



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE ING. QUIMICA**

**“OPTIMIZACION DEL PROCESO DE ATOMIZACION EN LA
PRODUCCION DE AZULEJOS.”**

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TITULO:

INGENIERO QUIMICO

Presentado por:

JOHNNY PATRICIO BARRENO ROBALINO.

Riobamba – Ecuador

2009

DEDICATORIA

DEDICO ESTE TRABAJO A MI ESPOSA,
POR SU AMOR, APOYO Y CONFIANZA
DEPOSITADA EN MÍ.

AGRADECIMIENTO

AGRADESCO A DIOS Y A MI QUERIDA MADRE , POR HABERME EDUCADO, DESDE LA NIÑEZ, HASTA HOY, GRACIAS A SU VISION PROGRESISTA HE TENIDO LA OPORTUNIDAD DE SUPERARME Y ADQUIRIR LOS CONOCIMIENTOS BASICOS Y PRIORITARIOS, PARA PODER DESENVOLVERME EN LA VIDA COMO PERSONA Y PROFESIONAL.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Edmundo Caluña

DECANO DE LA FAC. DE CIENCIAS

Ing. Hanníbal Brito M.

DIRECTOR DE LA ESC. ING. QUÍMICA

Ing. Mario Villacrés

DIRECTOR DE TESIS

Ing. César Ávalos

ASESOR DE TESIS

Ing. Hanníbal Brito M.

ASESOR DE TESIS

Sr. Carlos Rodríguez.

DIR. DEL CENTRO DE DOCUMENTACIÓN

NOTA DE TESIS

Yo, Johnny Patricio Barreno Robalino, soy responsable de las ideas y doctrinas y resultados expuestos en esta tesis, y el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.”

INDICE DE ABREVIATURAS

C	=	Grados Celsius.
SiO ₂	=	Oxido de Silicio.
Qs	=	Calor de Salida.
Qe	=	Calor de Entrada.
T1	=	Temperatura de Salida
T2	=	Temperatura de Entrada
m	=	Masa
Cp	=	Poder calorífico
ΔT	=	Variación de Temperatura
H ₂ O	=	Agua
H	=	Entalpía
%	=	Porcentaje
J/s.	=	Joule por segundo
L/s.	=	Litro por segundo
K	=	Grados Kelvin
C	=	Grados Centígrados
Kcal/Kg	=	Kilocalorías por kilogramo
m ² /s.	=	Metro cuadrado por segundo
m/s.	=	Metro por segundo
cm.	=	Centímetro
cm/s.	=	Centímetro por segundo
cm ²	=	Centímetro cuadrado
m ²	=	Metro cuadrado

m³ = Metro cúbico

Kg. = Kilogramos

Hp = Potencia Hidráulica

ATM = Atomizador

TABLA DE CONTENIDO

Pp:

CARATULA	
AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
HOJA DE FIRMAS	
HOJA DE RESPONSABILIDAD	
INDICE DE ABREVIATURAS	
TABLA DE CONTENIDO	
INDICE DE GRAFICOS	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE ANEXOS	
RESUMEN	
i	
SUMARY	ii
i	
INTRODUCCION	
v	
ANTECEDENTES	v
ii	
JUSTIFICACION	
x	
OBJETIVOS	x
ii	

CAPITULO I MARCO TEORICO

1. MARCO TEORICO	28
1.1. FABRICACIÓN DE AZULEJOS	28
1.1.1. CLASIFICACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS	28
1.1.1.1. Materia Primas Naturales	28
1.1.1.2. La Arcilla	28
1.1.2.1. Arcillas Primarias y Secundarias	29
1.1.2.2. Feldespatos	30
1.1.2.3. Cuarzo	30
1.1.3. MATERIAS PRIMAS SINTÉTICAS	30
1.1.4. CLASIFICACIÓN DE LAS PASTAS	31
1.1.4.1. Pasta Roja	31
1.1.4.2. Pasta Blanca	31
1.1.5. COMPOSICIÓN DE LA PASTA ROJA	31
1.1.6. PROCESO CERÁMICO	34
1.1.6.1. Extracción de Materia Prima	35
1.1.6.2.- Preparación de las Materias Primas	35
1.1.6.3. Molturación por Vía Húmeda	36
1.1.6.4. Atomización	36
1.1.6.5. Conformación de las Piezas (Prensado)	37
1.1.6.6. Secado	37
1.1.6.7. Esmaltado y Decoración	38
1.1.6.8. Decoración	38

