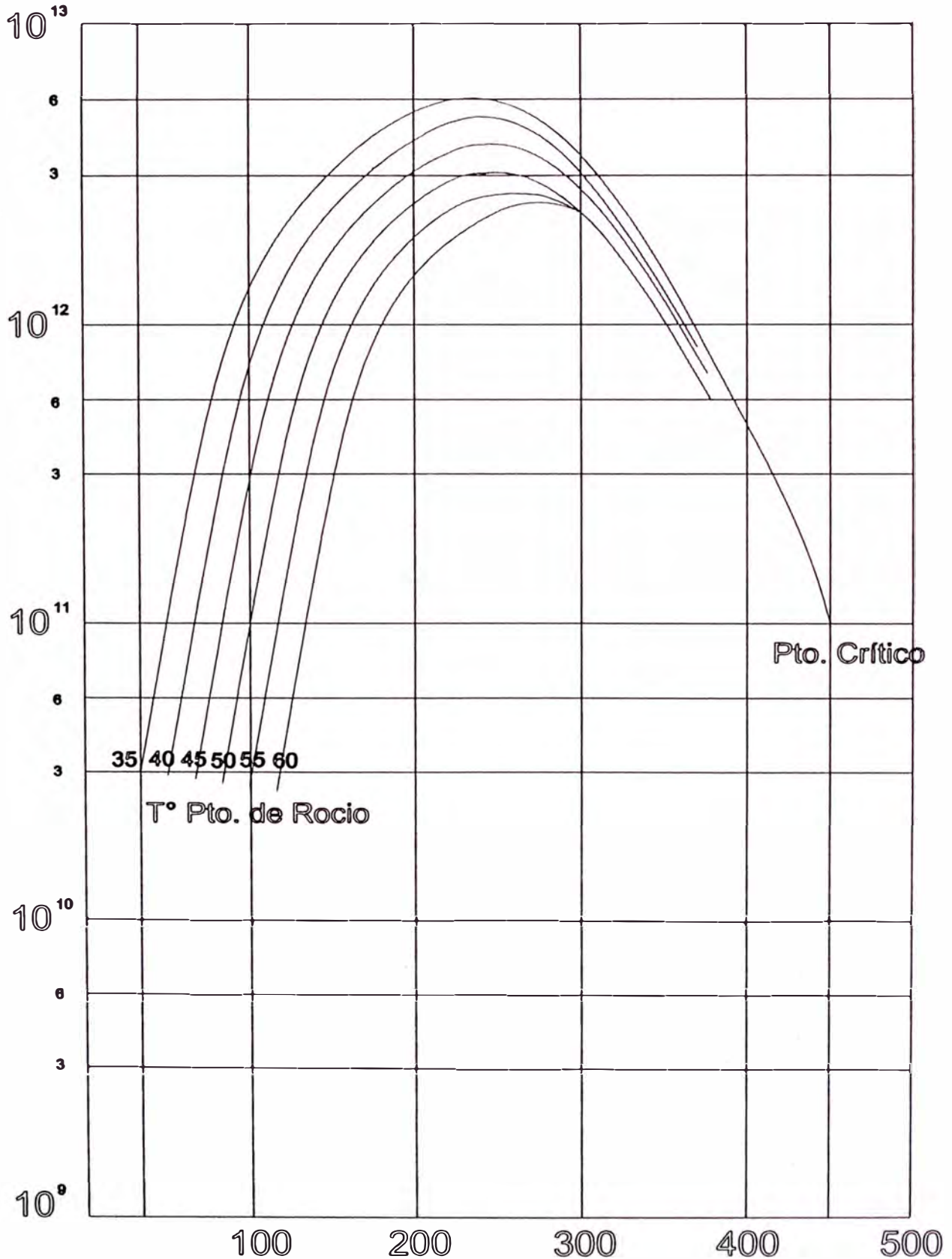
e = Base de logaritmo natural.

w = Velocidad de migración de las partículas (m/s)

A = Area de colección (m²).

Q = Caudal de gases-polvo (m³/s)

VARIACION DE LA RESISTIVIDAD DEL POLVO CON LA TEMPERATURA Y EL PUNTO DE ROCIO



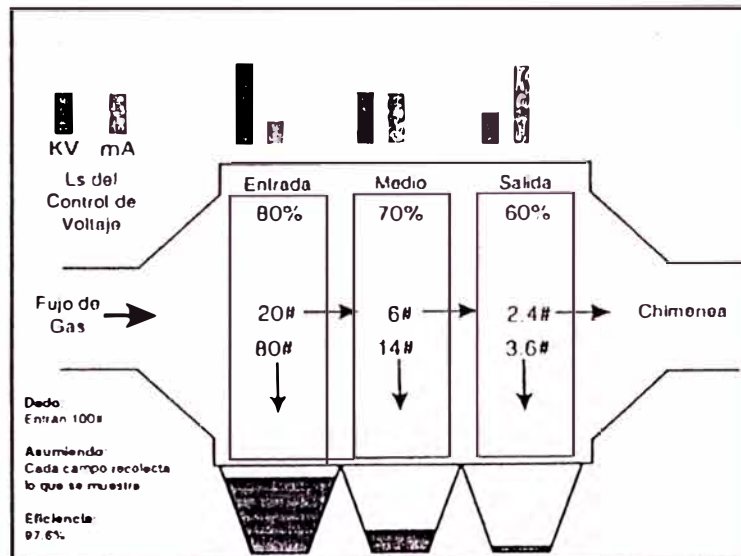


Figura 3.10 Porcentaje de recolección de polvo y niveles de voltaje.

El cociente A/Q representa el área específica de las placas de recuperación, para un diseño determinado (un filtro existente) el valor de "A" es constante y si las condiciones de operación son poco variables, el valor de "Q" varía en un determinado rango. Por lo tanto la eficiencia de un filtro electrostático es función directa de la velocidad de migración "w". La velocidad de migración "w" es función de muchas variables, algunas son: tamaño y propiedades de las partículas, la temperatura, la presión, composición y flujo del gas, intensidad de campo eléctrico, la corriente de ruptura, distribución del gas en el interior, reingreso de polvo, separación de electrodos, tamaño de las placas, y otras más. El valor de "w" es por consiguiente, muy complejo de calcular, esta puede considerarse como una característica del proceso, y su cálculo se realiza similar al cálculo del coeficiente de conductividad por convección, etc. La teoría clásica (ecuación 2.5),

permite calcular el movimiento de una partícula en particular, pero estas velocidades teóricas obtenidas, resultan considerablemente por encima del valor calculado de acuerdo con Deutsch. Por consiguiente, estas velocidades teóricas, no son adecuadas para el diseño del filtro.

Por lo tanto, aunque la ecuación es válida, no considera tres variables significativas en el proceso. Primero, ignora la reintroducción del polvo que pueda ocurrir durante el proceso de sacudido. Segundo, asume que el tamaño de la partícula y su velocidad de migración son uniformes para todo el flujo de gas. Tercero, asume que el flujo de gas es uniforme a lo largo del filtro y que no hay fuga de partículas por las tolvas.

Del análisis realizado en el párrafo anterior se concluye que: Cuando la empresa instaló los electrofiltros en los años 1964 y 1988, estos operaban con eficiencias cercanas al 99.8 %. Por lo que se concluye que: el factor modificador de la eficiencia de operación ha sido el incremento de la resistividad del polvo y la variación del punto de rocío de los gases-polvo como consecuencia del aumento de la temperatura de ingreso a los electrofiltros. De esta conclusión surge la hipótesis de “Disminuir la temperatura e incrementar la humedad de los gases-polvo, mejorara la eficiencia de captación de los filtros electrostaticos”.

3.7.4.1. LA RESISTIVIDAD DEL POLVO.

Es la resistencia eléctrica de un centímetro cúbico de polvo expresado en unidades de ohm/cm. La fig. 3.12 muestra la

relación de la ley de Ohm presente en la capa de polvo en la placa de recolección del filtro electrostático. La corriente corona fluye hacia tierra del electrodo de alto voltaje después de pasar por la acumulación de polvo depositada en la placa de recolección. Esta placa a tierra tiene potencial de voltaje igual a cero, mientras que la superficie de la capa de polvo (más cercana al alambre) aun con espesores de 6.4 mm puede crear una caída de voltaje. La caída de voltaje es proporcional a la magnitud de la corriente de corona y a la resistencia eléctrica de la capa de polvo. La caída máxima de voltaje que una capa del polvo puede soportar sin rompimiento se define por la fuerza dieléctrica del polvo, y es típicamente de 15 a 20 Kv. Si se excede este valor, ocurre el rompimiento de la capa de polvo, resultando en la formación de corona invertida o la propagación de chispas a través del espacio entre electrodos.

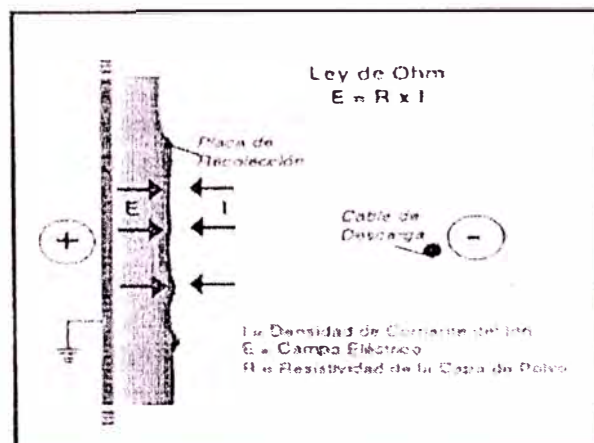


Figura 3.11 Relación de la Ley de Ohm en la capa de polvo.

3.7.4.2. CORONA INVERTIDA.

La corona invertida se puede explicar como el tener dos fuentes de generación de corona en el filtro. La primera es los cables de alto voltaje y la segunda es la capa de polvo, creando un rompimiento eléctrico en la placa. Este rompimiento genera iones positivos, eliminando la carga negativa producida por los cables de alto voltaje. Las partículas de polvo se neutralizan con cargas opuestas. Esto ocasiona una pérdida de eficiencia de recolección asociada con la alta resistividad del polvo. El rompimiento de la capa de polvo puede ocurrir de dos formas, primero, si el flujo de corriente en el circuito es excesivamente alto o si la resistividad de la capa de polvo es alta (es más frecuente). Este fenómeno limita la corriente de corona, voltaje y potencia útil del filtro.

3.7.4.3. BAJA RESITIVIDAD.

La baja resistividad, es negativa para mejorar la eficiencia, debido a que las partículas con baja resistividad son difíciles de recolectar porque se cargan fácilmente y pierden su carga al llegar al electrodo de recolección, reintroduciéndose en el flujo de gas. Ejemplos de polvo de baja resistividad son carbón negro

y ceniza de carbón no quemado. Definiendo el área de recolección específica (SCA) como la relación entre el área superficial de recolección (placas) y la razón del flujo de gas en el filtro ($1000 \text{ m}^3/\text{Hr}$).

$$\text{SCA} = \text{Superficie de recolección (m}^2\text{)} / 1000 \text{ m}^3/\text{Hr}$$

De donde observamos que el número total de placas (tamaño) y volumen total de gas tienen un efecto directo en la eficiencia del precipitador. Esto indica que si el precipitador fuera del doble de su tamaño, la eficiencia aumentaría porque el SCA aumentaría. Sin embargo, para resolver problemas con la eficiencia de recolección, aumentar el área de placas en el precipitador y también reducir el volumen de gas admitido es perjudicial para la producción y son soluciones costosas. De la siguiente figura, se puede ver que, cuando la resistividad es mayor al 10^{10} hasta 10^{12} ohm-cm, se necesita triplicar el tamaño del precipitador para obtener la misma eficiencia.

**SCA Required for
99.95% Efficiency**

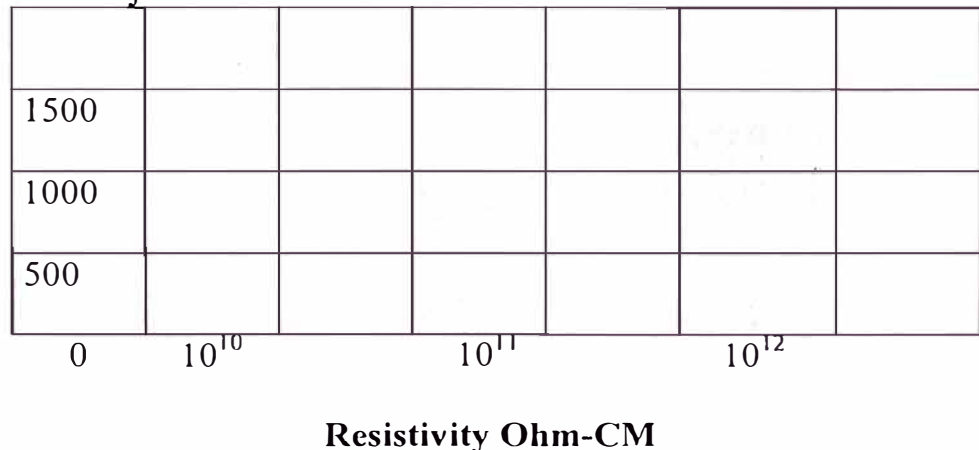


Figura 3.12 Factor de Resistividad del Polvo

3.8. CONCLUSIONES.

Del análisis realizado, se concluye que para lograr niveles altos de eficiencia, se tiene que operar el filtro con polvo de resistividad entre 10^6 a 10^{12} . Por lo tanto, debido a la alta resistividad frecuente que presenta el polvo, a filtrar en el horno n° 3, se analiza los factores que influyen en la disminución de la resistencia del polvo.

1. La falta de SO₃ en el flujo de gas.

La mayoría del sulfuro contenido en el carbón quemado por combustión se convierte en SO₂. Sin embargo, aproximadamente el 1% del sulfuro se convierte en SO₃. La cantidad de SO₃ en el gas normalmente se incrementa al aumentar el contenido de sulfuro de carbón. Por lo tanto la resistividad de las partículas disminuye cuando el contenido de sulfuro aumenta.

2. La superficie de recolección.

Incrementando el área de recolección, reemplazando las placas por otras de mayor tamaño, esta opción es económicamente inaceptable para los filtros existentes, debido a que se tendría que modificar toda su estructura exterior.

3. Variación de la temperatura y el punto de rocío.

La resistividad varía con la temperatura de los gases-polvo. La resistencia aumenta inicialmente con la temperatura, como consecuencia de la conductividad degradativa de las partículas de polvo. Con el calentamiento se observa una mayor conductividad, por lo tanto, toda curva de resistividad de polvo tiene un máximo. La conductividad superficial depende, entre otros

factores, de la humedad absorbida, por esta razón el mismo polvo, con distintos puntos de rocío, presenta distintas curvas de resistividad. Este problema puede resolverse incrementando la humedad del polvo, rociando estos con agua en una torre de enfriamiento.

4. Existe una rango de temperaturas de los gases-polvo optima.

De los gráficos se observa que el valor de resistencia critica del polvo equivale a 10^{11} Ohm-cm. Entonces si queremos ubicar nuestros valores de resistencia en una zona inferior a 10^{11} Ohm-cm se debe lograr una temperatura de gases-polvo inferior a 200°C (dependiendo del punto de rocío) o incrementando por encima de los 400°C . Sin embargo elevar la temperatura de los gases por encima de los 400°C no es recomendable, debido a que se tendría que utilizar las piezas fabricadas con material de acero inoxidable, lo cual no se realiza en ninguna parte del mundo. Concluyendo este análisis podemos plantear para la fabrica un sistema de enfriamiento de gases-polvo, en una torre de enfriamiento, dispuesta en un circuito, tal como se observa en la figura 3.14.

ESQUEMA DE OPERACION DE LA TORRE DE ACONDICIONAMIENTO DE GASES (TAG) SISTEMA MOLINO CRUDO II - HORNO III

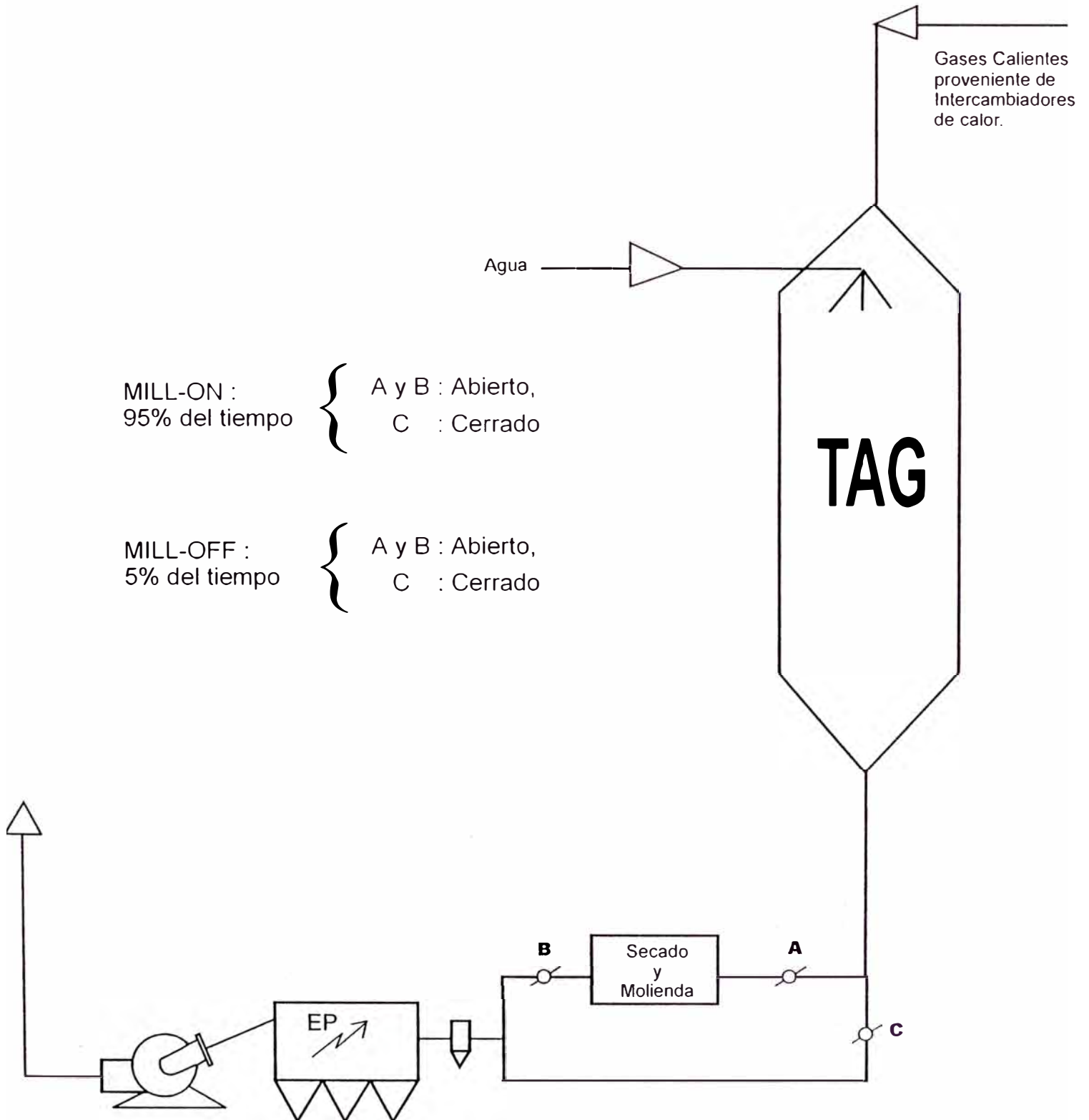


Figura 3.13 : Esquema de Operación

CAPITULO IV

METODOLOGIA Y DISEÑO

4.1. EVALUACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS.

Según las condiciones ambientales, las condiciones de operación del horno y la disposición existente del sistema de intercambiadores, secado del crudo y de los electrofiltros, requerimos una torre de enfriamiento por evaporación que cumpla principalmente con dos condiciones definidas.

4.1.1. CONDICIÓN DE OPERACIÓN “MILL ON”.

Mill On, significa funcionamiento en conjunto del horno con el molino de crudo, para el secado de material. En estas condiciones de operación el sistema de enfriamiento y acondicionamiento debe ser capaz de enfriar un caudal de gases calientes de $55 \text{ Nm}^3/\text{seg}$ provenientes del horno n° 3 desde una temperatura de $345 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta $120 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.1.2. CONDICIÓN DE OPERACIÓN “MILL OFF”.

Mill Off, significa funcionamiento del horno sin molino de crudo.

En estas condiciones de operación el sistema de enfriamiento y acondicionamiento debe ser capaz de enfriar un caudal de gases calientes de $55 \text{ Nm}^3/\text{seg}$ provenientes del horno n° 3 desde una temperatura de $345 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta $80 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.2. PARAMETROS DE CALCULO.

4.2.1. CONDICIONES AMBIENTALES

La fabrica se encuentra ubicada al este del centro poblado de Condorcocha, en la sierra central.

A una altitud promedio de 3870 m.s.n.m. geográficamente tiene las siguientes coordenadas:

- Latitud : 11° 22.28' Sur
- Longitud : 75° 47.06' Oeste.

En un período de observación de las condiciones ambientales de la fabrica, que comprende desde 1985 a 1995, se han obtenido los siguientes valores de los parámetros locales.

a. Temperatura.

En la sierra central la temperatura no es muy variable, en todos los meses del año.

Tabla 4.1 Distribución promedio de la temperatura media mensual en °C.

Fuente: Cemento Andino S.A.

ENERO	9.5	AGOSTO	8.8
FEBRERO	6.7	SETIEMBRE	8.0
MARZO	7.8	OCTUBRE	9.4
ABRIL	9.0	NOVIEMBRE	10.1
MAYO	7.3	DICIEMBRE	9.7
JUNIO	6.0		
JULIO	9.7	PROMEDIO	8.5

b. Humedad relativa.

La sierra a diferencia de la costa, es una región donde la humedad en el ambiente es baja, debido a la presión atmosférica.

Tabla 4.2 Distribución promedio de humedad relativa media mensual en %.

Fuente: Cemento Andino S.A.

ENERO	56	AGOSTO	61
FEBRERO	53	SETIEMBR	61
MARZO	57	OCTUBRE	58
ABRIL	58	NOVIEMBR	61
MAYO	57	DICIEMBRE	65
JUNIO	58		
JULIO	61	PROMEDIO	58.8

4.2.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN.

La operación del horno 3, es bastante complicada, las condiciones de operación son variables en el arranque pero se llega a estabilizar a medida que alcanza su carga nominal.

Idealizando el proceso la operación del horno nº 3 es función de las siguientes variables:

- Masa de alimentación de material crudo.
- Masa de combustible.
- Masa de gases aspirados.

Por lo que el caudal de gases que se genera es función de estas tres variables. De lo mencionado presentamos un cuadro estadístico de consumo promedio de combustible (carbón) y material crudo.

Tabla 4.3 Consumo promedio de carbón y materia cruda.
Fuente: Cemento Andino S.A.

FECHA	CARBON AL CALCINADOR (Tm/h)	CARBON AL CABEZAL (Tm/h.)	CRUDO AL WT1 (Tm/h).	CRUDO AL WT2 (Tm/h)
02.10.96	4.80	4.35	59.00	69.50
03.10.96	4.24	4.02	51.67	53.33
06.07.97	5.66	4.84	65.00	76.00
17.07.97	5.64	4.92	64.50	77.50
06.12.97	5.44	4.84	64.50	72.00
07.12.97	5.79	4.81	65.00	74.83
19.12.97	4.87	4.91	62.67	66.67
PROMEDIOS	5.20	4.67	61.76	69.95
TOTALES	CARBON	9.87	CRUDO	131.71

4.2.2.1. CONDICIONES DE LOS GASES-POLVO.

A la salida del horno n° 3 en el conducto inclinado que conduce los gases de ingreso a los electrofiltros, la mezcla de gases-polvo presenta las siguientes características:

Tabla 4.4 Parámetros promedio característicos de los gases-polvo.
Fuente: Cemento Andino S.A.