1.1.6.9. Cocción	38
1.1.6.10. Clasificación	39
1.1.6.11. Embalaje y Paletizado	39
1.2. ATOMIZADORES EN LA INDUSTRIA CERAMICA	40
1.2.1. ATOMIZADORES DE CALOR DIRECTO	40
1.2.2. ATOMIZADORES DE CALOR INDIRECTO	40

Pp:

1.2.3. ATOMIZADORES ATM	40
1.2.3.1. Estructura del Atomizador	41
1.2.3.2. La bomba de pistón de porcelana	41
1.2.3.3. Tuberías de transporte de la pasta	42
1.2.3.4. Anillos de la torre porta boquillas rociadoras	42
1.2.3.5. Torre de Desecamiento	44
1.2.4. MÉTODOS DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO PARA UN EFICIENTE FUNCIONAMIENTO	46
1.2.5. LA GRANULOMETRÍA	48
1.3. OPTIMIZACIÓN	50
1.3.1. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA	50
1.3.1.1 Balance de Masa	50
1.3.1.2 Balance de Energía	52
1.3.2.-. TRANSFERENCIA DE ENERGIA	53
1.3.2.1- Naturaleza de los Calores Transferidos	53
1.3.2.2.-Criterio de Equilibrio-Térmico	53
1.3.3 BOMBAS DE PISTÓN	54
1.3.3.1 Cálculo de la Bomba de Pistón.	55
1.3.3.2 Cálculo del Área del Embolo.	56
1.3.3.3. Cálculo del Caudal Nominal del Líquido Hidráulico.	56
1.3.3.4. Cálculo del Caudal Real.	57
1.3.3.5 Cálculo de la Potencia de la Bomba de Pistones.	58
1.3.3.6. Potencia de Accionamiento de la Bomba Pistón.	59

**CAPITULO II
PARTE EXPERIMENTAL**

PARTE EXPERIMENTAL	60
<u>2. PARTE EXPERIMENTAL</u>	<u>61</u>
2.1. ANÁLISIS DE LABORATORIO	61
2.1.1. TOMA DE LA MUESTRA	61
2.1.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS	62
2.2. OBTENCIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES	68
2.3. DIAGNOSTICO DEL ATOMIZADOR	73

**CAPITULO III
CALCULOS Y RESULTADOS**

3. CALCULOS Y RESULTADOS	76
<u>PROPUESTA</u>	<u>76</u>
3.1. CALCULOS	76
3.1.1 CÁLCULO DEL AREA DEL EMBOLO DE LA CÁMARA HIDRÁULICA DE LA BOMBA DE PISTON	

3.1.1.2 Cálculo del Caudal Nominal del Líquido Hidráulico.	77
3.1.1.3 Cálculo del Caudal Real.	78
3.1.1.4 Cálculo de la Potencia de la Bomba de Pistones	79
3.1.2 CALCULO DE LA PRESION DE LA CAMARA DE PISTON DE LA BARBOTINA	79
3.1.2.1 Cámara de Pistón de la Barbotina.	79
3.1.2.2 Cálculo de la Cámara de Pistón de la Barbotina	80
3.1.2.3 Calculo del Área del embolo de la Cámara de Barbotina	80
	Pp:
3.1.2.4 Cálculo del Caudal Nominal de la Barbotina	81
3.1.2.5 Cálculo del Caudal Real	82
3.1.2.6 Calculo de la Presión de la Bomba de Pistones	82
3.2 CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE	83
3.2.1 CALOR SUMINISTRADO AL ATOMIZADOR (Q)	83
3.2.1.2 Calor que genera el combustible	83
3.2.1.3 Consumo de Combustible	84
3.3 TRANSFERENCIA DE ENERGIA	85
3.3.1 NATURALEZA DE LOS CALORES TRANSFERIDOS	85
3.3.2.-CRITERIO DE EQUILIBRIO-TÉRMICO	85
3.3.2.2 Caracterización del Atomizador por el Fabricante	87
3.3.3 BALANCE DE MASA DEL ATOMIZADOR	87
3.3.3.1 Balance De Masa Para Producción Ideal Requerida	88
3.3.3.2 Balance de Energía	90
3.3.3.3 Balance de Masa para Producción en Condiciones Iniciales de Operación	92
3.3.3.4 Balance de Energía	93
3.4. RESULTADOS	95
3.5. ANÁLISIS DEL BALANCE DE MASA DEL ATOMIZADOR	101

CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES	106
RECOMENDACIONES	107
BIBLIOGRAFIA.	108

INDICE DE GRAFICOS

GRAFICO

Pp:

3.4-1 INCREMENTO DE LA PRESIÓN A MEDIDA QUE SE AUMENTA PRODUCCIÓN DE POLVO SECO_____	71
3.4-2 INCREMENTO DE LA PRESIÓN A MEDIDA QUE SE REALIZA LOS ENSAYOS_____	72
3.4-3 PRODUCCIÓN DE PASTA _____	72
3.4-4 VARIACIÓN DE PRESIÓN EN BOMBA ALIMENTADORA DE PASTA_____	73

INDICE DE TABLAS

TABLA	Pp:
TABLA 1.1.1.2-1	<u>29</u>
<u>COMPUESTOS QUE CONFORMAN LAS ARCILLAS</u>	<u>29</u>
TABLA 1.2.3.2-1	41
<u>CONDICIONES OPERACIONALES DEL FABRICANTE.</u>	<u>41</u>
TABLA 1.2.3.4-1	42
<u>CARACTERÍSTICAS DE LOS ANILLOS DE FABRICACIÓN.</u>	<u>42</u>
TABLA 2.1.2-1	<u>62</u>
<u>PARÁMETROS Y TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA INVESTIGACIÓN</u>	<u>62</u>
TABLA 2.1.2-2	<u>63</u>
<u>DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE LA PASTA ATOMIZADA</u>	<u>63</u>
TABLA 2.1.2-3	<u>64</u>
<u>DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA BARBOTINA</u>	<u>64</u>
TABLA 2.1.2 - 4	<u>65</u>
<u>DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD DE LA BARBOTINA</u>	<u>65</u>
TABLA 2.1.2-5	<u>66</u>
<u>DETERMINACIÓN DEL RESIDUO DE LA BARBOTINA</u>	<u>66</u>
TABLA 2.1.2-6	<u>67</u>
<u>DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS DE LA BARBOTINA</u>	<u>67</u>
TABLA 2.1.2-7	<u>68</u>
<u>DETERMINACIÓN DE GRANULOMETRÍA DEL POLVO ATOMIZADO</u>	<u>68</u>
TABLA 2.2-1	<u>69</u>
<u>ANÁLISIS DE LA BARBOTINA EN CONDICIONES INICIALES DE OPERACIÓN</u>	<u>69</u>
TABLA 2.2-2	<u>70</u>
<u>ANÁLISIS DE LA BARBOTINA EN CONDICIONES DE OPTIMIZACIÓN DE OPERACIÓN</u>	<u>70</u>
TABLA 2.2-3	<u>71</u>
<u>DATOS DE LAS VARIABLES EN LAS CONDICIONES INICIALES DE OPERACIÓN DEL ATOMIZADOR</u>	<u>71</u>
TABLA 2.2-4	<u>72</u>
<u>DATOS DE LAS VARIABLES EN LAS CONDICIONES DE MONITOREO OPERACIÓN DEL ATOMIZADOR</u>	<u>72</u>

	Pp:
<u>TABLA 2.2-5</u>	<u>72</u>
<u>DATOS DE LAS VARIABLES EN LAS CONDICIONES DE REAJUSTE DE</u>	
<u>VARIABLES</u>	<u>72</u>
<u>TABLA 2.3-1</u>	<u>74</u>
<u>VALORES DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN INICIAL Y ACTUALES</u>	<u>74</u>
<u>TABLA 3.4-1</u>	<u>96</u>
<u>VALORES DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN INICIAL Y AJUSTE DE</u>	
<u>OPTIMIZACIÓN DE LA CÁMARA HIDRÁULICA DE LA BOMBA DE</u>	
<u>BARBOTINA PBB-30</u>	<u>96</u>
<u>TABLA 3.4-2</u>	<u>96</u>
<u>VALORES DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN INICIAL Y AJUSTE DE</u>	
<u>OPTIMIZACIÓN DE LA CÁMARA BARBOTINA DE LA BOMBA DE</u>	
<u>BARBOTINA PBB-30</u>	<u>96</u>
<u>TABLA 3.4-3</u>	<u>98</u>
<u>VALORES DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN INICIAL Y DE</u>	
<u>OPTIMIZACIÓN DEL ATOMIZADOR</u>	<u>98</u>
<u>TABLA 3.4-4</u>	<u>100</u>
<u>VALORES DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE</u>	<u>100</u>
<u>TABLA 3.5-1</u>	<u>102</u>
<u>ANÁLISIS DE LA BARBOTINA EN CONDICIONES INICIALES DE OPERACIÓN</u>	<u>102</u>
<u>TABLA 3.5-2</u>	<u>102</u>
<u>ANÁLISIS DE LA BARBOTINA EN CONDICIONES DE OPTIMIZACIÓN DE</u>	
<u>OPERACIÓN</u>	<u>102</u>
<u>TABLA 3.5-3.</u>	<u>104</u>
<u>DETALLES DEL COSTO DE PRODUCCIÓN EN LA FABRICACIÓN DE</u>	
<u>AZULEJOS.</u>	<u>104</u>