FECHA	CAUDAL REAL (m ³ /s)	CAUDAL NORMAL (Nm ³ /s)	TEMP. REAL (°C)	PRESION REAL (mmHg)	CONCENTRACION (gr/Nm ³)
02.10.96	179.30	50.39	275.6	428.3	67.81
03.10.96	175.95	50.06	267.5	427.2	66.92
06.07.97	185.72	58.55	280.6	426.8	65.86
17.07.97	187.77	51.86	287.0	429.6	66.20
06.12.97	202.78	57.24	338.0	429.8	63.09
07.12.97	220.78	55.20	337.7	425.4	62.69
19.12.97	176.03	58.03	331.4	430.6	68.97
PROMEDIOS	189.76	55.00	302.3	428.24	65.93

4.2.2.2. COMPOSICION PROMEDIO DE LOS GASES.

Los gases que ingresan a los electrofiltros, son una mezcla.

Se generan por:

- Los ventiladores de aspiración de aire fresco en el enfriador de clinker.
- Los gases de combustión del carbón mineral.
- El aire vehículo del material alimentado.

- Materia prima, fina que no es capturado en los intercambiadores.

Tabla 4.5 Composición y propiedades de la mezcla de gases.
Fuente: Cemento Andino S.A.

GAS	VOLU- MEN (%)	Por PESO (%)	DENSIDAD NORMAL a:1013 mbar y 0°C (Kg/Nm³)	CAPACIDAD CALORIFICA 345°C(Kcal/Kg°C)
CO₂	22	31.2	0.228	1.977
H₂O	8	4.7	0.475	0.806
N₂	63	56.9	0.252	1.251
O₂	7	7.2	0.227	1.433
PROMEDIOS			0.253	1.47

4.2. HIPOTESIS.

4.3.1. HIPOTESIS PRINCIPAL.

El parámetro de mayor influencia en la captación de polvo en los filtros electrostáticos, es la temperatura.

Observando las curvas figura 4.1 se puede deducir que aumentando el punto de rocío, y disminuyendo la temperatura, para estar por debajo de la resistividad crítica, se disminuye la resistencia del polvo.

Por consiguiente, nuestra hipótesis queda planteada de la siguiente manera:

“La alta temperatura y el bajo punto de rocío, de la mezcla de gases-polvo que ingresa a los filtros electrostáticos, incrementa la resistividad

del polvo, impidiendo la eficiente captación electrostática del equipo. Por lo tanto, necesitamos enfriar los gases-polvo y elevar el punto de rocío para incrementar la eficiencia de los filtros electrostáticos”.

4.3.2. HIPOTESIS SECUNDARIA.

La enunciamos de la siguiente manera:

“La mejor manera de disminuir la temperatura de los gases-polvo, en nuestro sistema, es aprovechando el calor latente de evaporación del agua, para lo cual inyectaremos agua, para evaporarla con la energía calorífica de los gases. Logrando también, disminuir el punto de rocío de los gases”.

4.4. SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO ADECUADO.

Debido a que la temperatura de salida de los gases-polvo de los intercambiadores de calor del horno, se encuentran entre 350 y 380 °C, y estos gases-polvo, deben enseguida ingresar a los electrofiltros cuya temperatura para óptima operación, de diseño es 80 °C, concluimos que necesariamente entre los intercambiadores y los electrofiltros debe existir un enfriador de gases que tenga, las siguientes características:

- Alto rendimiento continuo y regulable.

- Alta rapidez en disipar el flujo de calor (velocidad gas: 12 m/s).
- El enfriamiento debe realizarse con elevados coeficientes de transferencia de calor.
- Se debe conseguir la humidificación de los gases-polvo, para incrementar las propiedades eléctricas del polvo.

Analizando estas características, muy singulares del proceso, el único aparato térmico de contacto directo que cumple con todos estos requisitos es: Una torre de enfriamiento.

4.5. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.

4.5.1. CONSIDERACIONES GENERALES.

Para diseñar esta torre, planteamos las siguientes hipótesis:

- i. “El fluido a utilizar para el enfriamiento debe ser económico y de alto coeficiente de transferencia de calor, por esta propiedad se elige: el agua”.
- ii. “El agua que entrara en contacto directo con los gases residuales, deberá ser evaporada en la torre, en el menor tiempo posible, por esta condición se necesita: el mayor área de contacto del agua con los gases, es decir mayor cantidad de

gotas por lo tanto necesitamos pulverizar el agua, de manera que pueda evaporarse en el menor tiempo posible”.

Definidas estas consideraciones concluimos que existen dos maneras optimas y diferentes de introducir el agua en el sistema de enfriamiento, y son:

- a. Pulverizar agua a presión en el sentido del flujo de gases.
- b. Pulverizar agua a presión en el sentido contrario al flujo de gases, esta opción se descarta por la permanente obstrucción que sufrirían las toberas de los inyectores con el polvo que viene directamente a ellos.

Eligiendo la alternativa “a” se presentan nuevas interrogantes, como:

- ¿Cuál es la altura “H” donde estarán ubicados los inyectores de manera que, el agua se evapore antes de ingresar a los electrofiltros?.
- ¿Qué caudal de agua se pulverizara en la torre de enfriamiento?
- ¿Cómo logro el descenso controlado de la temperatura?.
- ¿Cuál es el tiempo de residencia del agua líquida en el sistema?.

4.5.2. DESCRIPCION DEL SISTEMA.

El sistema, planteado consiste en conducir los gases por una recamara adicional (denominada torre), en la cual a través de un sistema de inyección, se introduce agua y se pulveriza a presión, con la finalidad de evaporarla rápidamente. La masa de agua agregada, es función de la cantidad de calor, que queremos retirar de la mezcla gases-polvo para poder obtener las bajas temperaturas requeridas del fluido, antes de ingresar a los filtros electrostáticos. La función primaria de una torre de acondicionamiento de gases (TAG) es reducir la temperatura de los gases, mediante la evaporación del agua, a fin de acondicionarlos en humedad y temperatura que permitan una resitividad adecuada a la optima eficiencia de captación de polvo de los electrofiltros.

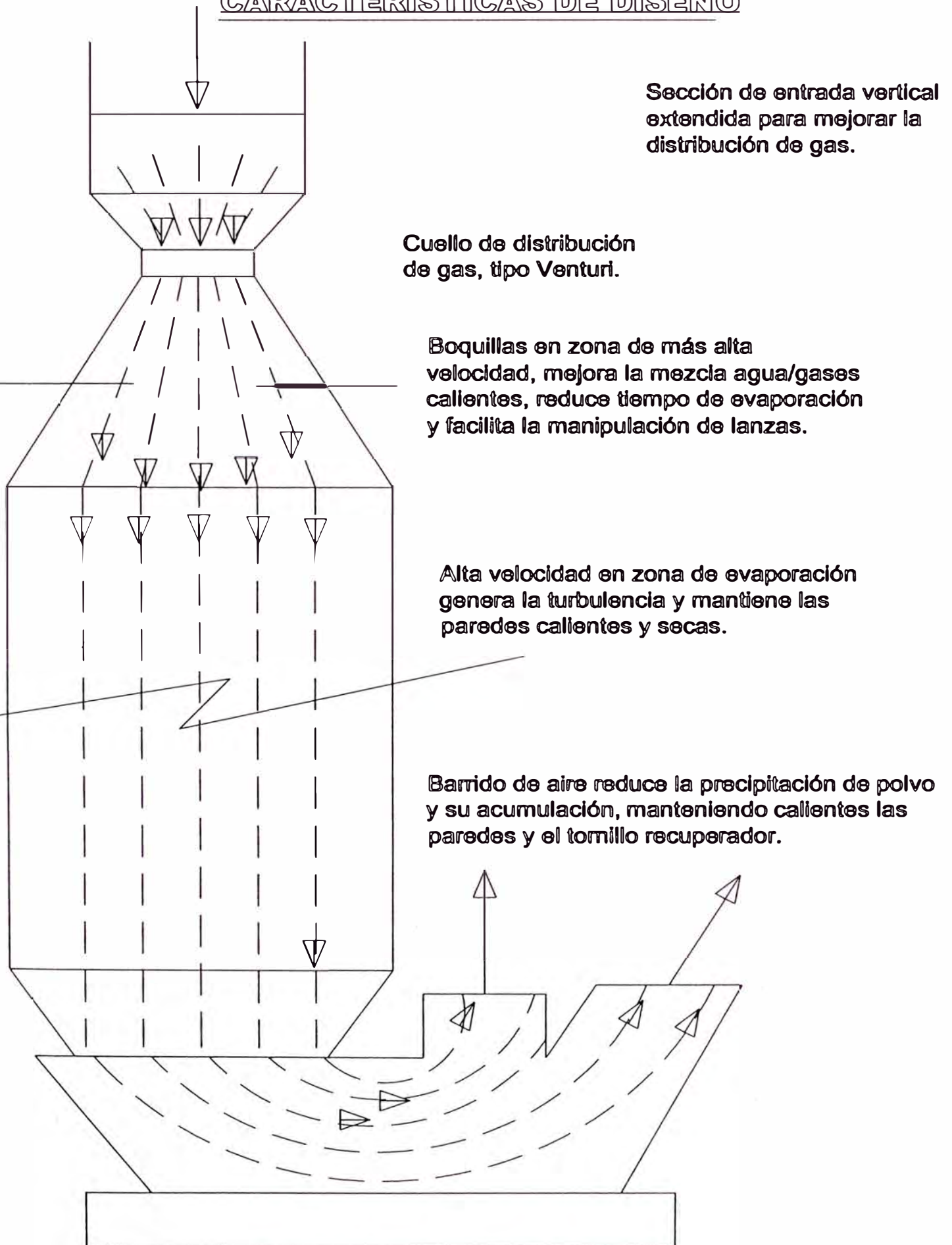
4.5.3. CONSIDERACIONES GENERALES.

Los parámetro más importantes en el diseño de un sistema de enfriamiento y acondicionamiento de gases es el tiempo de residencia del agua liquida en la torre. Este tiempo de residencia depende principalmente de la evaporación del agua y la evaporación depende de diversos factores tales como:

- La temperatura y humedad contenida en el gas.
- La geometría y tamaño de la distribución de gotas.

TORRE DE ACONDICIONAMIENTO DE GASES (TAG)

CARACTERISTICAS DE DISEÑO



- La velocidad relativa entre las gotas de agua y los gases calientes en el punto de inyección.

4.5.3.1. LA TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL GAS.

La temperatura de un gas es básicamente una medición de la cantidad de energía calorífica presente. La alta temperatura de ingreso, permite una evaporación más rápida del agua basado en el hecho que el proceso es cercano al adiabático.

4.5.3.2. LA GEOMETRIA Y TAMAÑO DE LA DISTRIBUCION DE GOTAS.

La geometría y tamaño de la distribución de gotas es un factor importante pero algunas veces es engañoso. Claro que una gota más pequeña indica, una mayor superficie de exposición a la corriente de gases solo si la distribución es uniforme y simétrica. En una distribución asimétrica y variable algunas zonas tienen gotas grandes y otras pequeñas, lo cual no es una buena mezcla, si las áreas son muy diferentes. Las gotas pequeñas evaporan rápidamente reduciendo la energía del gas, dejando a las grandes gotas sin evaporar y creando un medio

ambiente que es termodinámicamente ineficiente. Esto ocasiona acumulación de humedad en el fondo de la torre. Se soluciona esto ubicando las lanzas con arreglo adecuado.

En la siguiente tabla se presenta, un análisis en computadora, realizado a una muestra de gotas pulverizadas, dando como resultado la siguiente distribución estadística:

Tabla 4.6 Distribución de gotas pulverizadas.
Fuente: ZKG.

Ø DE GOTA(μm)	% EN PESO	NUMERO DE GOTAS	PORCEN-TAJE
10.56	1.30	0.83698E*07	20.75
18.53	2.47	0.75025E*07	18.60
24.86	5.57	0.33098E*07	8.20
30.58	6.67	0.41564E*07	10.30
35.98	8.78	0.33283E*07	8.25
41.19	10.39	0.25020E*07	6.20
46.27	14.30	0.36961E*06	9.16
51.26	15.99	0.28856E*07	7.15
59.79	18.23	0.12480E*07	3.09
64.84	12.99	0.83104E*06	2.06

4.5.3.3. VELOCIDAD RELATIVA ENTRE GOTAS Y GAS.

Si una gota de agua es inyectada en la misma dirección y a la misma velocidad de la corriente del gas, las gotas de agua se encontrarán en un medio estático. La conducción calorífica en este caso, se realiza a través de un proceso muy lento de conducción y migración molecular asociado con un medio ambiente estático. Debido a que la evaporación que se realiza,

forma una superficie de vapor sobre la gota, el cual lo aísla y ayuda a minimizar la transferencia de calor.

Una diferencia de velocidad entre las dos corrientes acelera el mezclado del calor y el agua y se logra una transferencia de calor abundante, estas condiciones alrededor de la gota son denominadas dinámicas.

4.5.4. CALCULO DE ALTURA DE TORRE.

Considerando:

Caudal máximo: $55 \text{ Nm}^3/\text{s}$, de las mediciones, ver Tabla 4.4.

Densidad de la mezcla: 0.253 kg/Nm^3 , ver Tabla 4.5.

Area del ducto al ingreso de la TAG: 5.72 m^2 , ver plano UNI-FIM-003

Aplicando la formula de continuidad de materia, para fluidos compresibles:

Flujo masa ingreso = Flujo masa de salida

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2$$

Considerando, la variación de la densidad menor al 5%, por principio de las turbomaquinas (ventiladores), entonces, calculando la velocidad del gas al ingreso de la TAG.

$$55 \text{ Nm}^3/\text{s} = 5.72 \text{ m}^2 \times v_1$$

$$v_1 = 9.61 \text{ m/s (A condiciones normales).}$$

Calculo del área del conducto de la TAG.

De las tablas del pulverizador se considerara:

Velocidad de salida del agua = 1.43 m/s.

En la formula de la continuidad: $55 \text{ Nm}^3/\text{s} = 1.43\text{m/s} \times A_2$

$$A_2 = 33.48 \text{ m}^2 \quad \text{Resultando un } \varnothing = 6.5 \text{ m.}$$

Finalmente calculamos la altura "H" de la torre.

Tiempo de Residencia del agua: 9 seg

(De tablas y métodos estadísticos de experiencias en laboratorios considerando la capacidad calorífica de la mezcla de gases = 1.47 Kcal/Kg-°C a 345 °C, ver tabla 4.5).

Calculando la altura "H" :

Factor de seguridad del tiempo de residencia de 1.5

$$H = v. t . f.s = 1.43 \times 9 \times 1.5 = 19 \text{ m}$$

4.6. UBICACIÓN DE LA TAG.

Para instalar la torre de acondicionamiento de gases, en la línea de producción del horno n° 3, existen 3 alternativas diferentes, las cuales se analizan a continuación:

4.6.1. PRIMERA ALTERNATIVA.

Como vemos en la fig. 4.2a. la torre de enfriamiento se ubica entre el filtro electrostático y el exhaustor.

En este caso, el interior de la torre estaría sometida a una presión positiva, debiendo ser la presión de inyección de agua superior a esta para evitar que el polvo ingrese y obstruya los inyectores. El exhaustor absorbe gases-polvo calientes, el cual se adhiere en algunas zonas de los alabes ocasionando desperfectos en el normal funcionamiento del ventilador. La temperatura de los gases recalienta no solo los alabes sino también la carcasa y sobre todo los rodamientos de apoyo.

En el filtro electrostático se mejoran las condiciones de temperatura (disminuyen) y el punto de rocío (aumentan).

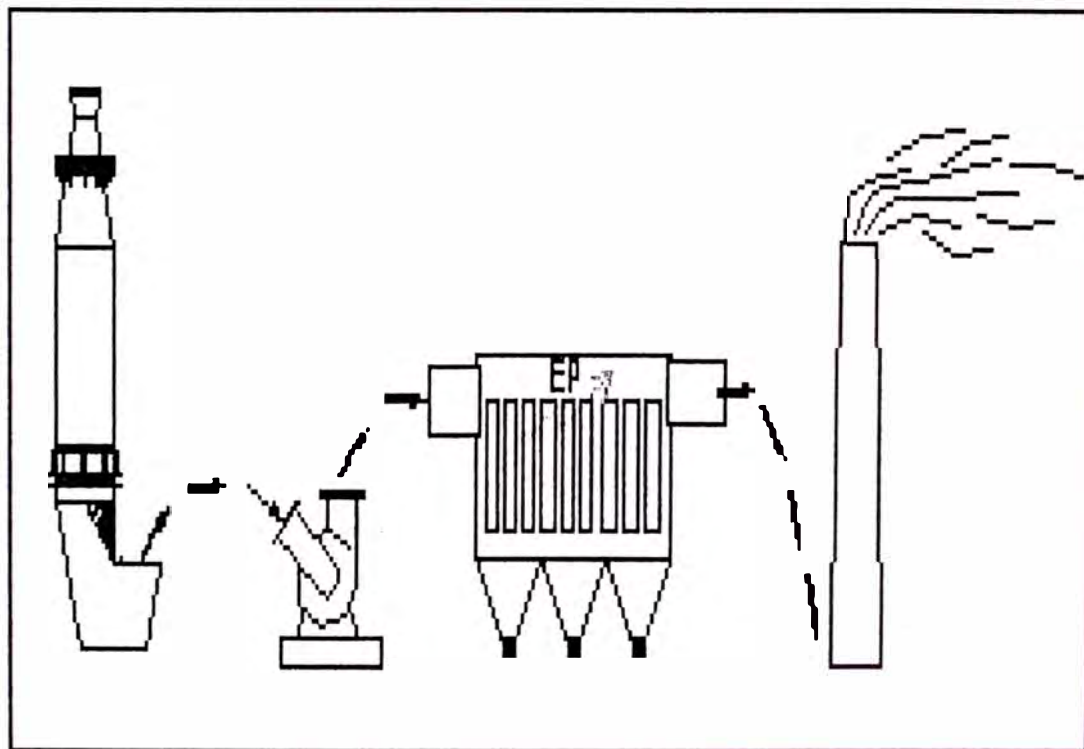


Figura 4.2a. Esquema de operación de la TAG.

4.6.2. SEGUNDA ALTERNATIVA:

En la fig. 4.2b. se observa que la torre de enfriamiento se ubica entre el filtro electrostático y el conducto de salida de gases-polvo de los intercambiadores de calor, pero el exhaustor se traslada a la salida del filtro. Esta alternativa es técnicamente la más adecuada por las siguientes razones: La torre de enfriamiento trabaja a depresión (presión negativa), debido a la succión del exhaustor, por lo que no se presenta el problema crítico de obstrucción de inyectores de agua, debido al flujo paralelo de los gases-polvo, con el agua inyectada, se logra una buena transferencia de calor, mejorando, las condiciones de temperatura y punto de rocío del fluido antes de ingresar a los filtros electrostáticos. El exhaustor trabaja a menor temperatura ($<120^{\circ}\text{C}$), lo que evita el recalentamiento de los apoyos y sobre todo succiona gases limpios, lo que evita el desgaste de los alabes y disminuye los problemas de funcionamiento.

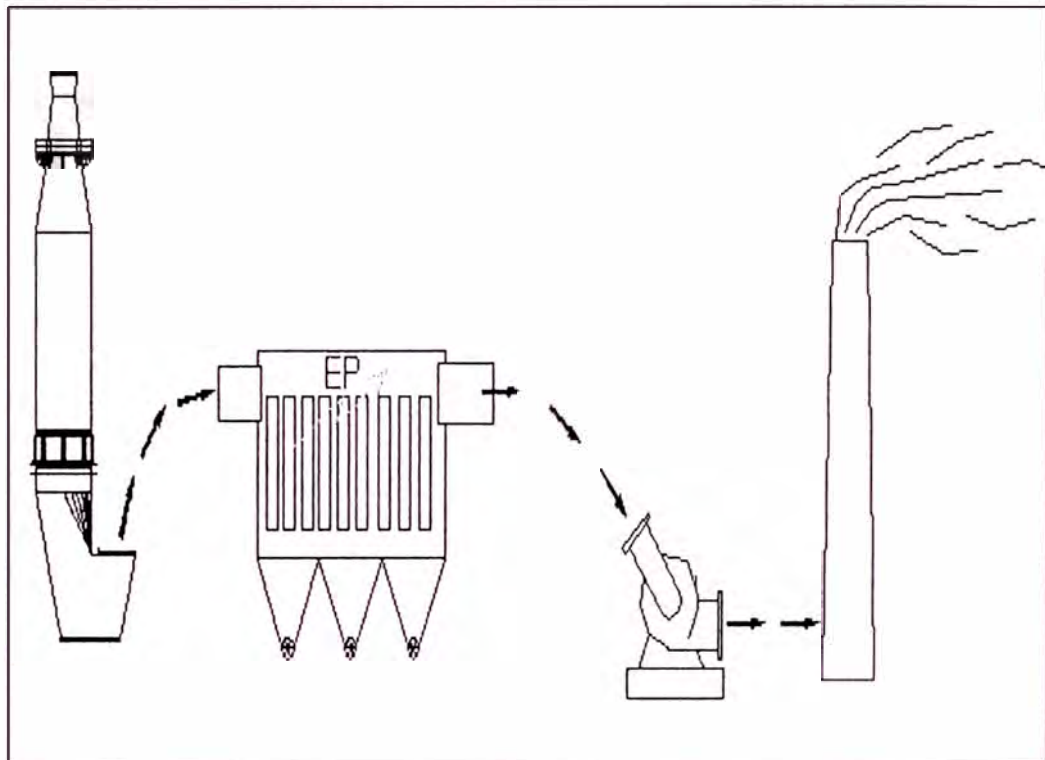


Figura 4.2b. Esquema de operación de la TAG.

4.6.3. TERCERA ALTERNATIVA:

Se observa en la fig. 4.2c. el sistema tendría las siguientes características: la torre de enfriamiento, trabajaría a depresión, con las ventajas señaladas en la 2da. alternativa. El filtro electrostático trabajaría a presión positiva, con las ventajas señaladas en la 1ra. alternativa. La temperatura en el exhaustor será baja ($<120\text{ }^{\circ}\text{C}$), pero con la desventaja de succionar gases-polvo, lo que ocasionaría problemas de funcionamiento y desgaste de los alabes del exhaustor.

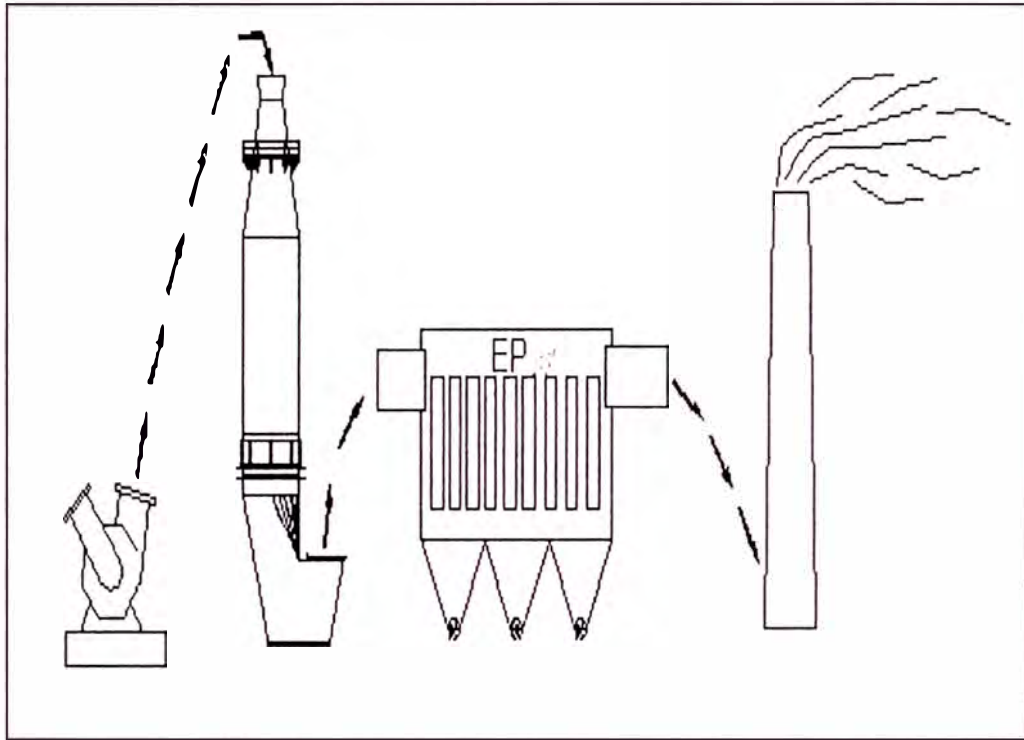


Figura 4.2c. Esquema de operación de la TAG.

Por razones técnicas y económicas, tales como: continuidad de producción, ventilador existente diseñado para baja temperatura y otras razones se elige la 2da. alternativa por las ventajas operativas comprobadas.

4.7. MEDICIONES DEL SISTEMA EN OPERACIÓN.

Estas mediciones se realizaron, con el sistema completo del horno n° 3 funcionando, y en condiciones ambientales promedios.

Entrada a tag

Fecha: 12.05.98

Alimentación de:

crudo
 WT1 = 64.33 Tm/h
 WT2 = 67.33 Tm/h

carbón
 Calcinador = 5.04 Tm/h
 Cabezal = 4.83 Tm/h

Velocidad (condiciones ducto)	31.72 m/s
Caudal (condiciones ducto)	277.93 m ³ /s
Caudal (condiciones normales)	84 m ³ /s
Concentración (condic. Ducto, gas seco)	14559.19 mg/ m ³
Humedad	9.31%
Concentración (condic. Ducto, gas húmedo).	13319.72 mg/ m ³
Emisión de polvo (condic. Ducto, gas húmedo).	3.70 Kg./s
Densidad (condic. del ducto)	0.429 Kg/ m ³

Entrada a tag

Fecha: 23.05.98

Alimentación de:

crudo
 WT1 = 47.50 Tm/h
 WT2 = 49.00 Tm/h

carbón
 Calcinador = 3.81 Tm/h
 Cabezal = 1.90 Tm/h

Velocidad (condiciones ducto)	21.54 m/s
Caudal (condiciones ducto)	188.71 m ³ /s
Caudal (condiciones normales)	57.85 m ³ /s
Concentración(condic. Ducto, gas seco)	11747.71 mg/ m ³
Humedad	8.51%
Concentración(condic. Ducto, gas húmedo)	10826.16 mg/ m ³
Emisión de polvo(condic. Ducto, gas húmedo)	2.04 Kg./s
Densidad (condic. del ducto)	0.425 Kg./ m ³

Salida de la tag

Fecha: 12.05.98

Alimentación de:

crudo
 WT1 = 64.33 Tm/h

carbón
 Calcinador = 5.82 Tm/h

WT2 = 75.33 Tm/h

Cabezal = 4.80 Tm/h

Velocidad (condiciones ducto)	16.82 m/s
Caudal (condiciones ducto)	65.68 m ³ /s
Caudal (condiciones normales)	26.28 Nm ³ /s
Concentración(condic. Ducto, gas seco)	9808.115 mg/ m ³
Humedad	9.222%
Concentración(condic. Ducto, gas húmedo)	8979.95 mg/ m ³
Emisión de polvo(condic. Ducto, gas húmedo)	0.58 Kg./s
Densidad (condic. del ducto)	0.561 Kg./ m ³

Salida de la tag

Fecha: 23.05.98

Alimentación de:

crudocarbón

WT1 = 64.33 Tm/h

Calcinador = 5.82 Tm/h

WT2 = 75.33 Tm/h

Cabezal = 4.80 Tm/h

Velocidad (condiciones ducto)	12.78 m/s
Caudal (condiciones ducto)	16.18 m ³ /s
Caudal (condiciones normales)	5.89 m ³ /s
Concentración(condic. Ducto, gas seco)	8833.51 mg/ m ³
Humedad	10.21%
Concentración(condic. Ducto, gas húmedo)	8815.38 mg/ m ³
Emisión de polvo (condic. ducto, gas húmedo)	0.142 Kg/s
Densidad (condic. del ducto)	0.511 Kg/ m ³

4.8. CALCULO DE ENTALPIAS.Salida de la tag – entrada a la olla.

Fecha de medición: 03.06.98

Condición de operación: Mill Off.

a. Datos de medición directa.T_{bs} = 129.0 °C

$$T_{bh} = 62.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Condiciones: 3850 m.s.n.m.

P. barométrica 464.0 mmHg

b. Lecturas de la carta Psicrométrica.

b.1. A una presión barométrica de 760 mmHg.

$$W_{gr\acute{a}fica} = 135 \text{ gr/Kg de aire seco.}$$

b.2. Correcciones aditivas para una presión barométrica de 464 mmHg.

Extrapolando datos:

Altitud (m)	ΔW_s
1440	45.00
1770	55.00
3850	118.03

c. Cálculo de la humedad.

$$DW = DW_s - \left(\frac{T_{bs} - T_{bh}}{13.3} \times 0.01 \times DW_s \right)$$

ΔW = Corrección del contenido de humedad del aire cuando la presión barométrica difiere de lo normal (g/Kg de aire seco).

ΔW_s = Corrección del contenido de humedad del aire saturado a la temperatura de ampolla húmeda cuando la presión barométrica difiere de lo normal (g/Kg de aire seco).

$$\Delta W_s = 112.15 \text{ g/Kg}$$

$$\Delta W = W_{gr\acute{a}fica} + \Delta W$$

W = Contenido de humedad del aire (g por Kg de aire seco).

$$W = 247.15 \text{ g/Kg}$$

d. Cálculo de la presión de vapor y temperatura de Rocío.

$$P_v = \frac{W \times P}{626 + W}$$

$$P_v = 131.34 \text{ mmHg}$$

Apartir de la presión de vapor calculamos la temperatura de rocío.

$$E_q = \text{Log}(P_v) - \left(A - \frac{B}{C + T} \right)$$

Pv (mmHg)	131.34
Eq	0.00
A	7.9668
B	1668.21
C	228.0
Trocío (°C)	57.24

e. Cálculo de la Entalpia.

Usando la siguiente correlación:

$$h = XTDP + xIDP + 0.45X(T - TDP) + 0.24T$$

Para aire no saturado:

Donde:

X = Humedad (lb agua/lb aire)

DP = Se refiere al punto de rocío.

λ_{DP} = Calor latente de vaporización (Btu/lb).

$$\frac{IDP}{RT_c} = 7.08(1 - Tr)^{0.354} + 10.95w(1 - Tr)^{0.456}$$

Para el calculo de calor latente a la temperatura de rocío.

Ingresamos los siguientes datos:

$$T_{\text{rocío}} = 330.371 \text{ °K}$$

$$T_c = 647.3 \text{ °K}$$

$$Tr = 0.510$$

$$R = 1.987 \text{ cal}/(\text{lb-mol})\text{°K}$$

$$W = 0.344$$

$$\lambda_{DP} = 10570.31 \text{ cal/mol-g}$$

$$586.75 \text{ cal/g}$$

$$\lambda_{DP} = 4056.15 \text{ Btu/lb}$$

Para el cálculo de la Entalpia:

Ingresamos los siguientes datos:

$$T_{\text{rocío}} = 135.03 \text{ °F}$$

$$T_{\text{bulbo seco}} = 264.20 \text{ °F}$$

$$X(\text{Humedad}) = 0.247 \text{ lb/lb aire}$$

$$\lambda_{DP} = 1056.15 \text{ Btu/lb}$$

$$h = 372.17 \text{ Btu/lb aire seco}$$

$$h = 206.76 \text{ cal/g aire seco.}$$

f. Cálculo del volumen del aire húmedo.

$$v\left(\frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}\right) = \frac{21.7(T_{bs} + 273)}{P_{\text{barométrica}}} \left(1 + \frac{W}{626}\right)$$

$$V(\text{m}^3/\text{Kg}) = 26.22$$

g. Cuadros de resumen.

Salida de la tag – entrada a la olla
condición de operación: mill off
Fecha: 03.06.98

Temp. de bulbo seco	129.00 °C
Temp. de bulbo húmedo	62.70 °C
Temp. de rocío	57.24
Humedad(g agua/g aire)	24.71 %
Humedad molar	39.48%
Presión barométrica	464.00 mmHg
Presión de vapor	131.34 mmHg
Entalpía	206.76 cal/g aire seco
Volumen aire húmedo	26.22 m ³ /Kg aire seco
Densidad	0.0381 Kg/ m ³

De los intercambiadores – ingreso a la tag.

Condición de operación : mill off

Fecha : 03.06.98

Temp. de bulbo seco	302°C
Temp. de bulbo húmedo	91.6°C
Temp. de rocío	78.3°C
Humedad (g agua / g aire)	40.5%
Humedad molar	48.3%
Presión barométrica	466.00 mmHg
Presión de vapor	142.2 mmHg
Entalpía	206.76 cal / g aire seco
Volumen aire húmedo	26.22 m ³ / Kg aire seco
Densidad	0.0385 Kg/ m ³

4.9. BALANCE TERMICO DEL SISTEMA.

Para el balance térmico, aplicaremos la Primera Ley de la Termodinámica para un Volumen de Control.

4.9.1. VOLUMEN DE CONTROL

Es una porción de espacio que se aísla con fines de estudio. La superficie que encierra al volumen de control, se conoce como superficie de control. Las dimensiones y la forma del volumen de control, son completamente arbitrarias y pueden variar durante los procesos. Las masas que cruzan la superficie de control, ingresando o saliendo, pueden variar con el tiempo y por lo tanto, la masa dentro del volumen de control puede ser también variable. Igualmente los flujos de

calor y trabajo a través de la superficie de control pueden variar con el tiempo.

La 1ra. Ley de la termodinámica, en un volumen de control, está representada por la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{v.c.} = \frac{d}{dt} \iiint_{v.c.} e \cdot \rho \cdot dV + \iint_{s.c.} (e + pv) \cdot \rho \cdot v_r \cos \alpha \cdot dA + \dot{W}_{v.c.}$$

Donde:

1er. Terminio : Representa la transferencia de calor por unidad de tiempo.

2do. Terminio : Cambio de la energía del volumen de control por unidad de tiempo.

3er. Terminio : Flujo neto de energía que sale del volumen de control, como consecuencia de los flujos que cruzan la superficie de control.

4to. Terminio : Trabajo para mover un eje, elevar un peso, etc.

Entalpia: Es la suma de energía interna y el trabajo de flujo.

$$H = u + pv \quad (\text{En unidades de energía}).$$

Proceso de flujo estable: En un volumen de control se tiene un proceso de flujo estable, cuando cumple las siguientes condiciones:

1. La masa que ingresa es igual a la que sale, es decir la masa dentro es constante.

2. Las propiedades del flujo al ingreso y a la salida deben ser constante, respectivamente. En cada punto del volumen de control deben ser invariables.
3. Los flujos de energía a través de la superficie de control (calor y trabajo) deben ser constantes con el tiempo.

De acuerdo a estas condiciones la ecuación de la 1ra. Ley queda resumida, a la siguiente expresión:

$$\dot{q} = \Delta h + \Delta E_c + \Delta E_p + W$$

4.9.2. CALCULO DEL CAUDAL DE AGUA REQUERIDA.

De las tablas y cálculos anteriores, se consideran para el calculo, los siguientes valores:

Propiedades en el punto de ingreso (1).

1. Flujo de gases = 55 Nm³/s
2. Entalpía = 206.76 cal/ aire
3. Velocidad = 5.72 m/s
4. Concentración de polvo = 65.93 gr/ Nm³
5. Calor adicional = 0.
6. Humedad de los gases-polvo = 9.31 %
7. Temperatura = 302.3 °C
8. Presión Absoluta = 428.24 mmHg

9. Punto de Rocio = 57.24 °C

Propiedades del agua inyectada:

1. Presión = 1 atm.
2. Temperatura = 15 °C

Ingreso (1)



Salida (2)

Propiedades en el punto de salida (2).

1. Flujo de gases = 55.00 Nm³/s
2. Entalpía = 101.76 cal/g aire seco
3. Velocidad = 1.43 m/s
4. Concentración de polvo = 100 mg/Nm³
5. Calor adicional = 0.
6. Humedad de los gases-polvo = 20 %
7. Temperatura = 120 °C
8. Presión Absoluta = 427.1 mmHg
9. Temp. Punto de Rocio = 40 °C

En la ecuación, de la 1ra. Ley para un volumen de control de flujo estable, considerando un proceso adiabático, sin trabajo en la superficie de control y con energía potencial despreciable, tenemos:

$$q = \Delta h + \Delta E_c + \Delta E_p + W$$

Entonces:

$$q = \Delta h$$

La ecuación queda simplificada a:

$$q = h_2 - h_1$$

Reemplazando términos, obtenemos:

$$m_{H_2O} \cdot 540 = 206.76 \text{ cal/g aire} - 105.76 \text{ cal/aire}$$

Para un caudal de $55 \text{ Nm}^3/\text{s}$, a condiciones normales, se tiene un flujo masico de 67.42 Kg/s .

$$m_{H_2O} \cdot 540 = 101. (4.1868 \text{ J}).6742 \text{ g aire/seg}$$

$$m_{H_2O} = 5.23 \text{ Kg/s}$$

$$m_{H_2O} = 5.23 \text{ lt / s.}$$

4.10. MEDICIONES EN OPERACIÓN CONTINUA DEL SISTEMA.

Estás mediciones se realizaron, con el sistema completo del horno n° 3 funcionando, y en condiciones ambientales promedios.

Tabla 4.7 Parámetros medidos en operación en la TAG.

Fecha: 12.05.98

Hora	Temperaturas (°C)				Presion (psig)				
	Ingreso TAG	Salida TAG	Set Point	Polvo °C	Q agua (l/s)	Aire	Agua	Salida Bomba	Humedad polvo (%)
8	284.0	125.0	125.0	75.0	6.78	74.0	66.0	174.4	0.2
9	280.0	125.0	125.0	68.0	6.95	75.0	68.0	174.4	1.7
10	274.0	130.0	130.0	43.0	6.68	74.0	65.0	174.4	0.4
11	280.0	131.0	130.0	38.0	6.53	74.0	64.0	174.4	0.8
12	289.0	131.0	130.0	44.0	6.68	74.0	66.0	174.4	0.2
Min.	274.0	125.0	125.0	38.0	6.53	74.0	64.0	174.4	0.2
Max	289.0	131.0	130.0	75.0	6.95	75.0	68.0	174.4	1.7
Prom	281.4	128.4	128.0	53.6	6.72	74.2	65.8	174.4	0.7

Fecha: 12.05.98

Hora	Temperaturas (°C)				Presion (psig)				
	Ingreso TAG	Salida TAG	Set Point	Polvo °C	Q agua (l/s)	Aire	Agua	Salida Bomba	Humedad polvo (%)
8	313.0	160.0	155.0	75.0	5.35	65.0	59.0	174.0	0.02
9	327.0	155.0	155.0	68.0	5.23	63.0	58.0	172.0	0.02
10	322.0	134.0	155.0	43.0	5.30	62.0	59.0	172.0	2.4
11	318.0	148.0	153.0	38.0	5.22	62.0	57.0	174.0	0.17
12	313.0	153.0	153.0	44.0	5.33	62.0	58.0	174.0	0.23
Min.	313.0	134.0	153.0	38.0	5.22	74.0	57.0	172.0	0.17
Max	327.0	160.0	155.0	75.0	5.35	75.0	59.0	174.0	2.4
Prom.	320.0	140.0	154.0	56.5	5.28	74.5	58.0	173.0	1.28

4.11. CONCLUSIONES.

1. Luego de los cálculos realizados observamos que el agua utiliza el xx % de la energía disponible en los gases al ingreso de la torre de enfriamiento, lo cuál permite a estos gases disminuir su temperatura de 350 °C a 120 °C.
2. La humedad de los gases en la torre de enfriamiento se incrementan respecto al valor de ingreso, permitiendo disminuir el punto de rocío a 30 °C.
3. La máxima cantidad de agua requerida, es cuando el molino de crudo esta parado, y es 30% más de lo calculado, es decir 6.7 l/s.
4. La cantidad promedio de material recolectado por precipitación en la tolva de la torre de enfriamiento es 10 tm/hr.

CAPITULO V

INSTALACION Y OPERACIÓN DEL SISTEMA

5.1. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACION.

El sistema, comprende trabajos en las especialidades de: mecánica, electricidad y electrónica. La descripción a detallar es de componentes mecánicos.

5.1.1. FABRICACIONES.

Las principales fabricaciones a realizar son:

5.1.1.1. TORRE DE ENFRIAMIENTO.

Incluye en la parte inferior una tolva de 6.5 m de alto por 7.7 m de ancho, todo de plancha de 1/2" de espesor y con rigidizadores, soldados exteriormente. Luego viene el cilindro de $\varnothing = 7$ m y 19.9 m de alto, cuyo primer tramo de 2.2 m es de 1/2" de espesor y el resto de 3/8". La parte superior cuenta con un tronco de cono de 7 m a 2.7 m de diámetro y una altura de 10.4 m de 3/8" de espesor. La botella termina en tronco de cono invertido de 2 m altura y 3.35 m de diámetro.

La botella tiene 10 anillos de refuerzo de plancha de 6"x1/2" y es soportada mediante 8 soportes radiales en el N +20.300. En el N+44.20 se cuenta con una plataforma de acceso al rack de boquillas inyectoras de agua. Asimismo incluye 3 ventanas de inspección. La descripción realizada se aprecia con más detalle en el plano designado: UNI – FIM – 003.

5.1.1.2. DUCTO DEL VENTILADOR N+0.00 DEL WT2 A LA TORRE DE ENFRIAMIENTO N+56.00

Comprende la transición de salida del ventilador, una reducción excéntrica de 3.35 m a 2.36 m de diámetro, como un tramo recto de 3.35 m de diámetro por 37.52 m de longitud.

Estos conductos de 3.35 m tienen 3 juntas de dilatación, soportes fijos y deslizantes y refuerzos de platino. La descripción realizada se aprecia con más detalles en el plano designado como: UNI – FIM – 001.

5.1.1.3. CODO AUTOLIMPIANTE.

Este codo conecta el conducto del ventilador N+2.00 WT2 a la torre de enfriamiento con un ángulo de 27 grados. Tiene un espesor de 6 mm cuenta con rigidizadores verticales y horizontales y está apoyado en dos puntos.

5.1.1.4. DUCTO DE SALIDA DE LA TORRE A LA OLLA DISTRIBUIDORA DE GASES.

Comprende una transición de 4.27 m x 3 m de diámetro, una junta de dilatación de 3 m de diámetro, una reducción de 3 m a 2.65 m de diámetro, un tramo recto de 2.60 m de diámetro por 20.83 m de longitud, dos juntas de dilatación, soportes y anillos de refuerzo. La descripción realizada se aprecia con más detalles en el plano designado como: UNI – FIM – 002.

5.1.1.5. DUCTO DE SALIDA DE LA TORRE AL MOLINO DE CRUDO 2.

Comprende una transición, dos codos, dos juntas de dilatación de 2.80 m de diámetro y un soporte. Todos los conductos serán fabricados en plancha de 6 mm de espesor.

5.1.1.6. GUSANO TRANSPORTADOR DOBLE.

Descarga de la tolva inferior de la torre de enfriamiento: de 275 mm de diámetro por 250 mm de paso y 7.12 m de longitud. Se incluye el chute de descarga a camiones con sus respectivas juntas flexibles.

5.1.1.7. GUSANO TRANSPORTADOR DE DESCARGA A TOLVA DE BOMBA NEUMÁTICA.

Recibe la carga del gusano anterior, mide 500 mm de diámetro por 400 mm de paso y 10 m de longitud. Se incluye chute de descarga, soportes y junta flexible.

5.1.2. MONTAJE MECÁNICO.

Los trabajos de montaje incluyen las piezas fabricadas descritas en el punto 5.1.1. adicionalmente se deberán montar los siguientes equipos:

- Juego de boquilla de inyección de agua incluyendo bridas soporte, manguera, manómetros y tuberías cabezales.
- Rotary feeder del gusano transportador simple.
- Colocación de aislamiento. Las zonas a colocar aislamiento son los conductos que salen del ventilador del Intercambiador a la entrada de la torre de enfriamiento y los de salida de la torre hacia el molino de crudo n° 2 y a la olla distribuidora de gases respectivamente.

5.2 OPERACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA.

El sistema de acondicionamiento, esta formado de 4 principales componentes:

- Torre de enfriamiento.
- Sistema de atomización.
- Rack de válvulas.
- Sistema de control.

5.2.1. TORRE DE ENFRIAMIENTO.

Para disminuir la temperatura de los gases-polvo, se inyecta agua a presión (pulverizada), en una cámara aislada, diseñada para la circulación de los gases-polvo, llamada torre de enfriamiento, consiste en un conducto de ingreso gases, de sección extendida, para mejorar la distribución de gases a un venturi ó cuello de distribución de gas, el cuál disminuye la velocidad del flujo de manera que en está zona, pueda inyectarse el agua pulverizada y así poder lograr un mayor tiempo de contacto entre los dos flujos, de esta forma el agua, puede en esta zona de turbulencia (parte cilíndrica) de la torre absorber calor, que le permita evaporarse y así lograr que los gases-polvo disminuyan su temperatura e incrementen su punto de rocío y humedad.

En la parte inferior de la torre, se encuentra una tolva, donde se realiza una primera captación del polvo, ya que por conservación de la inercia, las partículas de polvo húmedas se depositan en esta tolva y por medio de dos tornillos transportadores, se evacue el material al exterior. El resto del flujo, continua su travesía y pasa a los electrofiltros a través de un conducto de descarga.

5.2.2. SISTEMA DE ATOMIZACIÓN.

Conformado por los siguientes elementos:

a. Lanza.

Es un tubo de acero inoxidable, tiene dos conductos, para aire y agua. La refrigeración lo realiza el aire, tienen longitud variable, y con una brida se puede fijar en la longitud que se requiera. El detalle de la lanza se observa en el Anexo n° 4. La ubicación de las lanzas en la torre de enfriamiento, se esclarece en el Anexo n° 5.

b. Posicionador.

Es un tubo con una brida soldada al conducto, sirve para regular la profundidad y para retirar las lanzas. Ver el Anexo n° 6.

c. Manómetros.

Importantes para regular la presión de inyección del aire y agua.

d. Válvulas, mangueras y acoples.

Instalados para desmontaje y montaje flexible de la lanza, para el ingreso de aire/agua, del anillo de la red de tuberías a las lanzas.

e. Sistema de tuberías.

Conformada por tuberías de Ø2" de fierro negro, sch. 40, unidos por bridas y soldadura. Tendidas según plano designado como: UNI – FIM – 004. El detalle de ingreso a las lanzas se ubican según el Anexo n° 7.

5.2.3. RACK DE VÁLVULAS.

Es un sistema conformado por tuberías, bombas, válvulas manuales y electro neumáticas, que tienen como función principal recibir el aire y

el agua para suministrarlo al sistema de atomización a condiciones optimas de presión y caudal que son variables según el calor que se necesite retirar de los gases-polvo. Los componentes del rack de valvulas, que se describen a continuación, se detallan en los diagramas de los Anexos n° 8 y n° 9.

a. Válvulas manuales.

(HV-1, 2, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23): Instaladas en tuberías de aire o agua. Normalmente abiertas. Son válvulas de bola, utilizadas para aislar las válvulas automáticas para su mantenimiento.

b. Válvulas de by-pass.