INDICE DE ANEXOS

ANEXO		Pp:
I	TABLA DE CONTROL DEL PROCESO	84
II	TABLA DE CONTROL DEL PROCESO.....	85
III	ESPECIFICACIONES DE FABRICACION DEL ATOMIZADOR.....	86

RESUMEN

El presente trabajo consiste en la optimización del proceso de atomización en la planta de azulejos de C.A. Ecuatoriana de Cerámica, ubicada en la ciudad de Riobamba, con el propósito de incrementar la producción de pasta atomizada en el atomizador Dorts, para la fabricación de azulejos.

Se procedió de manera sistemática a través de una descripción y explicación del atomizador, por medio de la deducción se identificaron las variables y condiciones iniciales de operación del atomizador, para luego ser monitoreadas.

Así mismo, se analizaron las propiedades físico-químicas de la barbotina que se va a emplear en el atomizador para asegurar que la pulverización sea la óptima. Los materiales que se utilizaron son: equipos de laboratorio como: balanza analítica, picnómetro, manómetros de presión, termopares de tipo K ubicados en el interior del atomizador, por medio de técnicas establecidas, y en base a las NTE/INEN 1160, 652, 160, 564, 698, y teniendo en cuenta las variables de calidad como son: densidad, viscosidad, residuos, sólidos en suspensión, y luego de realizar los cálculos de Ingeniería, se pudo modificar las variables y condiciones iniciales, por lo se realizaron ajustes en la bomba de barbotina, incrementando la carrera de los pistones subiendo la presión de 9 a 18 Bar, aumentando así el caudal de barbotina e incrementar ligeramente la temperatura, consiguiendo un secado óptimo de la barbotina dentro del atomizador.

El resultado obtenido en el atomizador luego de la optimización, es que, al alimentar la barbotina con un flujo de 3426,45Kg/h se incremento la producción a 2220Kg/h,

Por lo que se concluye, que sí se puede optimizar el proceso de atomización en la producción de azulejos. Por tanto se recomienda, a Ecuatoriana de Cerámica seguir realizando los ajustes del equipo para incrementar la producción.

SUMARY

The present work deals with the optimization of the atomizing process in the glazed colored tile plant of C.A. Ecuatoriana de Cerámica located in Riobamba city to increase the atomized paste production in the atomizer Dorts for the glazed colored tile manufacture.

A systematic description and explanation was carried out through deduction. Variables and initial conditions of the atomizer operation were identified to be monitored later. Likewise, the physicochemical properties of the barbotine to be used in the atomizer were analyzed to secure an optimum pulverization.

The used materials are the laboratory equipment consisting of: analytical balance, picnometer, pressure gauges, and type K thermocouples located inside the atomizer through established techniques, on the basis of the NTE / INEN 1160,652,160,564, and 698 and taking into account the quality variables such as density, viscosity, residues and suspension solids.

After analyzing the engineering calculi it was possible to modify the variables and initial conditions; this is why adjustments were made in the barbotine pump, increasing the piston stroke, increasing the pressure from 9 to 18 Bar, thus increasing the barbotine volume with a temperature rise, resulting in an optimum barbotine drying inside the atomizer. The result obtained in the atomizer after optimization was that upon feeding barbotine with 3426.45Kg/h flow, production increased to 2220Kg/h.

It is concluded that it is possible to optimize the atomizing process in the glazed colored tile production. Therefore, the Ecuatoriana de Cerámica is recommended to make the necessary adjustments of the equipment to increase production.

INTRODUCCIÓN

La Empresa Ecuatoriana de Cerámica S.A. al implementar en la planta de pisos una moderna línea de producción, incrementó notablemente el consumo de pasta monoquema, lo que provocó el desabastecimiento de esta materia prima en la planta de azulejos. Esta situación de déficit de pasta permitió, que se tomaran acciones correctivas frente a este problema, se decide rehabilitar el atomizador Dorst, este equipo se acondicionó para producir pasta monoporosa para la elaboración de azulejos, inicialmente se lo empleaba para la producción de carbonato, el mismo que con su capacidad de producción aproximada de 1400 kg/h, en las condiciones de operación actuales no provee la cantidad suficiente de pasta que permita tener una producción continua en las prensas y en las líneas de esmaltación.

En este texto se realiza un estudio para optimizar las condiciones de operación del atomizador Dorst, que permita incrementar la producción de pasta seca, que se manipulará en la siguiente fase que corresponde al prensado, se especifica todo lo referido a las materias primas que se utilizan en la fabricación de baldosas, se describe cada etapa del proceso, las características y componentes del equipo en estudio.

Se expone en la parte experimental, los procedimientos, técnicas, y métodos de análisis que se utilizaron. Posteriormente se realizan cálculos de ingeniería que permiten establecer las nuevas condiciones de operación, de tal forma que se pueda optimizar el proceso de atomización, también se

presentan tablas y gráficos que nos dan una idea clara de cómo se comporta el equipo en estudio a las modificación de las variables que dominan el proceso.

ANTECEDENTES

La empresa C.A. Ecuatoriana de Cerámica, se encuentra ubicada al Noroeste de la ciudad de Riobamba en la Avenida Gonzalo Dávalos; consta de dos plantas de pisos y de azulejos.

Sus inicios se basan en la iniciativa del ciudadano riobambeño Sr. Pablo Emilio Chiriboga, en la década del 40, con la elaboración de artefactos sanitarios. Posteriormente se asocia con la Corporación de Fomento y da inicio a la empresa Cerámica Nacional C.A, que funcionaba en las instalaciones del propietario, en las calles Rocafuerte y Venezuela de ésta ciudad, para luego trasladarse al lugar donde actualmente funciona, con un personal de 18 trabajadores y como Gerente al Sr. Alfredo Falconí, con el técnico Sr. Emilio Giraldez de nacionalidad española.

Desde su constitución se permitió la participación de los trabajadores en calidad de accionistas, al desaparecer la Corporación de Fomento, pasa a formar parte de los Fondos del Banco Nacional de Fomento en forma total.

Se construye su primera parte en los años de 1952-53, lo que en la actualidad es la planta de azulejos.

La transacción al Banco Nacional de Fomento la efectuó el Sr. Pablo Emilio Chiriboga; para luego comprar la empresa la totalidad de activos, por escritura pública el 27 de Octubre de 1960 en la ciudad de Quito, y ante el Notario Público Dr. Olmedo del Pozo.

El capital inicial de la Empresa es de Siete millones de sucres (7 000 000,00), los mismos que se reparten entre accionistas de nacionalidad venezolana y ecuatoriana, su mayor accionista venezolano es el grupo de la familia Vollmer razón por la cual, el primer presidente de la Compañía es el Sr. Gustavo J. Vollmer y el primer Gerente el Sr. Ing. Antonio Mortensen.

Se efectuaba la producción de azulejos de un solo color de tamaño 11x11 en la década del 60, alcanzándose un promedio de 5000 m², por mes; también se producían artísticos. Luego la mayoría de acciones que correspondía a la familia Vollmer pasan a formar parte de la cerámica Carabobo la misma que es considerada la principal empresa Venezolana fabricante de; azulejos, baldosas, vajillas, ladrillos refractarios, y muchos otros artefactos cerámicos, con lo que la C.A. Ecuatoriana de Cerámica. », obtiene un crecimiento notable en el sector técnico y financiero.

La Presidencia y Directorio; " Desde hace muchos años, la Presidencia de la empresa, había sido ejercida por el Sr. Dr. Gonzalo Chiriboga Cordobés; la Gerencia de Operaciones por el Sr. Ing. Abraham Romero y desde el año de 1901 se incorporo en calidad de Gerente de Ventas el Sr. Mario Iturralde.