(BV-7,18): Instaladas en las tuberías que conducen aire y agua. Normalmente cerradas. Usadas cuando las válvulas automáticas son retiradas y se desea mantener el sistema en operación manual.

c. Válvula bloqueo de aire.

(EV-1): De actuación neumática (accionada por la solenoide SV-1) Normalmente cerrada. Inicia la operación del sistema.

d. Válvula control de aire.

(PCV-1): Normalmente abierta. Calibrada para mantener una presión de 20 psig por encima de la presión de agua en la lanza. Regula la presión del aire cuando se detecta baja presión de agua en la línea.

e. Filtro de ingreso.

(STR-1): Instalado en la succión de bombas. Permite remover partículas gruesas que no atravesarían la tobera de la lanza.

f. Válvula bloqueo de agua.

(EV-2, EV-3): De actuación neumática (accionada por el solenoide SV-2, SV-3). Normalmente cerrada. Se energiza por un transductor de caída de presión en la línea de aire. La presión de apertura se establece para una adecuada operación del rack, y la presión de cierre lo establece la válvula control de flujo de aire.

g. Válvula control de agua.

(FCV-1, FCV-2): Normalmente cerrada. Una señal de presión transducida desde la unidad I/P abre la válvula. Una señal eléctrica entre 4-20 mA la abre.

h. Válvula control de presión de agua.

(PCV-4): Normalmente cerrada. Una señal de presión entre 3-15 psig el transductor I/P abre la válvula.

i. I/P transductor/posicionador.

(FY-1, FY-2, FY-3): Convierte una señal de salida entre 4-20 mA procedente del controlador de temperatura a una señal entre 3 -15 psig para regular la válvula control de agua.

j. Contometro de agua.

(FE-1, FT-1): Produce una señal de frecuencia que es captada y convertida por un transmisor de flujo. Esta señal de corriente es enviada al dispositivo electrónico FIC-1 donde se mide el caudal.

k. Regulador aire de instrumentación.

(PCV-3, PCV-5): Reduce la presión del aire para instrumentación, normalmente de 80-100 psig a 20 psig.

l. Manómetros aire y agua.

(PI-1,3,8 in) y (PI-2,4 out): Calibrados para el rango de utilización.

m. Sensores de presión.

(PS-1,2,4 Ingreso aire/agua) y (PS-3): Indican una baja presión de agua y envía una señal lógica de arranque a las bombas de reserva.

n. Transmisor presión descarga de bombas.

(PT-3): Produce una señal entre 4-20 mA para el controlador PIC-1.

o. Válvula purga de aire.

(PCV-101-2): Normalmente abierta, calibrada a 10 psig, utilizadas para purgar las lanzas cuando estas no operan.

p. Válvula de drenaje.

(HV-24,25): Utilizada para prevenir congelamiento del agua dentro de la tubería.

q. Bombas.

(PMP-1,2): Utilizadas para aumentar la presión de atomización.

5.2.4. SISTEMA DE CONTROL.

El sistema de acondicionamiento de gases, utiliza un sistema de control en cascada, el cual, consiste en medir la temperatura al gas que sale de la TAG, en forma continua y transferir la señal de control transducida a la válvula control de flujo de agua.

Este sistema de control en cascada utiliza dos diferentes mediciones de la temperatura de salida de gas de la TAG y del flujo de agua, pero comparten el dominio de la válvula de control de agua. El sistema simple de realimentación en circuito cerrado que mide la temperatura de salida de los gases de la TAG, T_o es el dominante, o circuito primario de control (TIC-1). Este utiliza un set-point T_{sp} proporcionado por el operador. El circuito secundario (circuito esclavo) mide el flujo de agua F_o y utiliza la señal de salida del controlador primario F_{sp} como un set point. La medición de salida del controlador esclavo (FIC-1) automáticamente regula el flujo de agua con las válvulas de control (FCV-1 FCV-2) ubicadas en el rack de válvulas en respuesta a la desviación de la temperatura de set point del controlador maestro.

5.2.4.1. SISTEMA DE CONTROL RETROALIMENTADO.

En el sistema de control de circuito retroalimentado la presión es controlada proporcionalmente para lo cual la presión del agua a la salida de la bomba P_o , es medida utilizando el transmisor de presión (PT-3), y es enviada al controlador (PIC-1) donde la presión requerida del set point P_{sp} esta seleccionada. El controlador compara la desviación entre P_o y P_{sp} y regula los cambios de valor de la variable manipulada (flujo de agua), reduciendo la desviación. El controlador no

efectúa directamente la regulación, sino a través de un controlador de presión (PCV-4). De esta manera, el flujo de agua es reajustado como un resultado del cambio de presión de agua, a la descarga de la bomba.

Los sensores de temperatura son generalmente termocuplas (que dependen del valor set point alimentado). Los controladores electrónicos algunos son digitales y otros analógicos, con una señal de salida de 4-20 mA, la cual es directamente recibida por el actuador eléctrico de la válvula de control de flujo de agua o es convertida a una señal neumática de 3-15 psig con que opera un actuador de aire que controla el flujo de agua con o sin posicionador. El Anexo nº 9 especifica los detalles y componentes del sistema de control.

El dispositivo de control ó display está instalado en el tablero de control del horno nº 3. Todos los controladores suministrados por TRC forman parte del sistema de control en circuito cerrado de la temperatura, se incorpora al menos tres funciones de control que son proporcionales a la respuesta, rango y reset. El ajuste proporcional, ordena cambiar el porcentaje de salida que será resultado del porcentaje de desviación de la temperatura establecida en el set point. Por ejemplo, una banda colada en 0.5 (equivalente a una "ganancia" de 2.0 en algunas terminologías del fabricante) causará que la salida se incremente en 2% del total franqueado

cuando la temperatura cambia en 1% del franqueado. Las mediciones se reinician en repeticiones por minuto y representa el numero de veces por minuto que el controlador responderá a la desviación respecto a la temperatura del set point. Si es colocado a un valor de 2 p.c. el controlador variara su salida de acuerdo con su proporcional banda colocada cada 30 segundos. El valor actual para lograr cualquier trabajo depende del tiempo de respuesta del sistema de enfriamiento de gases el cual depende del tiempo de evaporación en la torre, la ubicación de las termocuplas y del tiempo de respuesta y el rango de variación de las condiciones del proceso. El rango variable es también una función dependiente del tiempo. Su propósito es enganchar con rapidez la variable del proceso (temperatura de salida del sistema) que esta moviéndose para o hacia colocar al set point. Su efecto es predecir cambios en el requerimiento del flujo de agua basado en la dirección del movimiento de la temperatura. Esta es generalmente colocada a un valor igual a la inversa de reset establecido.

5.3 ARRANQUE INICIAL DEL SISTEMA.

Antes del arranque inicial del sistema de acondicionamiento de gases, deben cumplirse las siguientes condiciones:

1. El aire de instrumentación debe tener como mínimo 80 psig, para poder operar la válvula control de agua o la válvula bloqueo de agua. El filtro y regulador PCV-3 deben ser ajustados a 70 psig. El regulador PCV-5 utilizado para la válvula de control de agua, debe ser ajustada a 20 psig como máximo.
2. Se verificara la polaridad, la línea de bajo voltaje DC incluyendo las señales de control y de las termocuplas. De igual manera la línea de potencia AC.
3. Probar la válvula de control flujo de agua, normalmente cerrada FCV-1, considerando los siguientes pasos:
 - Cierre las válvulas manuales HV-16 y HV-17, que están a los costados de la válvula de control, de esta manera está puede abrirse y cerrarse con seguridad sin permitir el paso del agua.
 - Presione el botón de potencia del rack de válvulas y del sistema de control.
 - Coloque a modo manual el controlador de flujo FIC-1. Con un miliampermetro en el circuito de control, ajuste la señal de salida de 0 a 100 %. Esto corresponderá a una corriente de 4-20 mA. El controlador es directamente accionado, según la señal de la temperatura de entrada, esta señal emitirá entre 4-20 mA que corresponderá respectivamente a 0-100% cuando este totalmente abierta. Repetir todos estos pasos para la válvula control de agua FCV-2.

- Para emplear el controlador en modo “Automático”. Los siguientes parámetros deben ingresarse al inicio:
 - ❖ Resct : 2 veces por minuto
 - ❖ Rango : 0.5 minutos
 - ❖ Banda Proporcional: 50%
 - Ajuste el set point del controlador de temperatura TIC-1 a un valor de temperatura de gases a la salida de la TAG, según nuestro requerimiento.
4. Arranque el compresor, una vez verificado el alineamiento, interruptores, reles, etc.
 5. Mantenga cerradas las válvulas manuales HV-16, HV-18 y HV-19, y abiertas las válvulas de bloqueo HV-22 y HV-23. Arranque la bomba y observe la operación (rotación, vibración, amperaje, etc.), mantenga las válvulas manuales HV-8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 22, y 23 abiertas todo el tiempo.
 6. Cierre válvulas principales del bloqueo de agua HV-1, HV-16 y HV-19.
 7. Con la bomba y el compresor funcionando puede ahora lavar y soplar las tuberías de agua y aire para limpiarlas de partículas extrañas incrustadas dentro, las cuales pueden obstruir las toberas, válvulas o lanzas. Para esto debe abrirse gradualmente las válvulas de By-Pass de agua y aire HV-3 y HV-18 del rack. Es necesario tener los tubos de las lanzas dirigidas hacia arriba, aseguradas fijamente y fuera del ducto de la TAG para lavarlo. Las toberas no deben ser instaladas en esta etapa. Si las bombas o compresores no pueden mantenerse operando, reducir el flujo con la

válvula manual de by-pass. Cierre las válvulas de aire/agua IIV-3 y IIV-18. Después de realizar esto, estas válvulas IIV-3 y 18 deben permanecer cerradas todo el tiempo.

8. Con el agua rociando y las válvulas manuales de aire IIV-1 y IIV-2 abiertas, cierre la válvula manual de agua IIV-16 y IIV-19 y la válvula manual de agua en la lanza. Manteniendo el compresor y la bomba funcionando. Si el ingreso de aire al sensor automático de presión PS-2 es satisfactorio y la válvula solenoide SV-1 la línea de aire se abrirá automáticamente. Ajuste el flujo de aire con la válvula de control PCV-1 para obtener una presión de aire de 15 psig, en el manómetro de presión PI-2 a la salida a la lanza (en este punto no hay presión de agua en la lanza).
9. Con la válvula bloqueo de aire principal HV-1 y HV-2 cerrada, regule la válvula PCV-2 para lograr 10 psig de presión aproximada en el manómetro a la salida del aire. Las válvulas manuales de purga de aire HV-4 y HV-5 deben estar abiertas todo el tiempo.
10. Cierre las válvulas de aire y agua de las lanzas. Instale las toberas teniendo cuidado de no dañar los hilos de las roscas. Gradualmente abra las válvulas manuales de aire y agua HV-1, 2, 16, 17, 19, y 20. Si el aire de ingreso en el sensor de presión PS-2 es satisfactorio, la válvula EV-1 se abrirá. La caída de presión en la válvula de control de flujo de aire debe mantener esta válvula abierta, hasta que la presión del aire de salida en el sensor de presión PS-3; abra las válvulas del agua, EV-2 y EV-3.

11. Utilizando un apropiado medidor, simular diferentes condiciones de ingreso con la válvula control de agua. Prepare una tabla de tiempos de pruebas de:

- ❖ Presión de Ingreso de aire PI-1.
- ❖ Presión de salida de aire PI-2.
- ❖ Presión ingreso de agua PI-3.
- ❖ Presión salida de agua PI-4.
- ❖ Presión aire en la lanza.
- ❖ Presión agua en la lanza.
- ❖ Caudal de agua.

Estos valores deben ser recolectados con 10% de incrementos en el rango del controlador y la información obtenida finalmente servirá para ajustar la válvula control de agua y la presión de bombeo de la bomba.

12. Instale las lanzas atomizadoras en sus bridas posicionadoras.
13. Todas las funciones lógicas, interruptores, amperajes, presiones, etc. deben ser verificadas y corregidas si es necesario para poner finalmente en operación el sistema.
14. El sistema finalmente está listo para una operación automática. Observar que todas las válvulas manuales deben estar abiertas, excepto las de bypass HV-3 y HV-18.

5.4 RESULTADOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.

Datos recopilados de la operación continua de la torre de enfriamiento en conjunto con el horno n° 3 y el molino de crudo n° 2.

Tabla 5.1 Datos de operación del sistema.
Fuente: Cemento Andino S.A.

ENTRADA A TAG	MILL ON	MILL OFF
Temperatura gases °C	330	330
Humedad, en %	4	4
Inyección de agua, en Tag	20 m ³ /h a 70 psi	30 m ³ /h a 85 psi
Aire de atomización	55 psi	75 psi
SALIDA DE TAG	MILL ON	MILL OFF
Temperatura, °C	160	130
Humedad, en %	12/16	16/20
Temperatura, polvo precipitado, °C	70	75
Humedad, polvo precipitado, en %	0.5	2.0
ENTRADA A ELECTROFILTROS	MILL ON	MILL OFF
Temperatura, °C	90	120
Humedad, en %	12/16	13/17

CAPITULO VI

ANALISIS DE COSTOS

6.1. METODOLOGÍA.

Sobre la base de la información obtenida en el estudio de los factores técnicos condicionados por el tipo de proceso de fabricación y molienda, del sistema horno nº 3 y molino de crudo nº 2, se deberá estimar los flujos de:

- Costos de inversión.
- Costos de operación.
- Beneficios.

Con el objetivo final de realizar una evaluación que determine si el proyecto es bueno o es malo. Un método matemático muy vistoso aplicado por un analista sin experiencia, conduciría al rechazo del presente proyecto, debido a que los beneficios económicos son injustificables a corto plazo. En la presente metodología los números son simplemente un instrumento de disciplina que obliga al analista a examinar todos los factores pertinentes, y un medio para que éste comunique sus conclusiones a otros. Pero el juicio real, de un analista experimentado en el campo de producción de cemento, es capaz de captar las diferencias entre los beneficios económicos que resultan de los productos, frente a los beneficios sociales y ecológicos, los cuales son los objetivos principales de valoración del presente proyecto.

6.1.1. VALORACIÓN.

Esta se efectúa utilizando los “precios de mercado”, los mismos que se registran normalmente en las transacciones habituales de bienes o servicios y que le significan a la empresa un beneficio o un costo.

6.1.2. EXTENSIÓN.

El proyecto considera los beneficios y pérdidas económicas, desde el punto de vista de “efectos directos” como de “efectos indirectos”.

6.2. COSTOS DE INVERSIÓN DEL SISTEMA.

Las inversiones realizadas durante la etapa de implementación del proyecto instalación de una torre de acondicionamiento de gases, se clasifican en:

- Activos fijos (inversiones tangibles).
- Activos nominales (inversiones intangibles).

6.2.1. INVERSIONES TANGIBLES.

Las inversiones tangibles, son todas las adquisiciones físicas, que se emplean en el sistema. En el presente estudio, tenemos los siguientes:

Tabla 6.1 Inversiones tangibles.

DESCRIPCION	COSTO (U.S.\$)
SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE GASES	
Lanzas, rack de valvulas, bombas y controles.	95328
Repuestos y partes	7000
Fabricaciones metalmeccanicas de TAG	150000
Aislante térmico, estructuras, etc.	50000
REPARACION DE ELECTROFILTROS.	
Sistema de recolección	41232
H.V. sistema de descarga	44260
Placas y H.V. sistema rapping	26970
Sistema de soportes y estructuras	19094
Sistema electrico	69465
SISTEMA DE DESCARGA	
Alambres de púas y lisos	15367
Pesos de 35 libras	41310
Estructuras de electrodos recolectores	10672
Sistema antioscilaón	2800
Soportes de aisladores	1200
SISTEMA DE PLACAS RECOLECTORAS	
Placas recolectoras de acero	31000
Estructuras y accesorios de placas recolectoras	27505
Marcos de electrodos	2650

Aisladores de placas recolectoras	2181
SISTEMA DE POTENCIA ELECTRICA	
SQ-300 AVC's	28000
SCR reemplantes de reactores	4800
Cabinas de control de linea	5000
Reactor de control de corriente	56000
DISPOSITIVOS DE DISTRIBUCION DE GASES	
Planchas de admisión perforadas	33400
Modificación de planchas perforadas existentes	3100
Modificación de planchas de salida	3100
Compuertas de ingreso de flujo	12960
EQUIPOS EN GENERAL	
Valvulas rotativas de 10 pulg.	24150
Limpiadores acusticos Ah-15s.	38654
Tornillos transportadores	12000
TOTAL PRECIO FOB	859198
TOTAL PRECIO CIF(FOB+3%FOB)	884974
TOTAL CIF + IMPUESTOS(I.S.C.15%CIF)	1017720

6.2.2. INVERSIONES INTANGIBLES.

Las inversiones intangibles se caracterizan por su inmaterialidad, las mismas que se efectúan sobre activos conformados por los servicios o derechos adquiridos para la puesta en marcha del proyecto.

Tabla 6.2 Inversiones intangibles.

DESCRIPCION	COSTO (U.S.\$)
SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE GASES	
Ingeniería para el diseño de la TAG.	15000
Personal técnico extranjero (por 7 dias).	8400
REPARACION DE ELECTROFILTROS.	
Servicios de ingeniería de diseño.	35663
Servicio técnico eléctrico, extranjero (por 5 dias).	6000
Servicio técnico mecánico, extranjero (por 15 dias)	18000
EQUIPOS EN GENERAL	
Servicios técnicos adicionales.	20000
TOTAL	103063

6.3. COSTOS DE GLOBALES DE OPERACIÓN.

Consideraremos solamente los costos fijos y los costos variables de operación del sistema.

6.3.1. COSTOS FIJOS.

Están constituidos por los siguientes rubros:

Materiales: Insumos y materias primas básicos.

Mano de obra directa: sueldos, salarios y sobrecargas (gratificaciones, indemnizaciones, seguros social).

Tabla 6.3 Costos fijos de operación.

DESCRIPCION	COSTO (U.S.\$)
SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE GASES	
Agua industrial (15,552 m ³ /mes a 1 \$/m ³).	15552
Personal obrero de producción (360 h/mes a 3 \$/h).	1080
OPERACIÓN DE ELECTROFILTROS.	
Personal obrero de producción (180 h/mes a 3 \$/h)	540
Personal obrero de mediciones y control (24 h/mes a 3 \$/h).	72
EQUIPOS EN GENERAL	
Personal obrero de producción (180 h/mes a 3 \$/h).	540
TOTAL	17784

6.3.2. COSTOS VARIABLES.

Son los gastos de mantenimiento, mano de obra indirecta, jefe de producción, supervisores, guardianes, personal de limpieza. Materiales

indirectos (de mantenimiento, aceites, grasas y útiles de limpieza). Energía y otros gastos. Para fines prácticos consideraremos, a este costo como el 20% de los costos directos mensuales.

Tabla 6.4 Costos variables de operación.

DESCRIPCION	COSTO (U.S.\$)
SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE GASES	
Material de trabajo (diversos).	1000
Energía eléctrica (426.96 Mwh/mes a 150 \$/Mwh)	64044
Personal obrero de mantenimiento (360 h/mes a 3 \$/h).	1080
OPERACIÓN DE ELECTROFILTROS.	
Material de trabajo (diversos).	500
Personal obrero de mediciones y control (24 h/mes a 3 \$/h).	72
EQUIPOS EN GENERAL	
Material de trabajo (diversos).	300
Personal obrero de mantenimiento (180 h/mes a 3 \$/h).	540
TOTAL	67536

6.4. COMPOSICION DE LA INVERSION.

Del análisis efectuado en los acápite anteriores, los costos consolidados, se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 6.5 Cuadro resumen de la inversión.

DESCRIPCION	COSTO (U.S.\$)
COSTOS DE INVERSION DEL SISTEMA	
Inversión tangible.	1017720
Inversión intangibles.	103063
COSTOS GLOBALES DE OPERACIÓN.	
Costos fijos (U.S.\$ /mes)	17784
Costos variables (U.S.\$/mes).	67536

6.5. BENEFICIOS.

Los beneficios económicos correspondientes al presente proyecto son explicados por los ingresos de material recuperado, en toneladas, el cual será posteriormente utilizado en la fabricación del cemento, y también por los ajustes por depreciación y valor residual de los equipos del sistema.

El ingreso económico por recuperación de material (tratándose como si fuese ventas internas), depende del volumen de producción y del precio de venta de la materia cruda. El volumen de producción que dependerá de la eficiencia de funcionamiento de la TAG.

Tabla 6.6 Cuadro resumen de beneficios.

DESCRIPCION	COSTO (U.S.\$)
UTILIDAD NETA Material recuperado (1486 Tm/mes a 20 U.S.\$/Tm en 11 meses).	326920
VALOR RESIDUAL POR DEPRECIACION. (Considerando 20 años duración de equipos). Depreciación (Inv. Tang.+Inv. Intang.)/(20)	56039
TOTAL	382959

6.6. EVALUACIÓN DEL PROYECTO.

La evaluación económica global del proyecto se basa en el informe de factibilidad. Donde se considera que el 80% de la inversión total se a obtenido de préstamo bancario, a 10 años, con un año de gracia, con un tasa de interés de 15% anual, 5% constituye el capital de trabajo y el 10% es el activo fijo. En esta fase se integra la información técnica y financiera sobre el proyecto con

los datos pertinentes respecto a su ambiente económico, a fin de llegar a uno o unos pocos criterios, que sirvan de base para recomendar que el proyecto sea seleccionado, modificado o rechazado. Cabe señalar que la evaluación de un proyecto no comienza cuando finaliza su formulación o preparación. En verdad la formulación del proyecto y su evaluación económica parcial han de realizarse paralelamente y están en estrecha relación.

De todo el análisis se han obtenido los siguientes cuadros:

Tabla 6.7 Cuadro resumen de totales.

	CAPITAL SOCIAL	PRÉSTAMO	TOTAL
ACTIVO FIJO	168117	896626	1064744
CAPITAL DE TRABAJO	56039	0	56039
TOTAL	224157	896626	1120783

Para una buena evaluación de un proyecto existen criterios, que son modelos analíticos de racionalización, clasificados en dos grupos, atemporales y temporales.

6.6.1. CRITERIO DE EVALUACIÓN ATEMPORAL.

Este criterio se caracteriza porque no considera toda la vida del proyecto sino solo sus periodos iniciales. Además tampoco considera el costo del dinero en el tiempo. Entre los criterios de evaluación atemporal, podemos mencionar a los siguientes:

- Tasa de rendimiento
- Periodo de recuperación de la inversión.

6.6.1.1. TASA DE RENDIMIENTO:

Es la relación entre la utilidad neta en un año normal y la inversión original (costos de inversión y costos globales de operación). Esta tasa puede computarse o bien sobre la inversión total.

$$TR = \frac{U_n + I}{IT}$$

TR = Tasa de rendimiento de la inversión total.

U_n = Utilidad neta.

IT = Inversión total: 1'120,783

I = Intereses anuales.

Tabla 6.8. Flujos anuales de dinero

AÑOS	UTILIDAD NETA	INTERESES	DEPRECIACION	FLUJOS
1	326,920	134,494	56,039	517,453
2	326,920	127,870	56,039	510,829
3	326,920	120,252	56,039	503,211
4	326,920	111,492	56,039	494,451
5	326,920	101,417	56,039	484,376
6	326,920	89,832	56,039	472,791
7	326,920	76,508	56,039	459,467
8	326,920	61,186	56,039	444,145
9	326,920	43,566	56,039	426,525
10	326,920	23,303	56,039	406,262
11	326,920	0	56,039	382,959
12	326,920	0	56,039	382,959
13	326,920	0	56,039	382,959
14	326,920	0	56,039	382,959
15	326,920	0	56,039	382,959
16	326,920	0	56,039	382,959
17	326,920	0	56,039	382,959
18	326,920	0	56,039	382,959
19	326,920	0	56,039	382,959
20	326,920	0	56,039	382,959

Tabla 6.9 TR en los 20 años de duración del proyecto.