Integran el directorio las siguientes personas: Sr. Dr. Enrique Arroyo Delgado, Lic. Clemente Vallejo Larrea, Sr. José Cordobés Tegers y Sr. Francisco Uribe Lasso."

En la actualidad la empresa ECUACERMICA es de propiedad exclusiva del Sr. Juan El Juri. Y se ha venido renovando los tipos de azulejos en una gran gama de colores, diseños y formatos llegando e incluso a tener producciones mensuales promedio de 350000 m².

JUSTIFICACIÓN

La empresa Ecuatoriana de Cerámica S.A. al implementar en la planta de pisos una moderna línea de producción, incrementó notablemente el consumo de pasta monoquema, lo que provocó el desabastecimiento de esta materia prima en la planta de azulejos.

Esta situación de déficit de pasta permitió que se tomaran acciones correctivas frente a este problema, se decide rehabilitar el atomizador Dorst, este equipo se acondiciono para producir pasta monoporosa para la elaboración de azulejos, inicialmente se lo empleaba para la producción de carbonato, el mismo que con su capacidad de producción que es de aproximadamente 1400 kg/h, en las condiciones de operación actuales no provee de la cantidad suficiente de pasta que permita tener una producción continua en las prensas y en las líneas de esmaltación, Al mismo tiempo el otro atomizador Sacmi, se lo adecuo para producir pasta monoquema por su mayor capacidad de producción de pasta, la cual está estima en aproximadamente los 3000 kg/h.

Se tendrá que considerar la eficiencia del atomizador, relacionando la producción diaria real con las especificaciones del rediseño, la misma que se realizó en base a las del ATM 15.

Por lo que se hace necesario realizar un estudio meticuloso en el atomizador, que nos permita efectuar un incremento de la producción de pasta, en un volumen de aproximadamente de 2500 kg/h a 3000 kg/h, que

permitirá eliminar las interrupciones de producción por falta de pasta atomizada, que se han venido presentando por este motivo, provocando un incremento en los costos de producción y pérdidas económicas, por no poder satisfacer la demanda del mercado con nuestro producto. También se eliminará el pago del transporte que se genera al llevar la pasta en volquetas de la planta de piso a la planta de azulejos, permitiendo disminuir los costos de producción y obtener un ahorro económico, que irían en beneficio de la empresa.

OBJETIVOS

GENERAL:

Optimizar el proceso de atomización en la producción de azulejos

ESPECÍFICOS:

- Evaluar e identificar las variables del proceso de atomización de pasta cerámica.
- Monitorear las variables del proceso de atomización variando las condiciones de operación.
- Seleccionar las condiciones óptimas de operación del atomizador en la producción de azulejos.
- Ajustar la variable del proceso vinculada al proceso de atomización.

CAPITULO I
MARCO TEORICO

1. MARCO TEORICO

1.1. Fabricación de Azulejos

Los azulejos y baldosas se obtienen preparando una composición de materias primas depuradas formada por silicatos alumínicos, siendo las composiciones diferentes para el caso de los pavimentos y revestimientos cerámicos en pasta roja o en pasta blanca.

1.1.1. Clasificación de las Materias Primas

1.1.1.1 Materia Primas Naturales

Generalmente se encuentran en forma de arcillas, es un material compuesto básicamente de silicatos de aluminio.

Estos materiales se caracterizan por ser plásticos cuando se encuentran hidratados y rígidos cuando se encuentran secos, los principales tipos de arcilla son los siguientes: Caolines, Montmorrillonita, Illitas, Atapulgitas.

1.1.1.2. La Arcilla

La arcilla es muy abundante contiene alumina y sílice, así como pequeñas cantidades de otros minerales y se origina a partir de rocas graníticas o feldespáticas. Tecnología de la Fabricación de Azulejos.

Las materias primas utilizadas se componen de H₂O, TiO₂ y óxidos de Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na y K son los componentes principales de la pasta, los principales minerales empleados son:

Tabla 1.1.1.2-1

Compuestos que Conforman las Arcillas

Tipos	Compuestos	Formula
Cuarzo	Oxido de silicio	SiO ₂
Silicatos	Feldespatos	
	Espodumena	LiO ₂ .Al ₂ O ₃ .4SiO ₂
	Petalita	LiO ₂ .Al ₂ O ₃ .8SiO ₂
	Cinita	.Al ₂ O ₃ .4SiO ₂
	Circón	ZrO ₂ ..SiO ₂
	Wollastonita	CaOSiO ₂
	Anortonita	CaO..Al ₂ O ₃ .2SiO ₂
	Olivino	2NaO.4SiO ₂
No silicatos	Bauxita	.Al ₂ O ₃ .Nh ₂ O
	Magnetita	MgCO ₃ .
	Dolomita	MgCa (CO ₃ .) ₂

Fuente: Tecnología de la Fabricación de Azulejos.