AÑOS	TR(%)	AÑOS	TR(%)
1	41.17	11	29.17
2	40.58	12	29.17
3	39.90	13	29.17
4	39.12	14	29.17
5	38.22	15	29.17
6	37.18	16	29.17
7	36.00	17	29.17
8	34.63	18	29.17
9	33.06	19	29.17
10	31.25	20	29.17

Como las tasas TR son más elevadas que la tasa de interés que rige en el mercado, el proyecto se puede considerarse como bueno desde este punto de vista.

6.6.1.2. PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE INVERSIÓN.

Con este método se mide el tiempo necesario que debe de transcurrir, para que un proyecto devuelva el total de su inversión por medio de sus utilidades netas. El período de recuperación de la inversión es aquel durante el cual un proyecto acumulara suficientes utilidades netas como para igualar a su inversión total.

$$PR = \frac{IT}{\sum_{t=0}^p (Un_t + I_t + D_t)}$$

Donde:

PR = Período de recuperación de la inversión.

IT = Inversión total.

Un_t = Utilidad neta en el año t.

D_t = Depreciación del año t.

I_t = Intereses en el año t.

Tabla 6.10 Tiempo de recuperación de la inversión.

AÑOS	FLUJOS	RECUPERACION INVERSION
0		1,120,783.03
1	517,453.12	603,329.92
2	510,829.01	92,500.91
3	503,211.29	
4		

PR = 2 años + 3 meses

6.6.2. CRITERIO DE EVALUACIÓN TEMPORAL.

Este criterio se caracteriza porque se considera toda la vida del proyecto. Están basados en flujos descontados. Entre los criterios de evaluación temporal, podemos mencionar a los siguientes:

- Valor actual neto (VAN).
- Valor presente neto (VPN).
- Tasa interna de retorno (TIR).
- Relación Beneficio-costos (B/C).

6.6.2.1. VALOR ACTUAL NETO (VAN).

Es la medida más directa del flujo de fondos actualizados, para determinar el valor de un proyecto. El VAN, mide en moneda de hoy, cuánto más rico es el inversionista por invertir en el proyecto en lugar de hacerlo en la alternativa que rinde la tasa de actualización.

$$VAN = - VAI + VAB - VAC$$

Donde:

VAI = Valor actual de la inversión.

VAB = Valor actual de beneficios.

VAC = Valor actual de costos.

Expresando la formula de forma diferente:

$$VAN = - I_0 + \sum_{n=1}^t \frac{B}{(1+i)^n} + \sum_{n=1}^t \frac{C}{(1+i)^n}$$

Donde:

I_0 = Inversión inicial en el año cero

B = Beneficios

C = Costos

i = Tasa de interes.

n = Número de años.

Tabla 6.11 Tabla de calculo del VAN.

VALOR ACTUAL NETO

$$\text{VAN} = -\text{VAI} + \text{VAB} - \text{VAC}$$

$$\text{VAI} = 1,120,783$$

$$\text{VAB} = 2,397,068$$

$$\text{VAC} = 534,046$$

$$\text{VAN} = 742,239$$

$$i = 0.15$$

AÑOS	INVERSION	BENEFICIOS	COSTOS	FLUJO NETO	VAB	VAC
0	1,120,783					
1		382,959	85,320	297,639	333008	74191
2		382,959	85,320	297,639	289572	64514
3		382,959	85,320	297,639	251802	56099
4		382,959	85,320	297,639	218958	48782
5		382,959	85,320	297,639	190398	42419
6		382,959	85,320	297,639	165564	36886
7		382,959	85,320	297,639	143969	32075
8		382,959	85,320	297,639	125190	27891
9		382,959	85,320	297,639	108861	24253
10		382,959	85,320	297,639	94662	21090
11		382,959	85,320	297,639	82314	18339
12		382,959	85,320	297,639	71578	15947
13		382,959	85,320	297,639	62242	13867
14		382,959	85,320	297,639	54123	12058
15		382,959	85,320	297,639	47064	10485
16		382,959	85,320	297,639	40925	9118
17		382,959	85,320	297,639	35587	7928
18		382,959	85,320	297,639	30945	6894
19		382,959	85,320	297,639	26909	5995
20		382,959	85,320	297,639	23399	5213
TOTALES					2397068	534046

6.6.2.2. VALOR PRESENTE NETO (VPN).

Es un criterio análogo al VAN, con la diferencia que en este caso los cálculos se realizan a partir del beneficio neto o flujo neto (diferencial de beneficios menos costos de cada año).

$$VPN = -I_0 + \sum_{n=1}^t \frac{FN}{(1+i)^n}$$

Donde:

FN = Flujo neto o beneficio neto.

t = Vida útil del proyecto en años.

Tabla 6.12 Tabla de calculo del VPN.

$$VPN = -VAI + VFNA$$

$$VAI = 1120783.03$$

$$VFNA = 1863022.11$$

$$VPN = 742239.08$$

$$i = 0.15$$

AÑOS	INVERSION	BENEFICIOS	COSTOS	FLUJO NETO	VFNA
0	1,120,783				
1		382,959	85,320	297,639	258817
2		382,959	85,320	297,639	225058
3		382,959	85,320	297,639	195703
4		382,959	85,320	297,639	170176
5		382,959	85,320	297,639	147979
6		382,959	85,320	297,639	128678
7		382,959	85,320	297,639	111894
8		382,959	85,320	297,639	97299
9		382,959	85,320	297,639	84608
10		382,959	85,320	297,639	73572
11		382,959	85,320	297,639	63976
12		382,959	85,320	297,639	55631
13		382,959	85,320	297,639	48375
14		382,959	85,320	297,639	42065
15		382,959	85,320	297,639	36578
16		382,959	85,320	297,639	31807
17		382,959	85,320	297,639	27658
18		382,959	85,320	297,639	24051
19		382,959	85,320	297,639	20914
20		382,959	85,320	297,639	18186
TOTAL					1863022

6.6.2.3. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).

Consiste en medir el valor de un proyecto, encontrando la tasa de actualización que haga el valor presente neto igual a cero.

El TIR es el interés máximo que podría pagar un proyecto por los recursos utilizados si se desea que el proyecto recupere su inversión y los costos de operación.

El criterio de selección formal de la medida del TIR es aceptar todos los proyectos independientes que tengan una tasa de rentabilidad interna igual o mayor al costo del capital ponderado.

$$I_0 = \sum_{n=1}^t \frac{FN_n}{(1+i)^n}$$

El objetivo es buscar una tasa "i" que haga el VPN igual a cero, lo cual se logra con TIR=0.2630773, que en porcentaje sería TIR = 26.31%.

Tabla 6.13 Tabla de calculo del TIR.

AÑOS	INVERSION	BENEFICIOS	COSTOS	FLUJO NETO	TIR1
0	1,120,783				
1		382,959	85,320	297,639	235646
2		382,959	85,320	297,639	186565
3		382,959	85,320	297,639	147707
4		382,959	85,320	297,639	116942
5		382,959	85,320	297,639	92585
6		382,959	85,320	297,639	73301
7		382,959	85,320	297,639	58034
8		382,959	85,320	297,639	45946
9		382,959	85,320	297,639	36376
10		382,959	85,320	297,639	28800

11		382,959	85,320	297,639	22801
12		382,959	85,320	297,639	18052
13		382,959	85,320	297,639	14292
14		382,959	85,320	297,639	11315
15		382,959	85,320	297,639	8959
16		382,959	85,320	297,639	7093
17		382,959	85,320	297,639	5615
18		382,959	85,320	297,639	4446
19		382,959	85,320	297,639	3520
20		382,959	85,320	297,639	2787
				TOTAL	0

6.6.2.4. RELACION BENEFICIO COSTO (B/C).

Es la relación que se obtiene cuando el valor actual de la corriente de beneficios (VAB) se divide todo por el valor actual de la corriente de costos (VAC) incluido el valor actual de la inversión (VAI).

El criterio formal de selección para la medida de la relación (B/C), del valor del proyecto, es aceptar todos los proyectos independientes con una relación beneficio - costo igual o mayor a uno.

$$\text{Relación (B / C)} = \frac{\text{VAB}}{\text{VAI} + \text{VAC}}$$

VAI=	1,120,783.03
VAB=	2,397,068.27
VAC=	534,046.16
B/C =	1.45

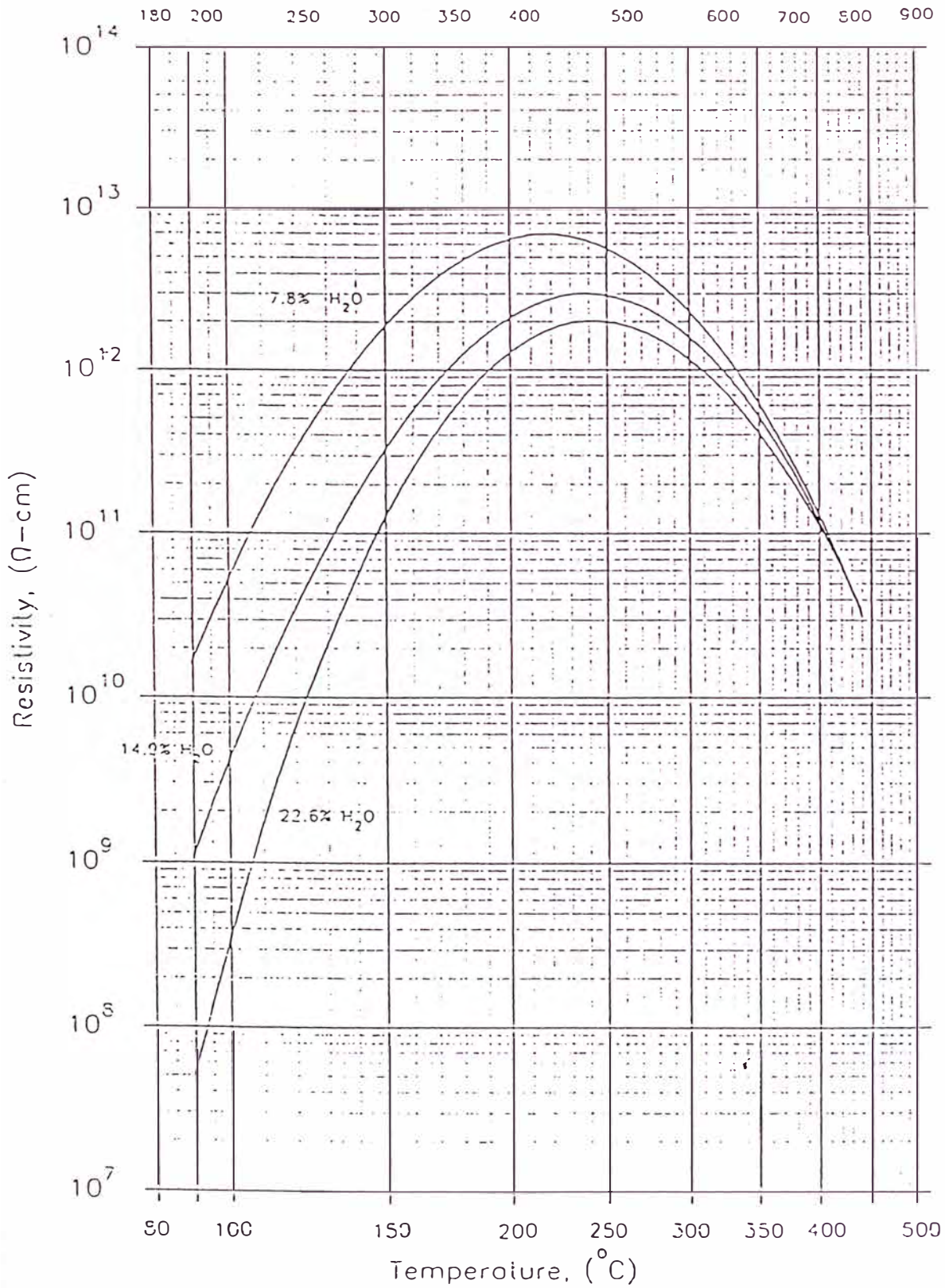
BIBLIOGRAFIA

1. **MASSUEL GRAU U.** “Eliminación del Polvo”.
2. **DEINKEN PHILIP.** “El polvo en la Ingeniería”.
3. **L.M. ROBERTS.** “Precipitación Electrostática”. Enciclopedia Técnica Química, Tomo XIII.
4. **LURGI.** “Captación de polvo en las fabricas de Cemento”.
5. **LURGI.** “Electrostatic Precipitator with wide passage spacing”. Information from research laboratory.
6. **FLS-REVIEW, JOERDEN HABIND.** ”Maintenance of precipitator and conditioning towers”.
7. **ZKG, K. ELLINGEN.** “Experience with electrostatic precipitator in the cement industry”.
8. **LURGI.** Spray System for evaporation colers.
9. **KAI AAGE JENSEN.** Filtros electrostaticos para plantas industriales, nuevas tecnologías para la separación electrostática del polvo. Cemento Hormigón, Abril 1989.
10. **ALDO SOLIMANO.** “Efecto de la puesta en operación de la torre de enfriamiento en el funcionamiento de los electrofiltros”.
11. **Ing. GLENNY A. BELLIDO ESPINOZA.** “Estudio de Investigación tecnológica para acondicionamiento de gases de escape de los hornos con el fin de mejorar la eficiencia de despolvorización de los actuales electrofiltros.
12. **GONZALES, D. M.** “La Industria del Cemento en el Perú”. Lima 1989.

13. **LABAHN, OTTO.** “Prontuario del Cemento”. Editores Técnicos Asociados S.A. España, 1985.
14. **MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS.** “Minería y Medio ambiente un enfoque técnico legal de la minería en el Perú”. Lima, 1993.
15. **OMS.** “Evaluación de la exposición profesional a partículas atmosféricas”. Ginebra, 1984.
16. **LAA BAHN/KOHLHAAS.** “Environmental protection, prevention of air pollution”. Cement Engineer’s Handbook.
17. **CURSO DE CEMENTO HOLDERBANK.** “Manual de medición de flujos”.
18. **KRAMER J. SCHIATZLEIN.** “Dust Collectors”. Proceedings 1982.

Figure 13. Resistivity in accordance with IEEE Standard 548-1984, descending temperature mode.

Lafarge Corporation
Balcones Plant
Temperature, ($^{\circ}$ F)



Sample Identification
580323-A
50/50 mix of Ec
West Sides of ES
the Row Mill On.
Samples 01 and

Electric Field < 4 kV/cm

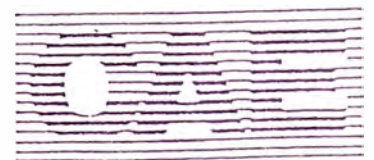
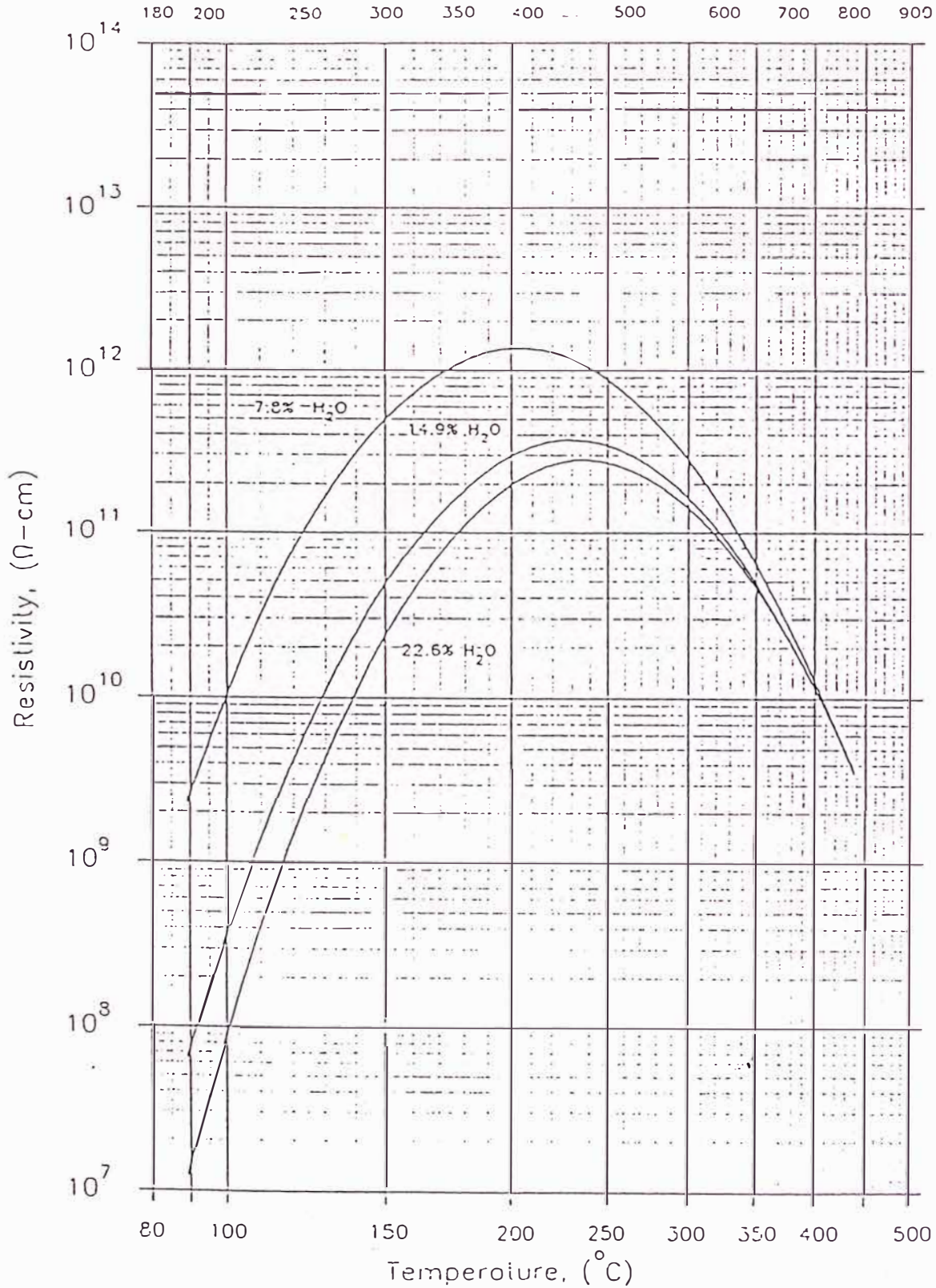


Figure 14. Resistivity in accordance with IEEE Standard 548-1984, descending temperature mode.

Lafarge Corporation

Balcones Plant

Temperature, ($^{\circ}$ F)

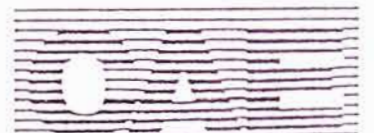


Sample Identific
580323-B
50/50 mix of
West Sides of
the Row Mill C
Samples 03 c

Electric Field < 4 kV/cm

CAE-323

August, 1992



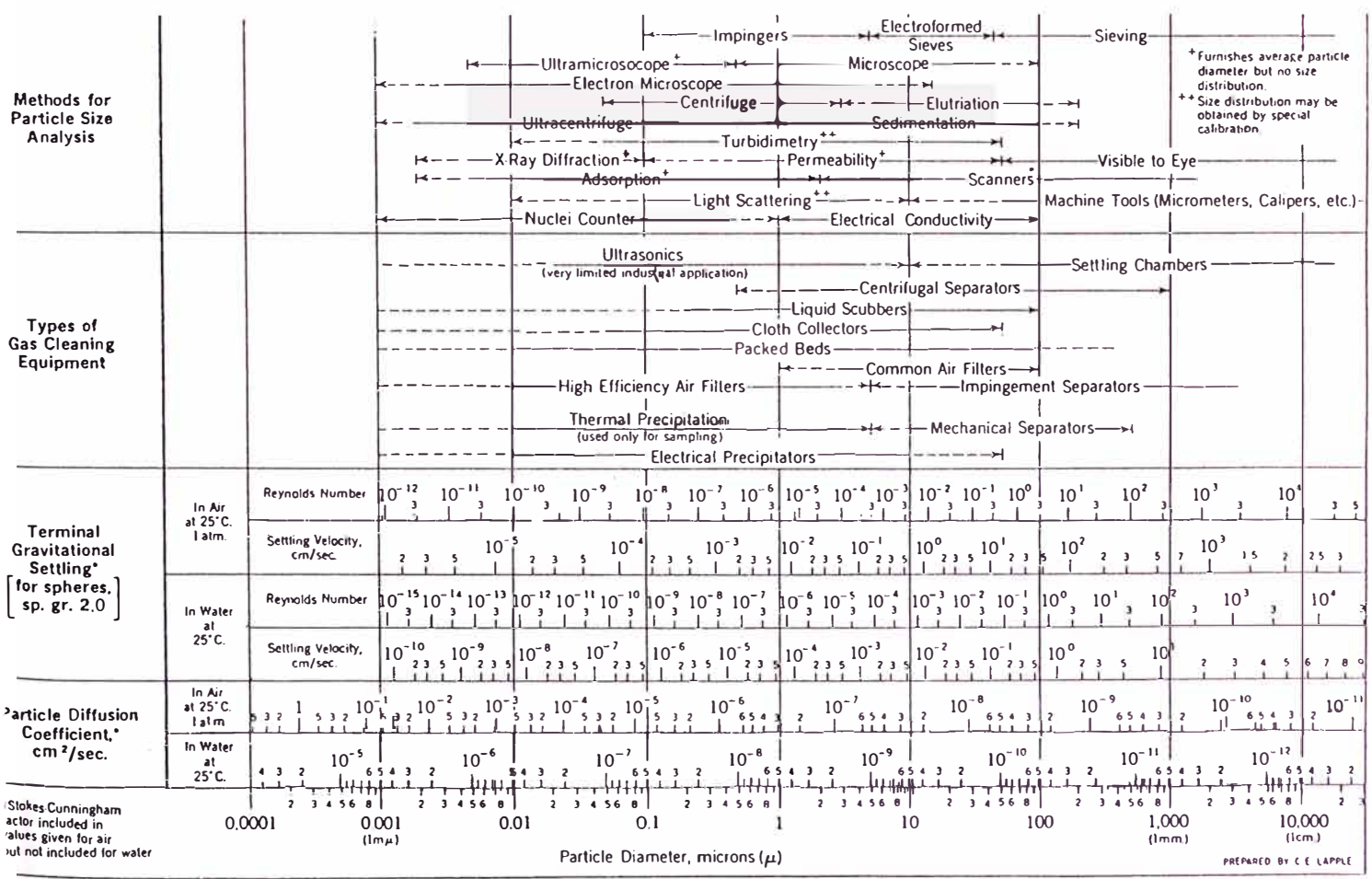
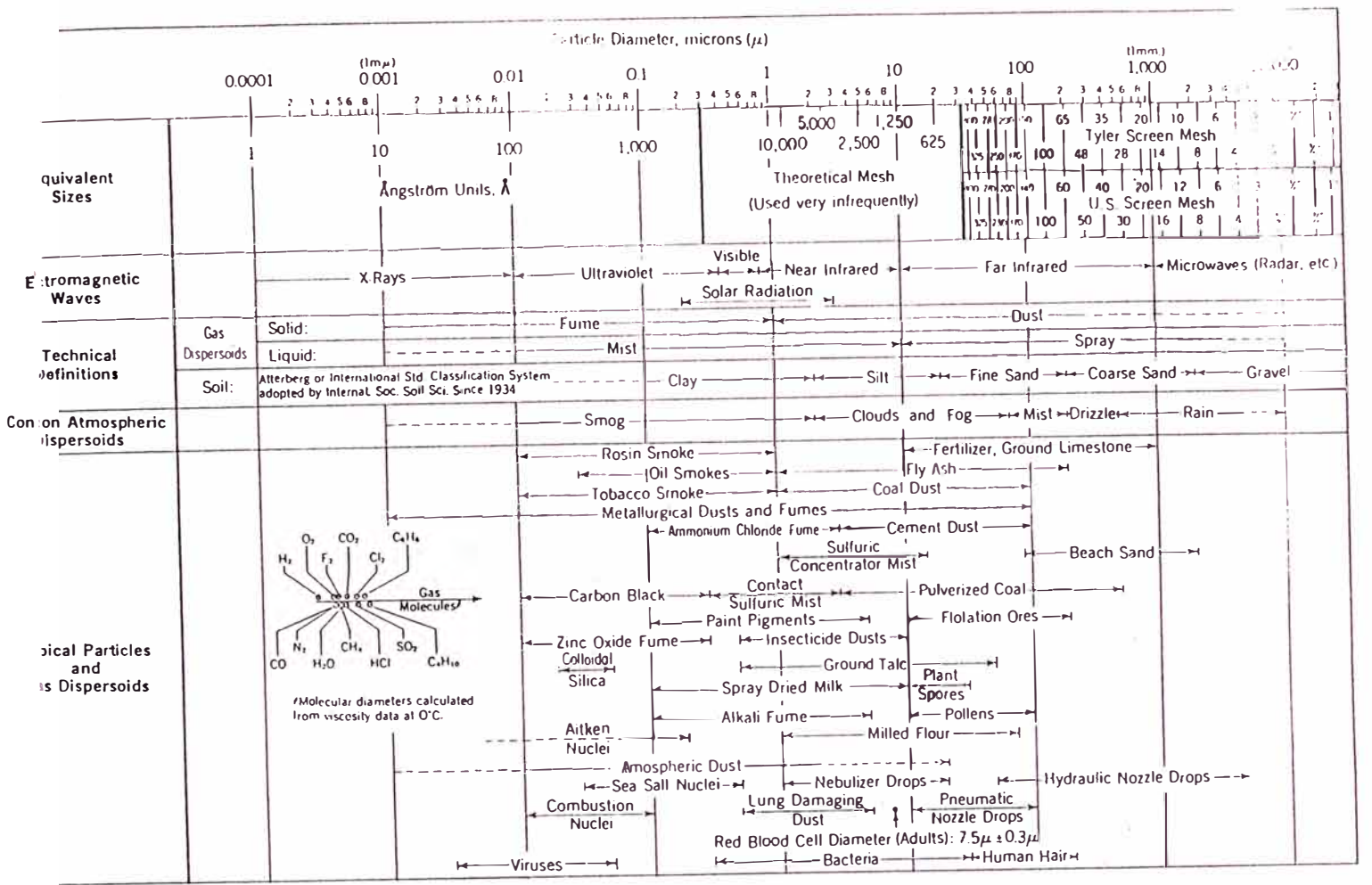
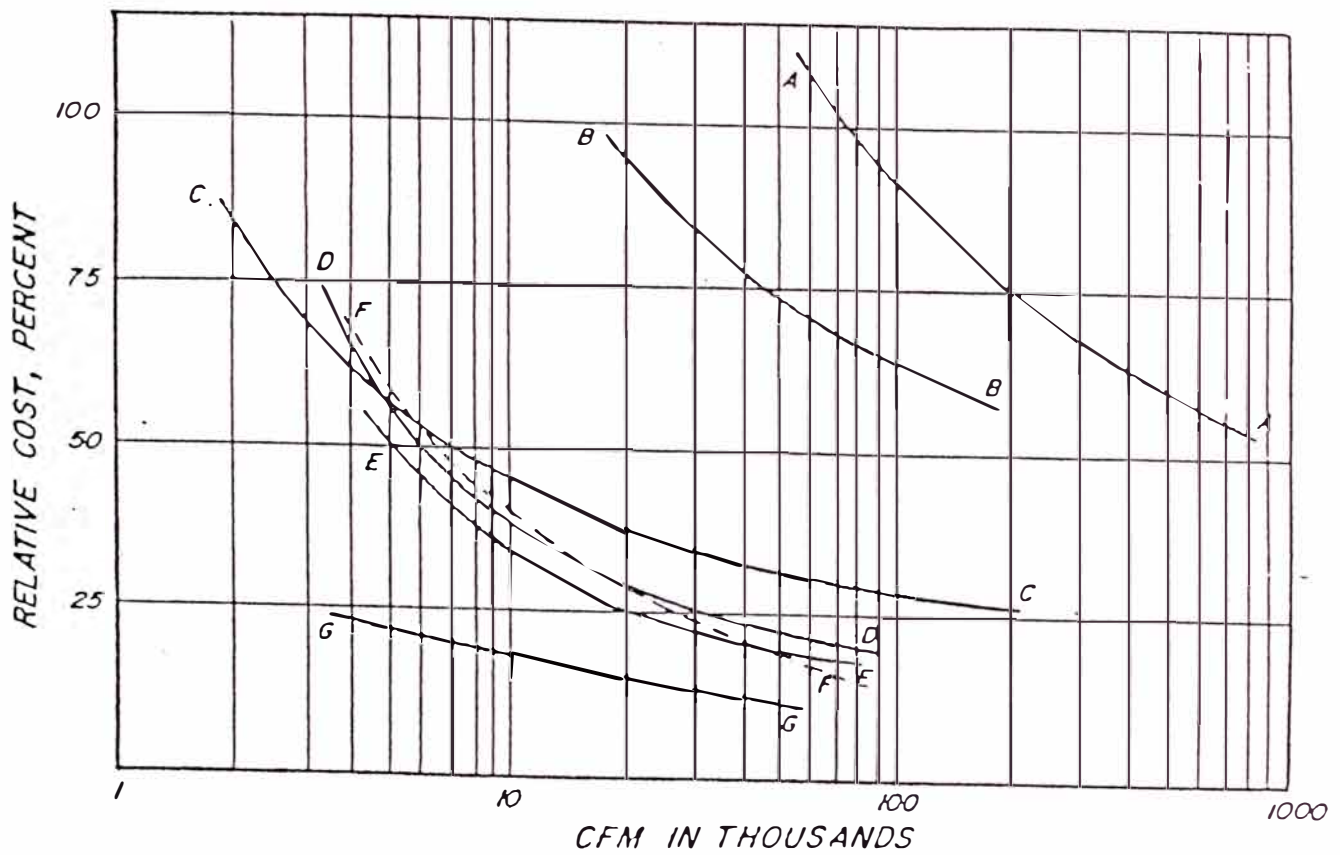


Fig.4-5 Characteristics of particles and particle dispersoids. (Courtesy Stanford Research Institute)

PREPARED BY C.E. LAPPLE

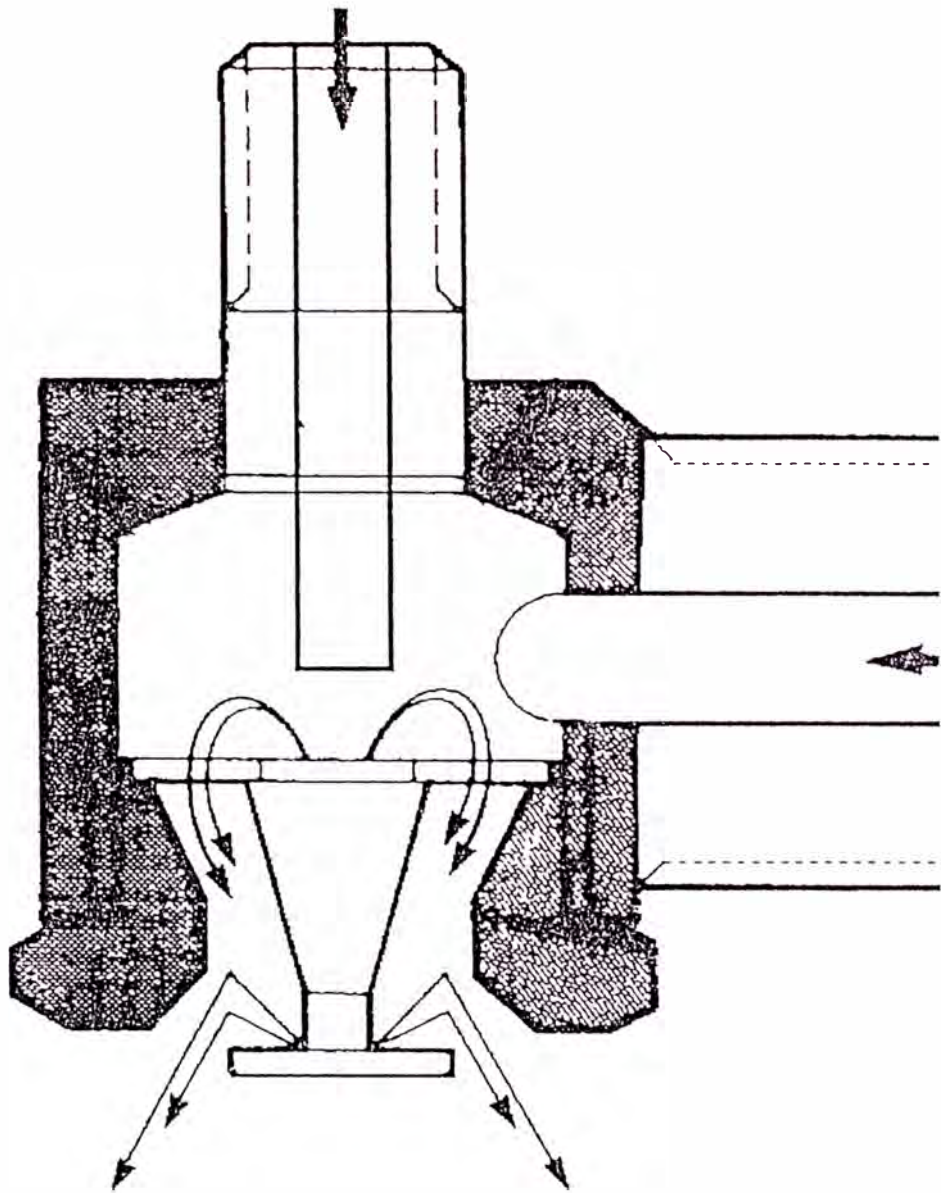


Appendix C



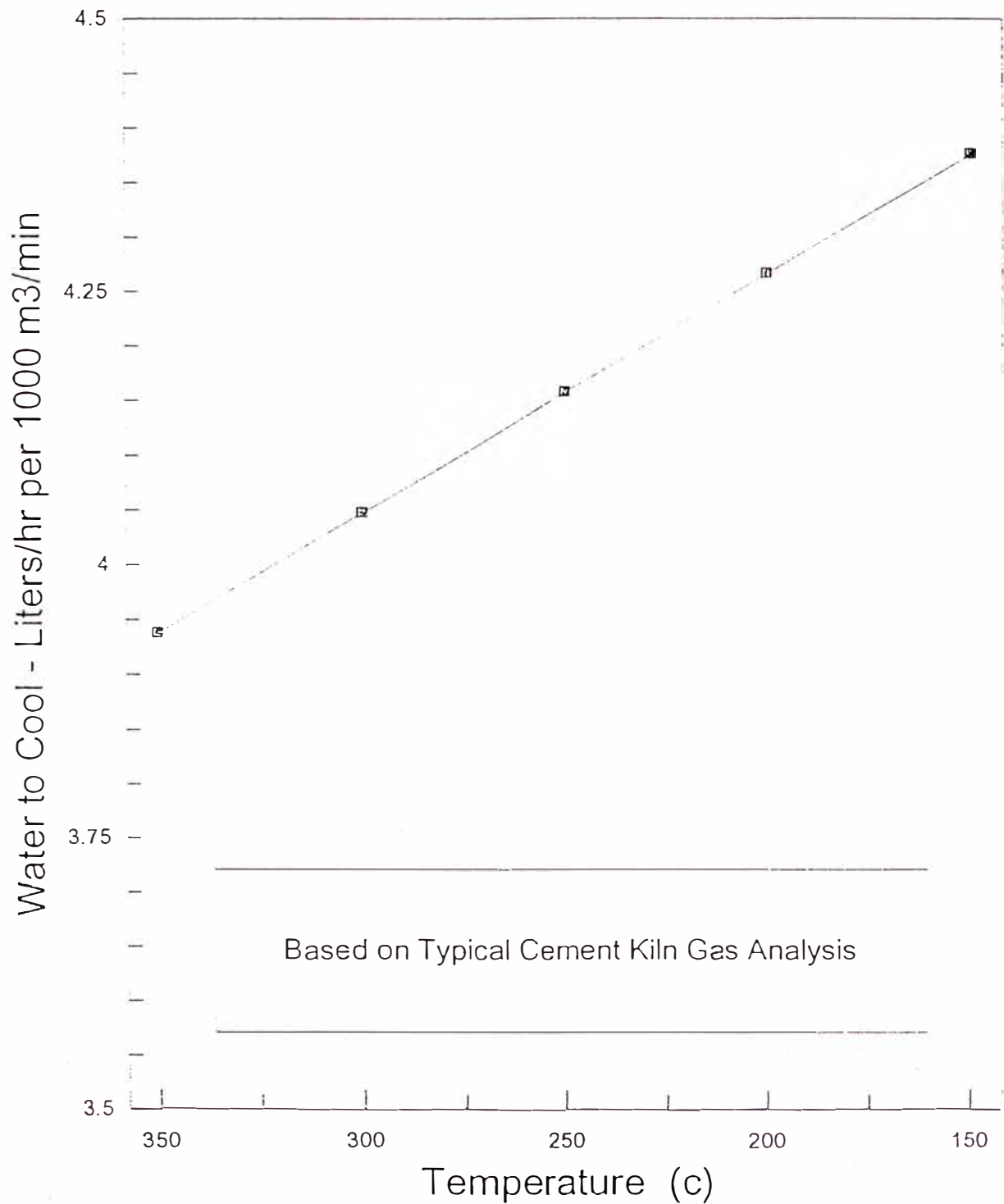
- A. High voltage precipitator (minimum cost range)
- B. Continuous duty high temperature fabric collector (2.0:1)
- C. Continuous duty reverse pulse (8:1)
- D. Wet collector
- E. Intermittent duty fabric collector (2.0:1)
- F. Low voltage precipitator
- G. Cyclone

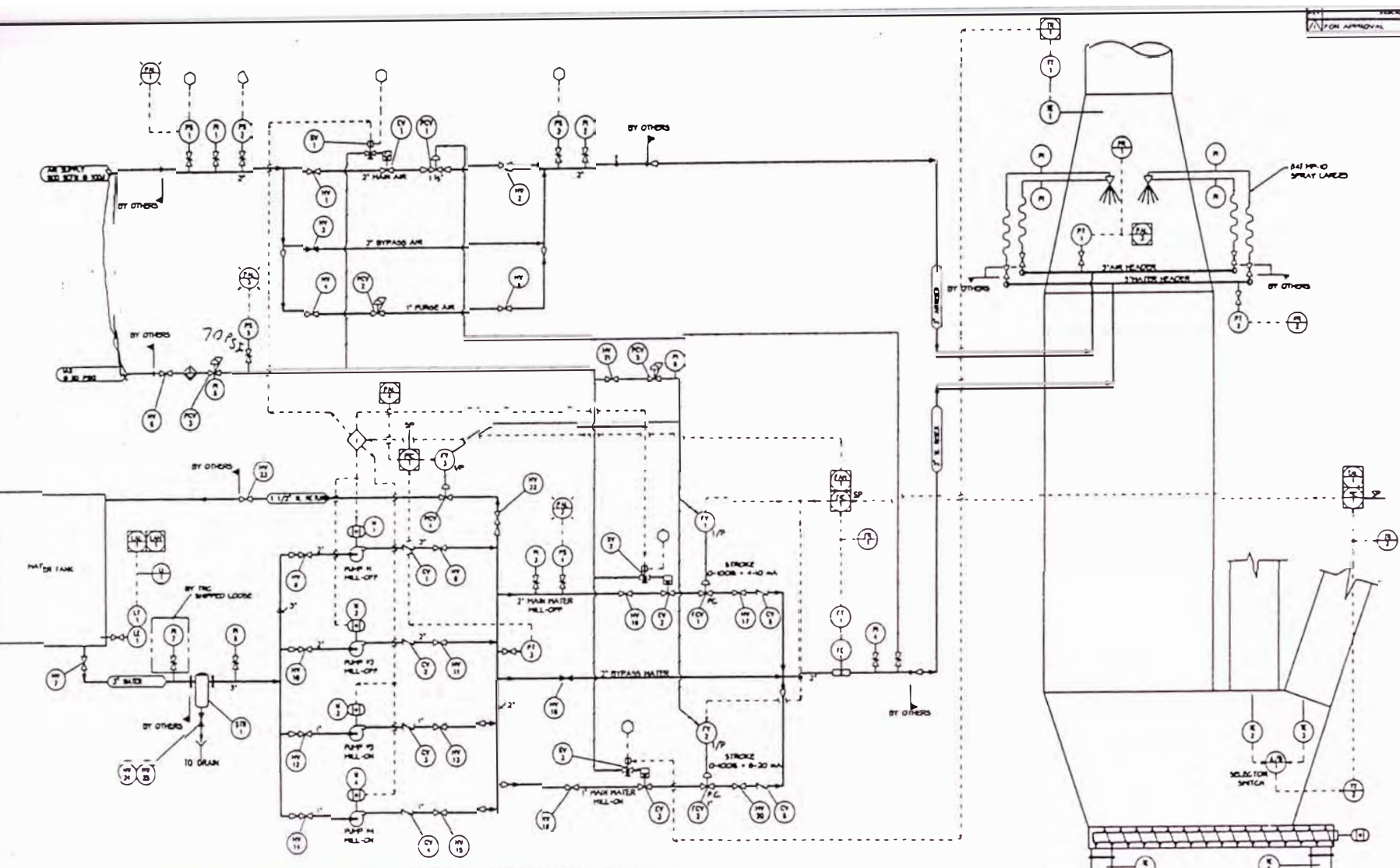
FIGURE 3



Centrifugal Type Air Assist Nozzle
Raring Corporation MP Series

Water Required to Cool





SYMBOLS

	PUMP		MANUAL BALL VALVE		DISCRETE INTERFACE
	MOTOR		DUPLEX STRAINER		LOCAL MOUNTED DEVICES
	ELECTRONIC CONTROL VALVE		FLOWMETER		LOCAL PANEL MOUNTED DEVICES
	PRESSURE CONTROL VALVE		CHECK VALVE		PROCESS CONTROL FUNCTION DEVICES
	PRESSURE REGULATOR VALVE		1/4" BALL VALVE		PROCESS CONTROL INTERLOCK
	SOLENOID VALVE		ORIFICE		LIGHT INDICATOR
	3-WAY SOLENOID VALVE		REDUCER		
	FLOW DIRECTION				

TAG DESCRIPTION

CV	CHECK VALVE
EV	BLOCK VALVE
FE	FLOW ELEMENT
FAM	FLOW ALARM HIGH
FCV	FLOW CONTROL VALVE
FIC	FLOW INDICATING CONTROLLER
FR	FLOW RECORDER
FT	FLOW TRANSMITTER
FY	1/P TRANSDUCER
HV	MANUAL SHUT OFF VALVE
LE	LEVEL ELEMENT
LT	LEVEL TRANSMITTER
U	LEVEL INDICATOR
LAL/LAH	LEVEL ALARM LOW / HIGH
W	ELECTRIC MOTOR

TAG DESCRIPTION

PCV	PRESSURE CONTROL VALVE
PR	PRESSURE RECORDER
PI	PRESSURE INDICATOR
PIC	PRESSURE INDICATING CONTROLLER
PS	PRESSURE SWITCH
PT	PRESSURE TRANSMITTER
PAL	PRESSURE LOW ALARM
STR	STRAINER
SV	SOLENOID VALVE
TAH	TEMP. HIGH ALARM
TE	TEMPERATURE ELEMENT
TC	TEMP. INDICATING CONTROLLER
TR	TEMPERATURE RECORDER
TT	TEMPERATURE TRANSMITTER

TRC
 The Raring Corporation
 1717 - 17th Street, San Francisco, CA 94133

CUSTOMER
 CEMENTO ANDINO

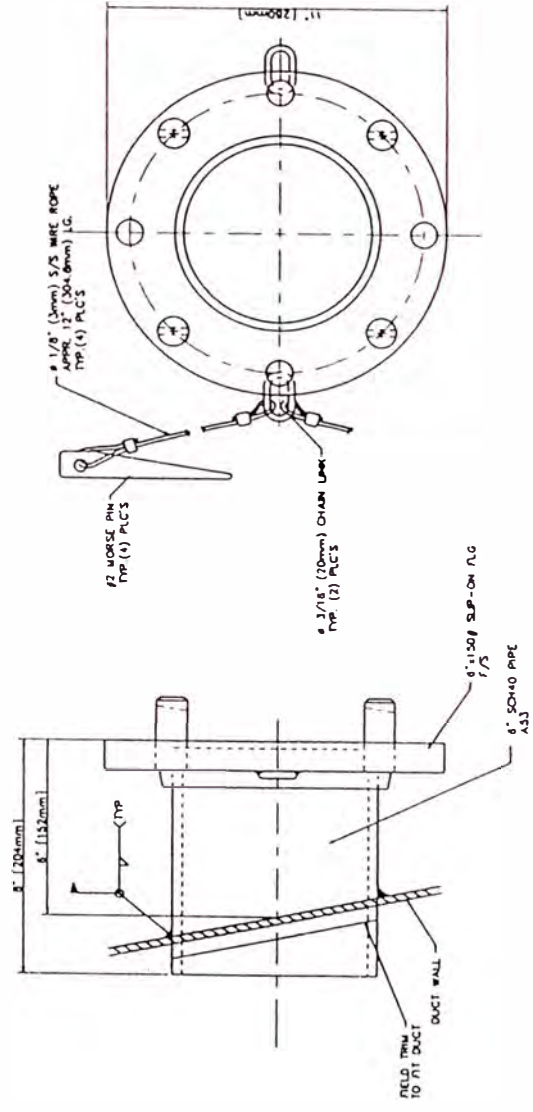
ORDER NO. 01-11-1 CONTRACT NO. 01-11-17 P&C 212

TITLE: PIPING & INSTRUMENTATION DIAGRAM

SCALE: 1"=1'-0" SHEET: 212-10

GENERAL NOTES:

1. SHOP PRIME ALL CARBON STEEL PARTS.
2. (14) IDENTICAL ASSEMBLIES REQUIRED.



TRC
 TRC Engineering Corporation
 2117 West 10th Street, Vancouver, B.C. V6H 2T6, Canada
 Phone: (604) 273-1111 Fax: (604) 273-1112

TRC
 TRC Engineering Corporation
 2117 West 10th Street, Vancouver, B.C. V6H 2T6, Canada
 Phone: (604) 273-1111 Fax: (604) 273-1112

CUSTOMER: CEMENTO ANORO

PROJECT NO: 212-4

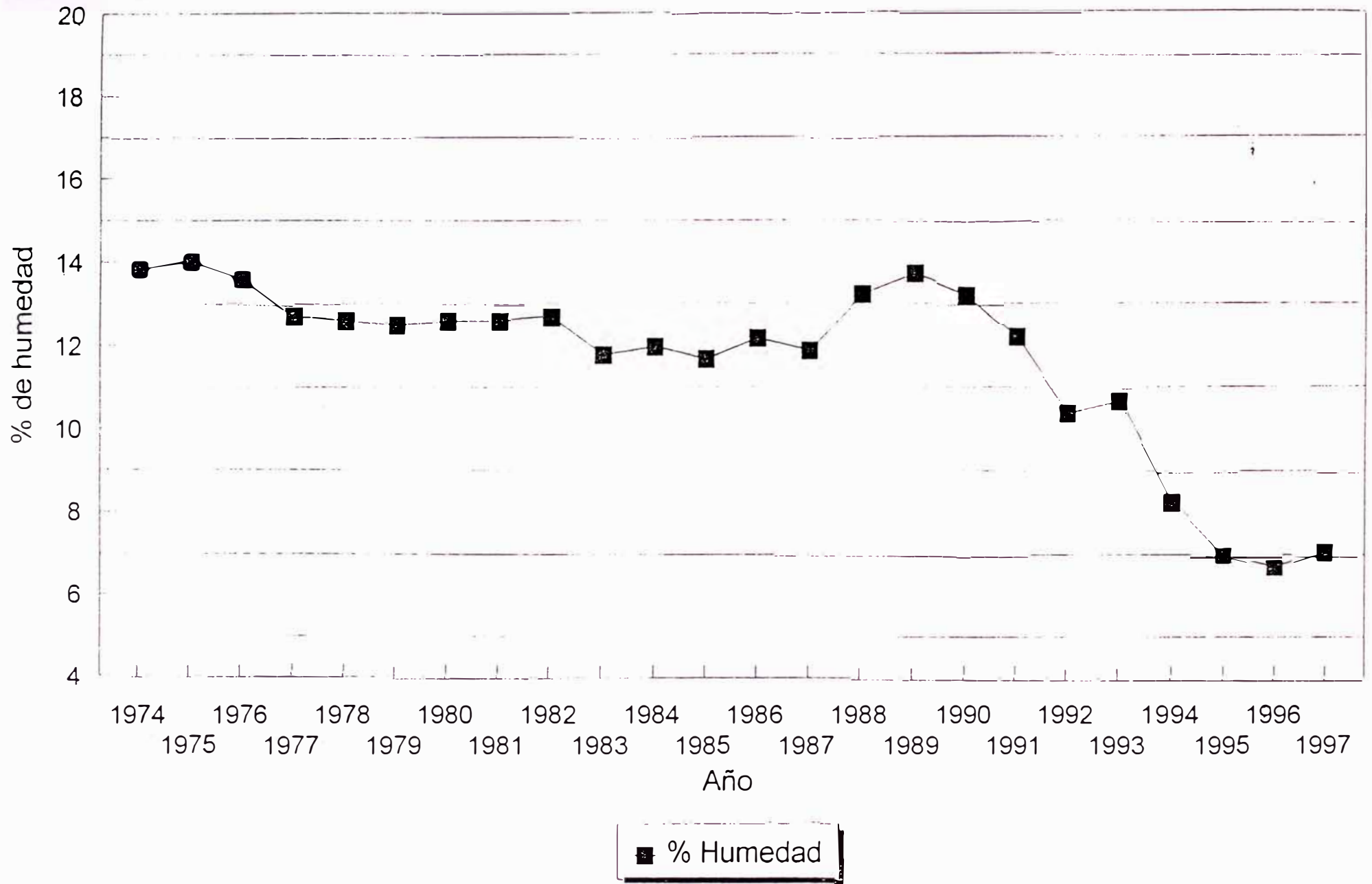
DATE: 05/01/00

SCALE: AS SHOWN

TITLE: MOUNTING BOX ASSY

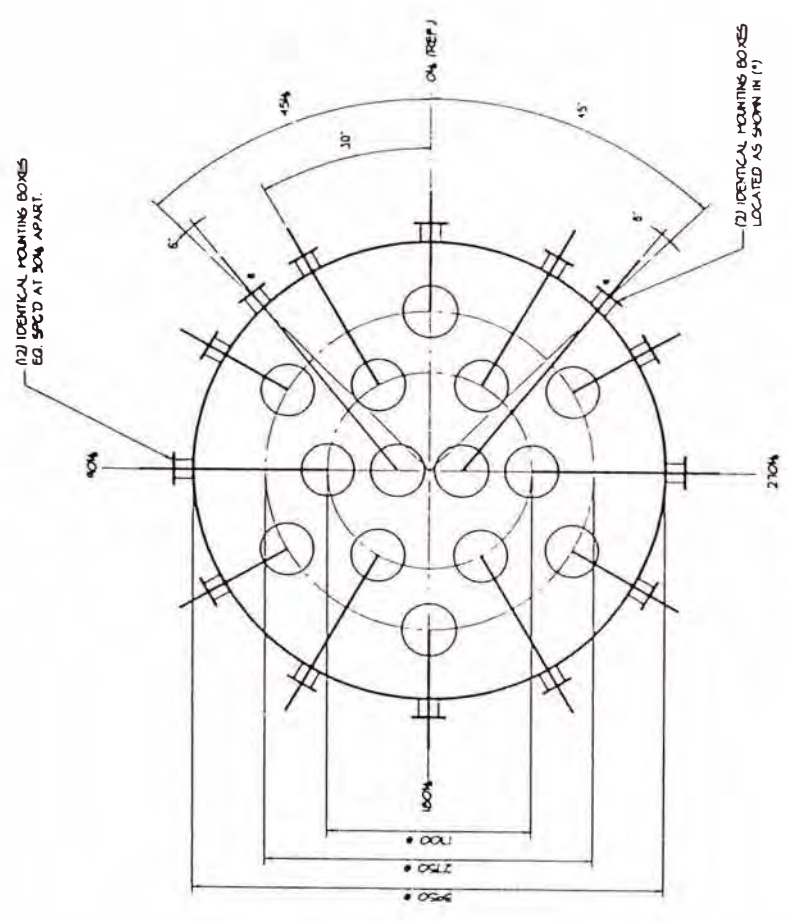
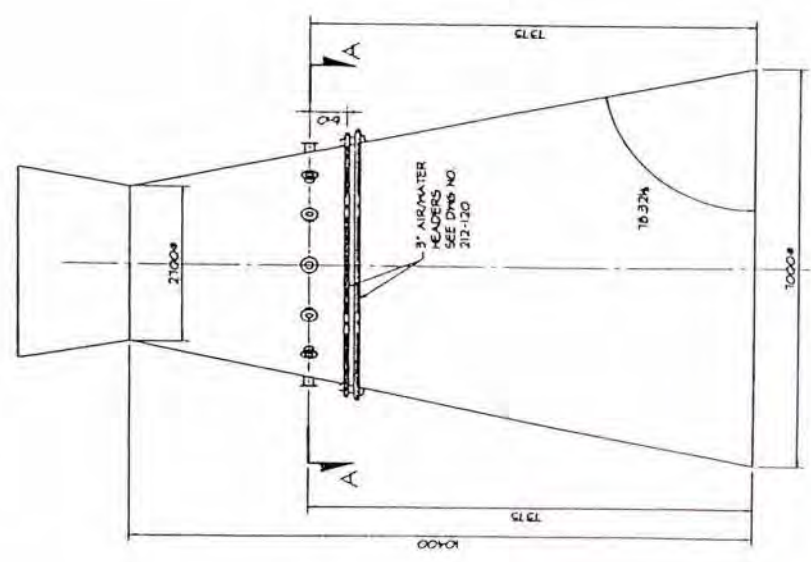
SHEET: 1 OF 1

Humedad promedio de materias primas



GENERAL NOTES:

1. (1) IDENTICAL MOUNTING BOXES SUPPLIED BY THE RARINGS CORP. AND INSTALLED BY OTHERS.
- (2) LOCATED AT 30% EQUALLY SPAC'D ON 360% CIRCUMFERENCE.
- (3) LOCATED AS SHOWN IN (1).
2. FOR AIR/WATER HEADERS DETAILS SEE DWS #212-120.



SECTION "A-A"

TIRC Rarings

1111 Pacific Avenue, San Francisco, CA 94107
Tel: 415.774.1111 Fax: 415.774.1112

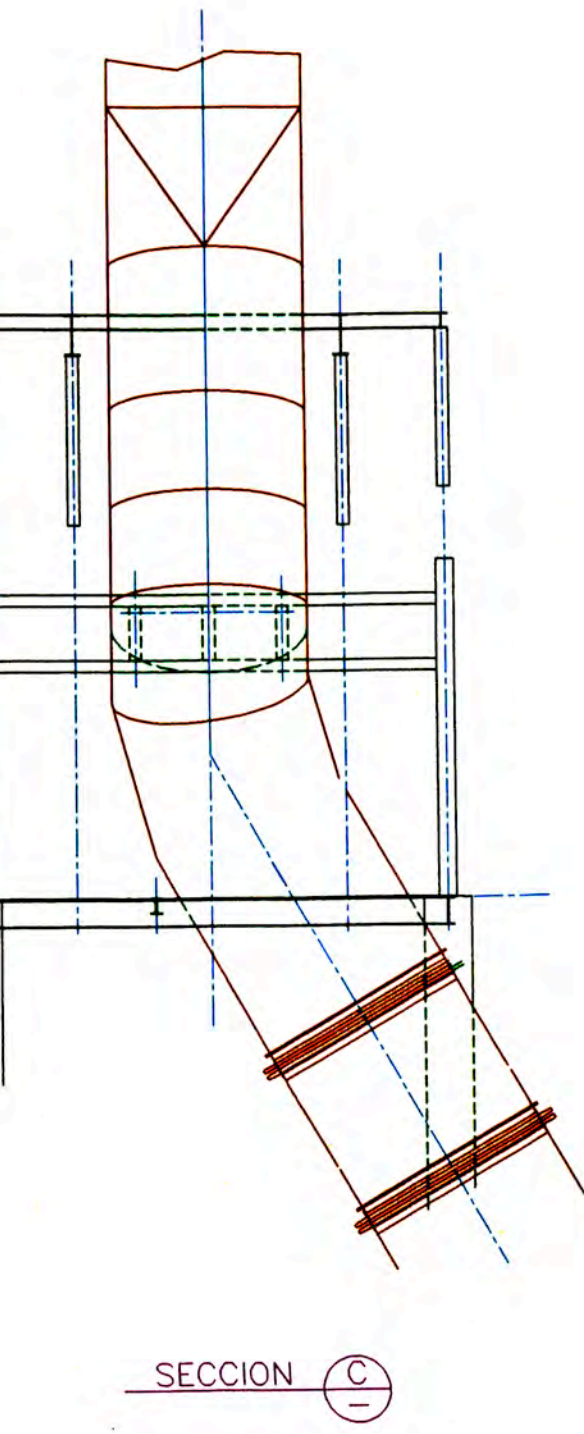
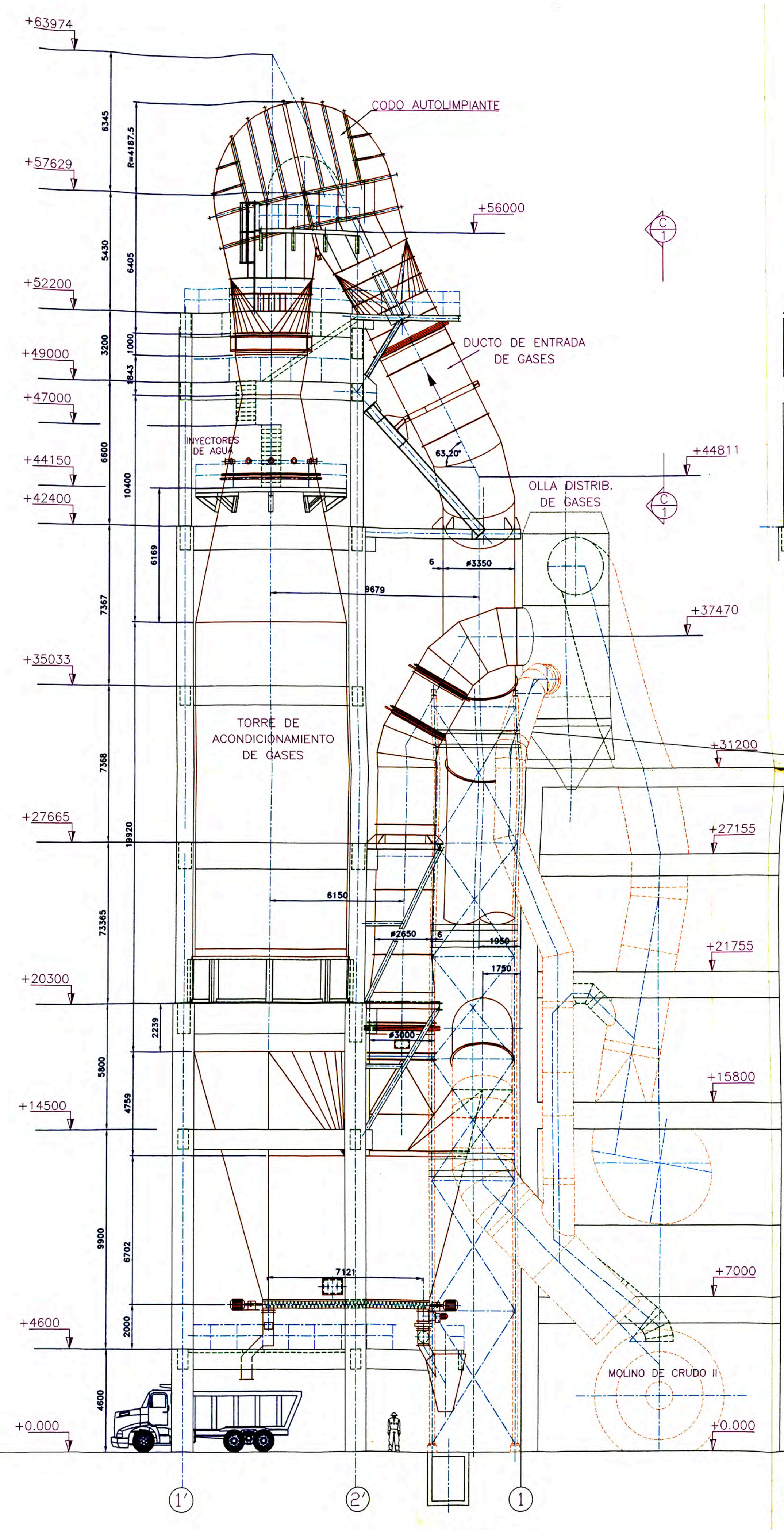
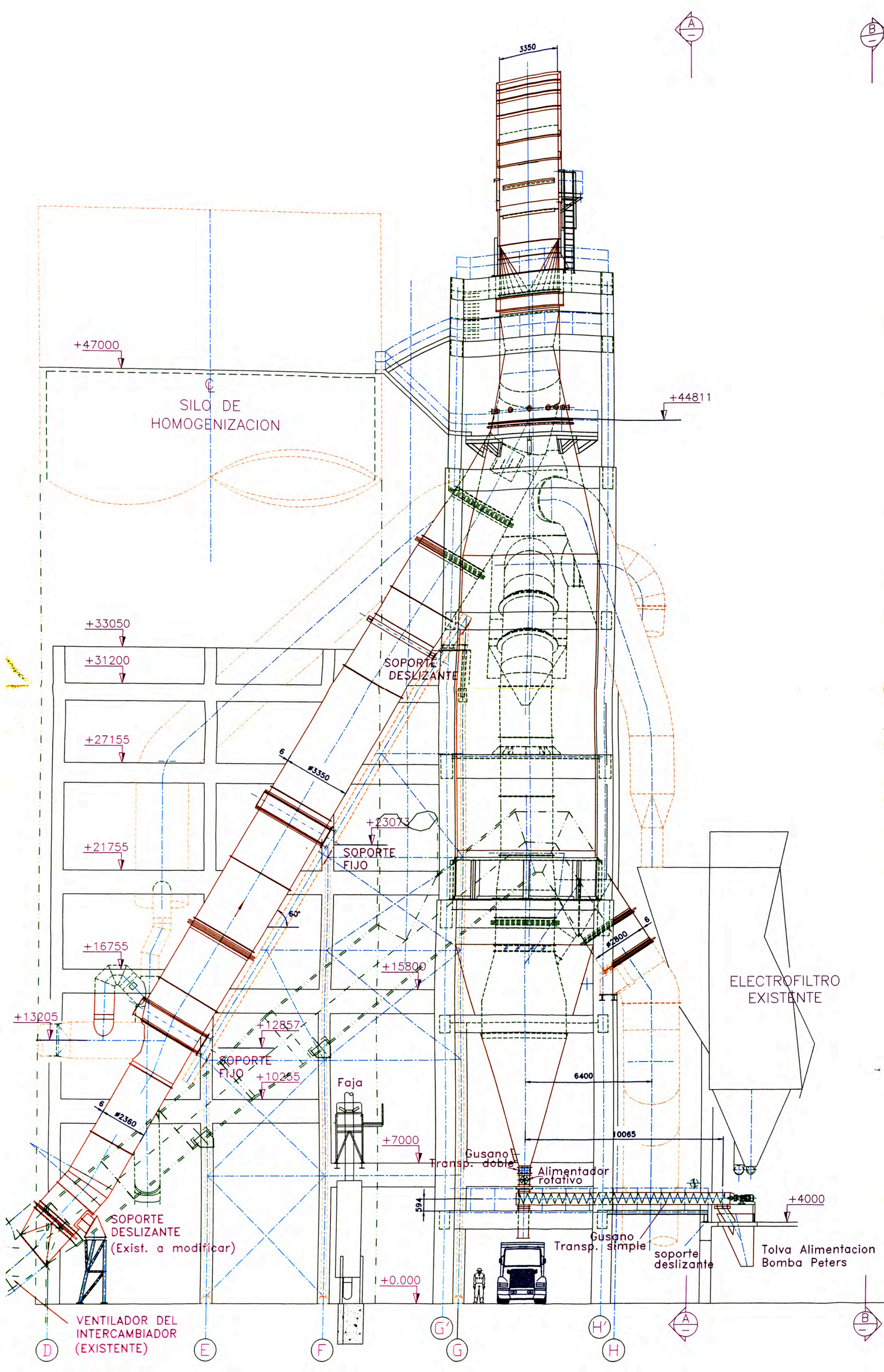
Customer: **DMAC/ORTON AKONO**

Contract: **212-110**

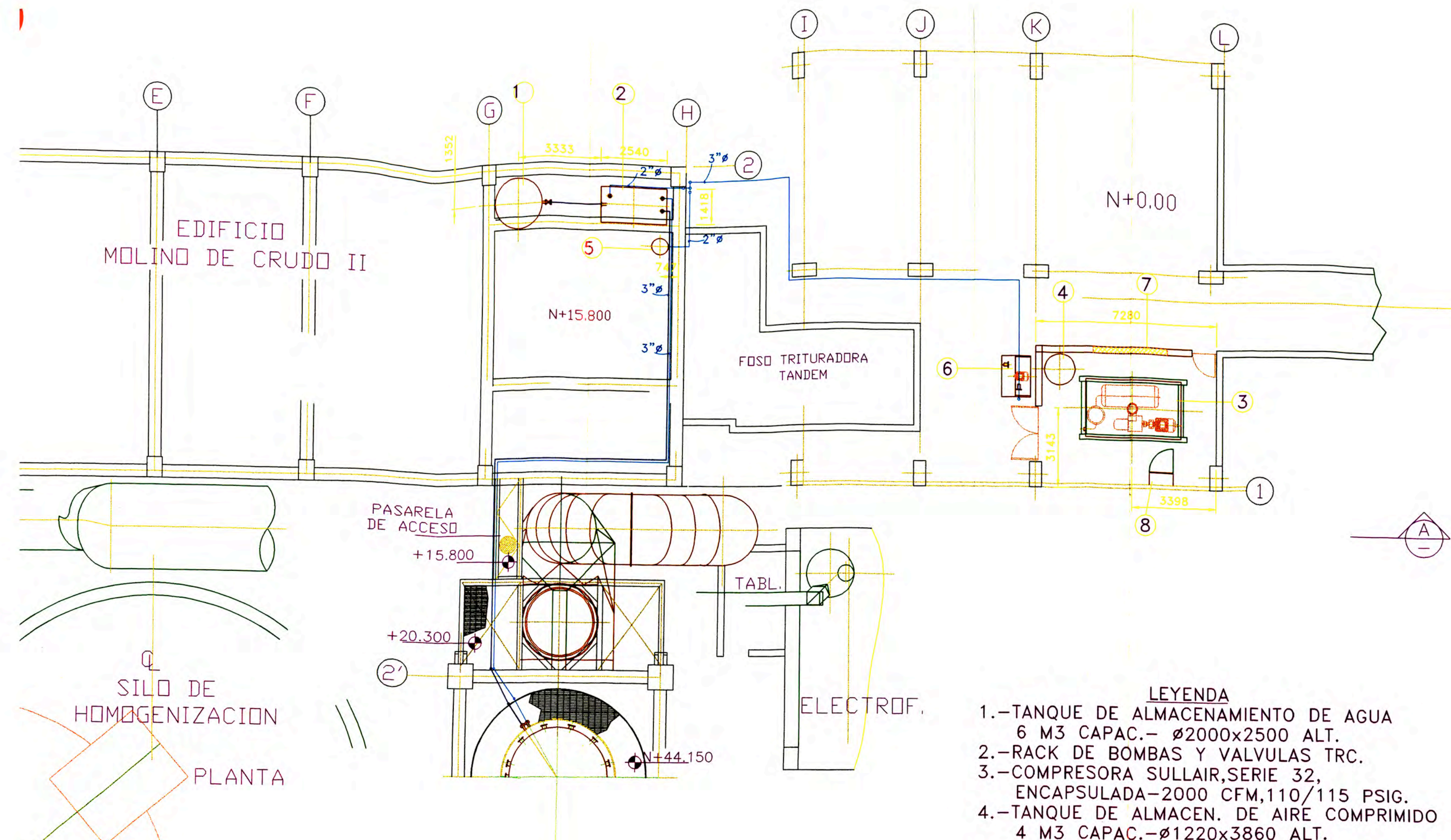
Sheet: **3**

Scale: **1" = 1'-0"**

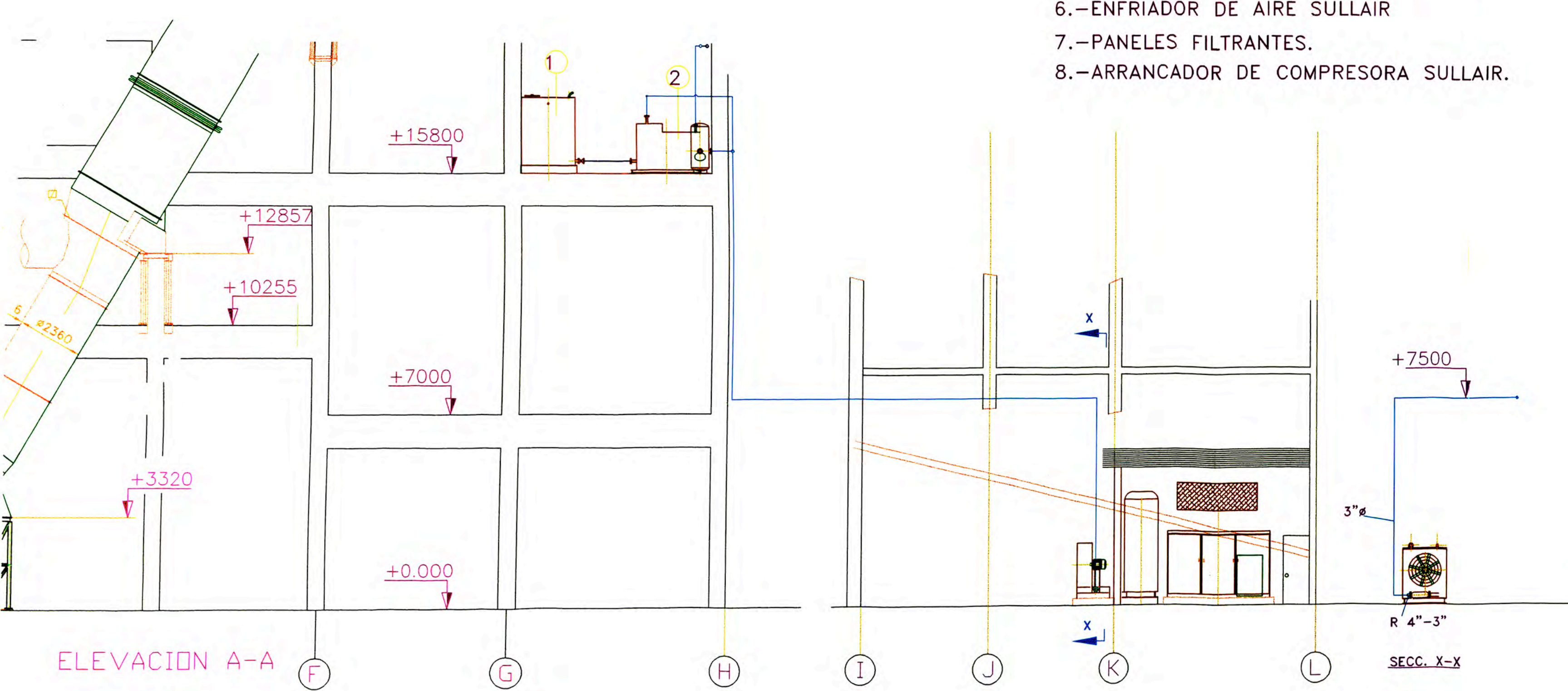
Project: **SPRAY LANCE LOCATION GENERAL ARRANGEMENT**



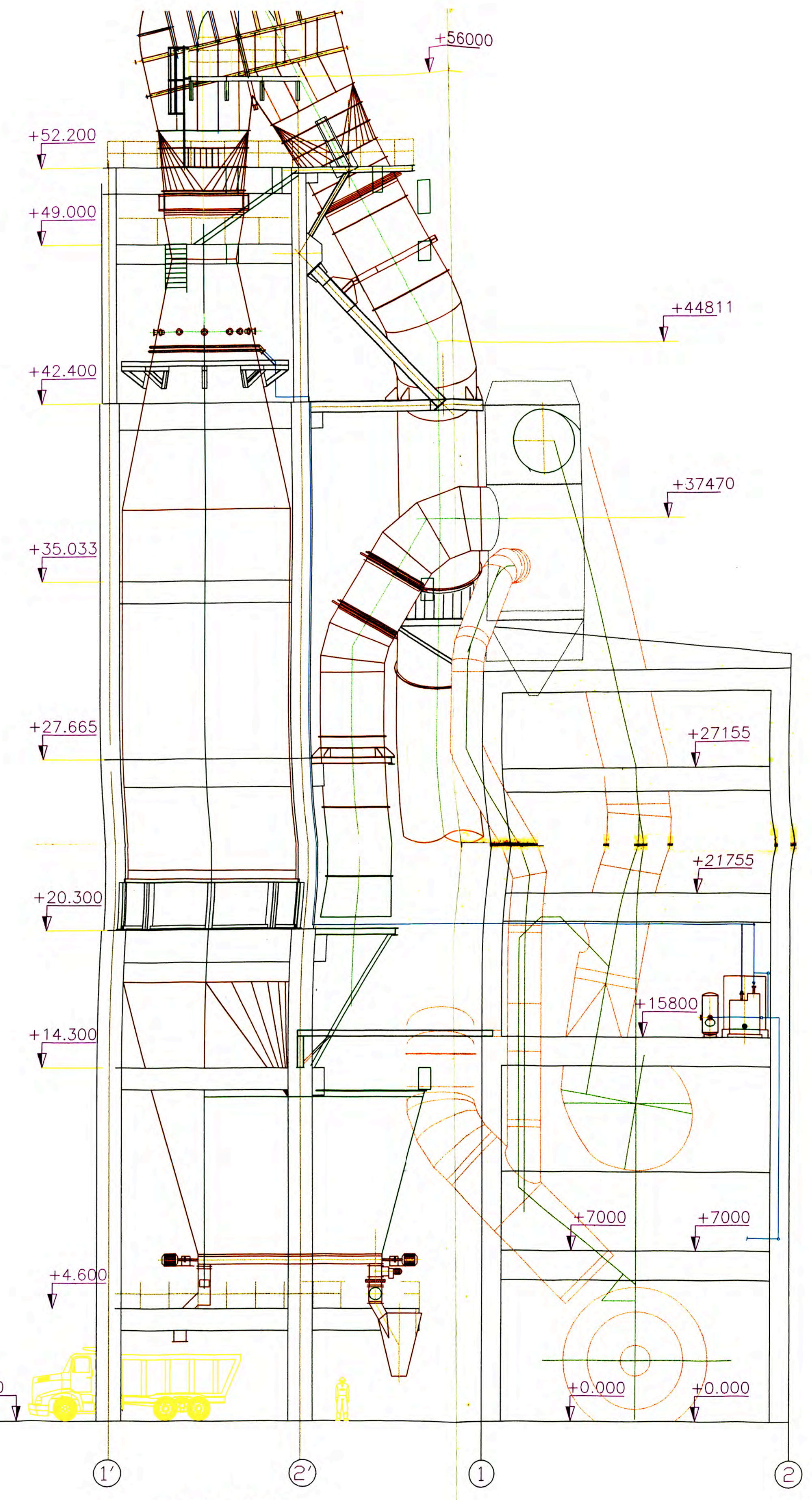
Modificar Soporte ducto-ventilador y otros				
REV. Nº	DIR.	REV.	APR.	FECHA
				ZONA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA				
TITULO: TORRE DE ENFRIAMIENTO				
ARREGLO GENERAL -ELEVACION				
HORNO III				
DIB.	W.A.M.E.	NOV '98	ESC.	1:125
REV.	Ing. M.V.	NOV '98	EQ.	
APR.		NOV '98		
NUMERO DE PLANO UNI-FIM-001		REV.	HOJA Nº/DE	1/1
CEMENTO ANDINO S.A.				



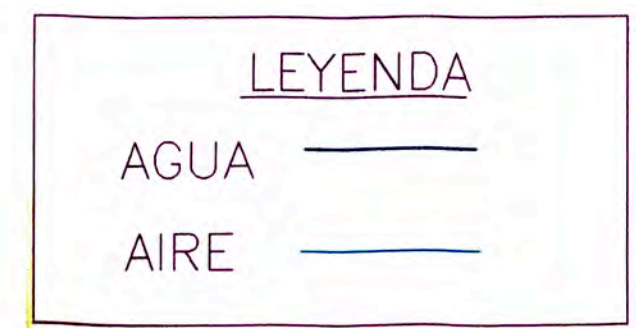
- LEYENDA**
- 1.-TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA
6 M3 CAPAC.- Ø2000x2500 ALT.
 - 2.-RACK DE BOMBAS Y VALVULAS TRC.
 - 3.-COMPRESORA SULLAIR,SERIE 32,
ENCAPSULADA-2000 CFM,110/115 PSIG.
 - 4.-TANQUE DE ALMACEN. DE AIRE COMPRIMIDO
4 M3 CAPAC.-Ø1220x3860 ALT.
 - 5.-TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AIRE
COMPRIMIDO PARA INSTRUMENTACION.
Ø650x1850 ALT. (0.5 M3)
 - 6.-ENFRIADOR DE AIRE SULLAIR
 - 7.-PANELES FILTRANTES.
 - 8.-ARRANCADOR DE COMPRESORA SULLAIR.



ELEVACION A-A
ELEVACION



VISTA A-A



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
	TITULO: TORRE ENFRIAMIENTO-HORNO III		
	SISTEMA DE AGUA Y AIRE COMPRIMIDO		
	ARREGLO GENERAL		
DIB. W.A.M.E.	NOV.98	ESC. 1:125	
REV. Ing. M.V.	NOV.98	EQ.	
APR. NOV.98			
NUMERO DE PLANO		REV.	HOJA N°/DE
UNI-FIM-004		-	1/1

CEMENTO ANDINO S.A.

OLLA DE GASES EXIST.

Codo R=4000
Angulo 60°
Long. tang. 2309

Codo R=4000
Angulo 30°
Long. tang. 1072

+27665

DET.'1'

+31200

Soporte fijo

BRIDA DUCTO Ø3000



CORDON DE SELLO DE ASBESTO #3/8"

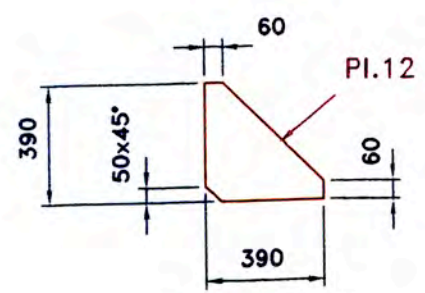
DETALLE BRIDAS

BRIDA DUCTO Ø2650

NERVIO DUCTO Ø2650

NOTA:
- AISLAMIENTO 50 mm DE ESPESOR.
* LONG. DE AJUSTE

REV. N°	DIB.	REV.	APR.	FECHA	ZONA	REVISION
						
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA						
TITULO: TORRE DE ENFRIAMIENTO - HORNO III SALIDA TORRE DE ENFRIAMIENTO A OLLA ARREGLO GENERAL -ELEVACION						
CEMENTO ANDINO S.A.			DIB. W.A.M.E. NOV.98 REV. Ing. M.V. NOV.98 APR. NOV.98	ESC:1:100,1:50 EQ.		
NUMERO DE PLANO UNI-FIM-002				REV. 	HOJA N°/DE 1/1	



DET.'1'

G

H

1

2

9742
1072
2670+550*
3000
3000
1750
1420
500
865
300

7579

Soporte fijo

Soporte gula ver hoja 2/2

+20300

Ventana de inspeccion 900x600

5479

+17713

2309 2279

Ø4000

6270

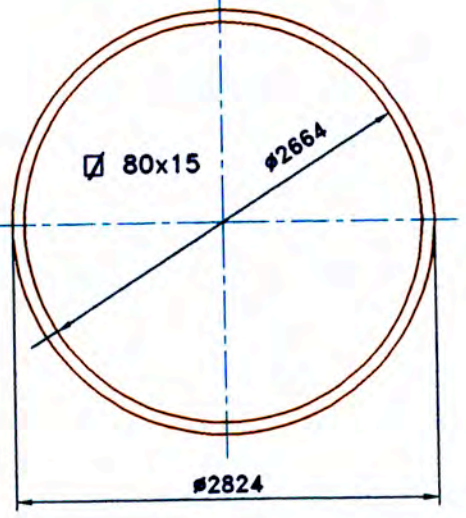
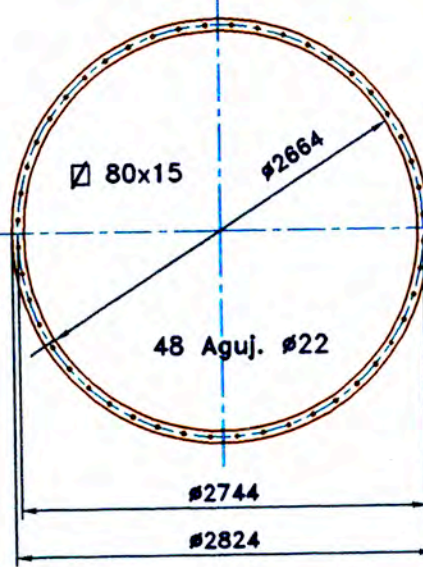
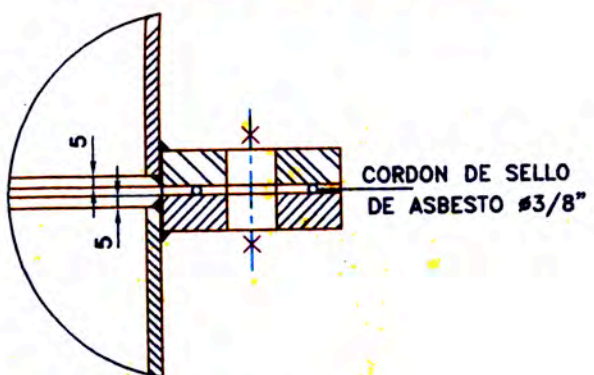
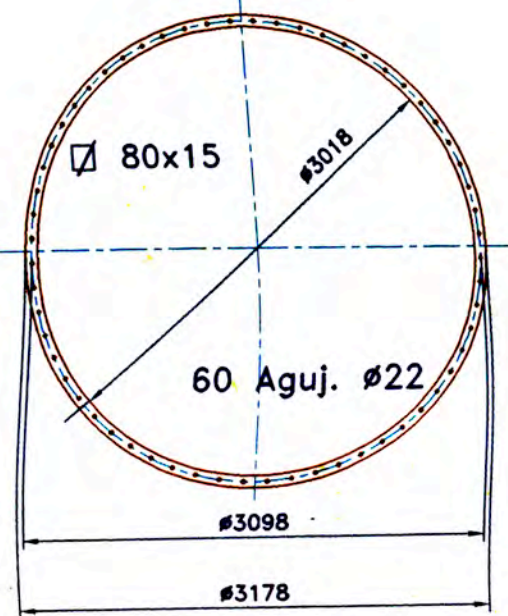
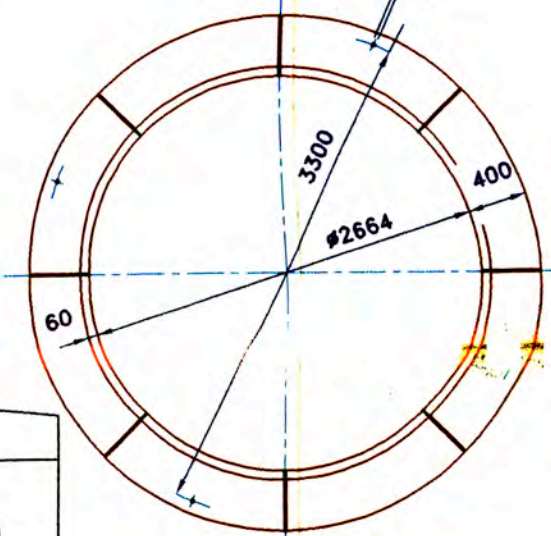
2100

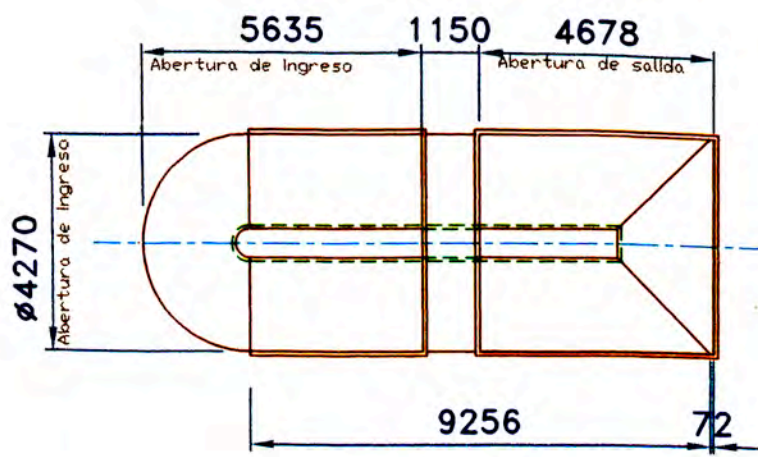
+27155

Ø2650 6

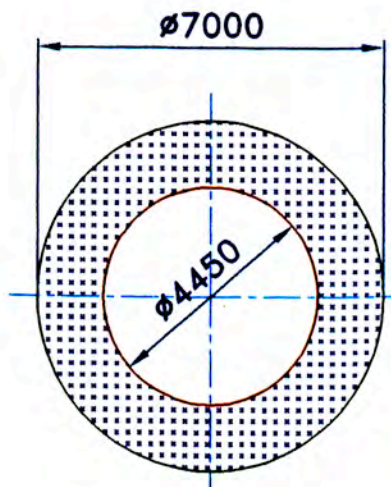
15

12

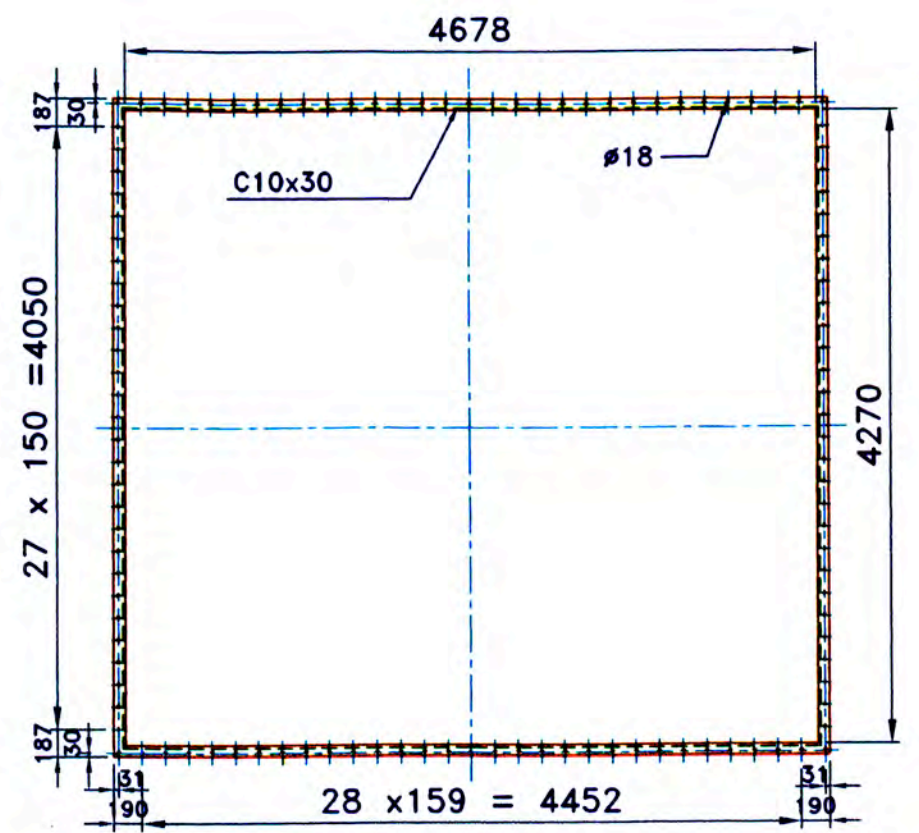




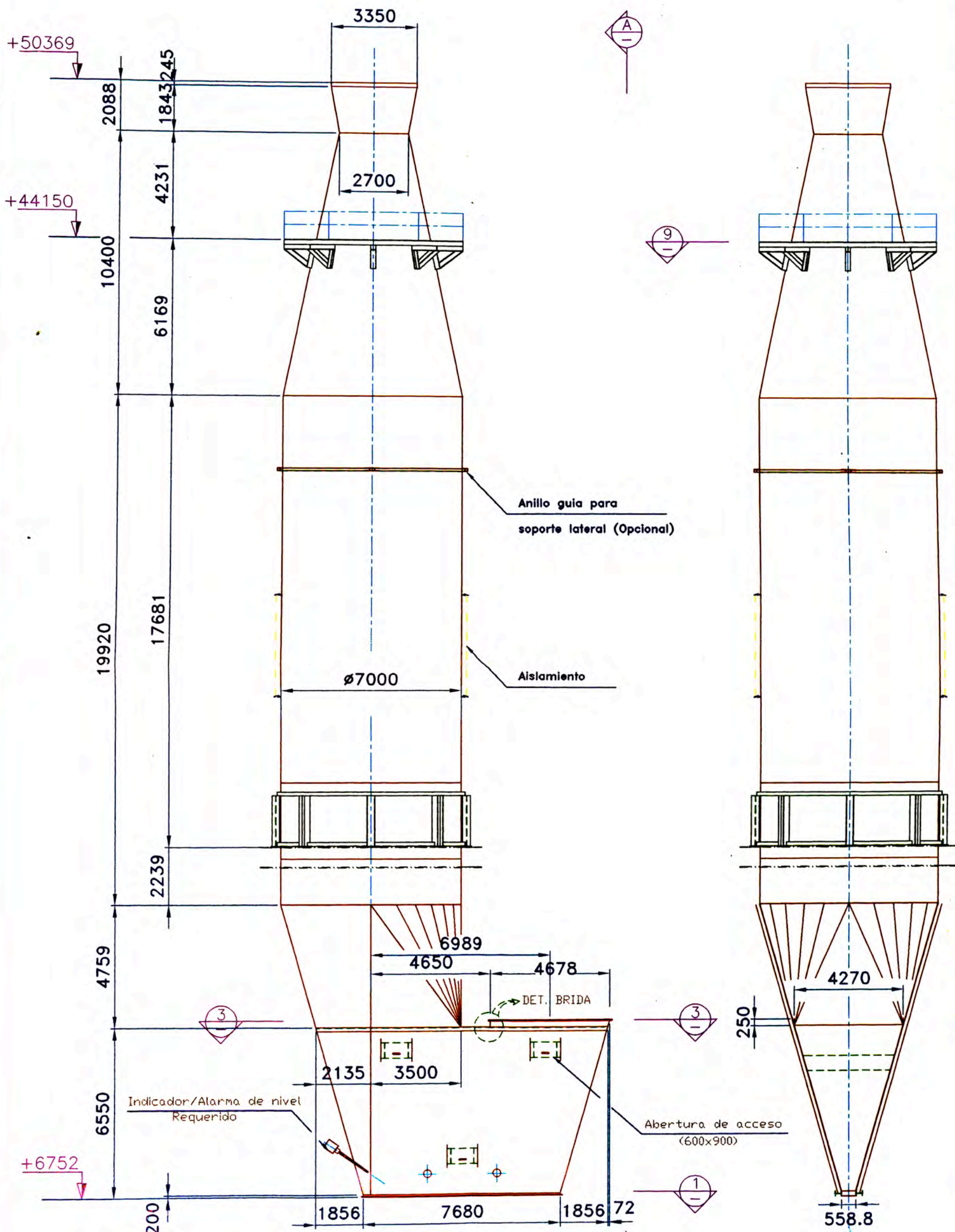
SECCION 3



SECCION 9

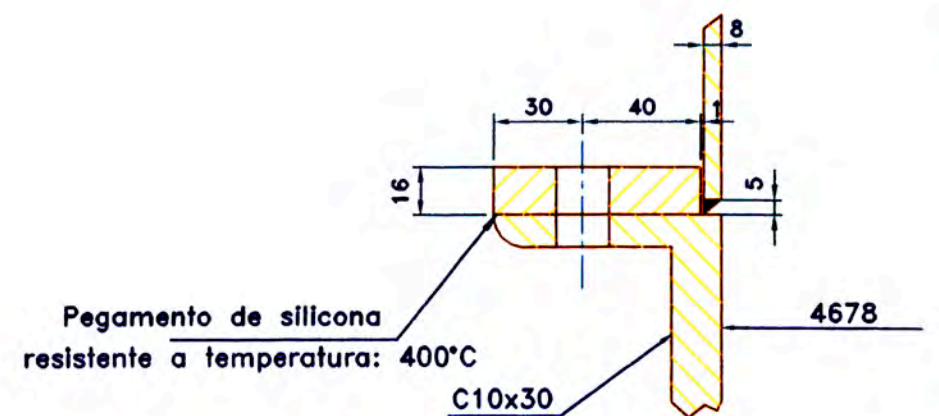


BRIDA SALIDA DE GASES
(ref. secc. 3-3)



ELEVACION

VISTA A



DET. BRIDA

REV. N°	DIB.	REV.	APR.	FECHA	ZONA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
TITULO: TORRE DE ENFRIAMIENTO - HORNO III
ENFRIADOR POR EVAPORACION
ARREGLO GENERAL

CEMENTO ANDINO S.A.	DIB.	W.A.M.E.	MAY'98	ESC:1:100,1:25
	REV.	Ing. M.V.	MAY'98	EQ.
	APR.	MAY'98		
NUMERO DE PLANO		REV.	HOJA N°/DE	
UNI-FIM-003			1/1	