1.1.2.1. Arcillas Primarias y Secundarias

Las arcillas primarias, incluyen el caolín, una arcilla que se usa para dar fuerza y blancura. Otra es la bentonita, que puede añadirse a otras arcillas para mejorar la plasticidad de la masa.

1.1.2.2. Feldespatos

El feldespato sódico de composición variable, se emplea como fundente en cerámica. Gran parte de las características finales de la cerámica dependen de la calidad del feldespato utilizado.

1.1.2.3. Cuarzo

El cuarzo es un mineral que contiene volúmenes elevados de sílice (97%). Es estable hasta los 573C. habitualmente es incoloro y transparente y tiene un brillo vidrioso.

“Se emplea en la industria de la cerámica y en particular, para los esmaltes cerámicos, es de una importancia fundamental, pues es el ingrediente de los esmaltes para ciclos de cocción largos”. (Tecnología de la Fabricación de Azulejos.)

1.1.3. Materias Primas Sintéticas

Se refiere a las materias primas que no proceden directamente de la naturaleza, son materiales de síntesis y residuos industriales, entre los que se destacan:

- **Chamote.** El chamote es un material refractario que se usa para abrir la arcilla. Es el residuo obtenido del procesamiento de los materiales cerámicos, que ayudan a reducir la concentración de las pastas durante el secado. . Defectos de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos.

1.1.4. Clasificación de las Pastas

Se han propuesto numerosas formas de clasificación de las pastas, el más usado es su apariencia, la cual generalmente se relaciona con las propiedades y usos del objeto que se desea obtener. A continuación se presenta diferentes criterios:

1.1.4.1. Pasta Roja

La cerámica roja presenta un alto contenido de hierro que al oxidarse confiere dicha tonalidad. Se emplea comúnmente en la producción de objetos estructurales como baldosas.

1.1.4.2. Pasta Blanca

La cerámica blanca se elabora con materiales que no contienen óxidos productores de color, al cocerse adquiere un tono blanco crema, se emplean para obtener porcelana, loza y gres fino.

1.1.5. Composición de la Pasta Roja

La composición que se utiliza para la fabricación de productos de revestimiento en pasta roja, los desgrasantes están incluidos normalmente en las mismas arcillas rojas naturales.

Como las cocciones se realizan siempre en ciclos rápidos, es conveniente utilizar arcillas de bajo contenido en materia orgánica y poner aditivos que facilitan las desgasificaciones en el precalentamiento.

En la composición se utilizan algunos aditivos en pequeña proporción como bióxido de manganeso, como oxidante y para proporcionar a la pieza un acabado más oscuro. Tripolifosfato sódico y metasilicato sódico, como

defloculantes que permiten alcanzar mayores contenidos en sólidos en la barbotina, para rentabilizar la operación de atomización.

En la actualidad los productos cerámicos se fabrican en ciclos rápidos de cocción (40 min) a temperaturas máximas de 1140C.

Las arcillas deberán ser fácilmente defloculables para poder alcanzar altos contenidos en sólidos que permitan altas producciones en el atomizador y poseer un bajo contenido en materia orgánica que complete su oxidación en el transcurso de la cocción.

Se tiene arcillas con muy bajo contenido en carbonatos, típicamente utilizadas para fabricación y aptas para su utilización en ciclos de cocción rápida.

Se encuentran arcillas para la producción de revestimiento poroso, para reducir el contenido de carbonato presentes en las arcillas base y conferir a la pasta unas características deseadas, plasticidad, facilidad de secado, baja contracción de cocción, reducido coeficiente de dilatación, estas arcillas presentan un contenido variable en carbonatos y proporciones en materia orgánica, que las hace poco adecuadas para la fabricación en ciclos de cocción rápida.

“En la cocción es deseable el uso de proporciones menores de carbonato de calcio, para tener menos desgasificaciones durante la cocción”. (Tecnología de la Fabricación de Azulejos.)

Las proporciones medias utilizadas de cada una de estas arcillas es la siguiente, como se indica en la Tabla 1.1.5-1:

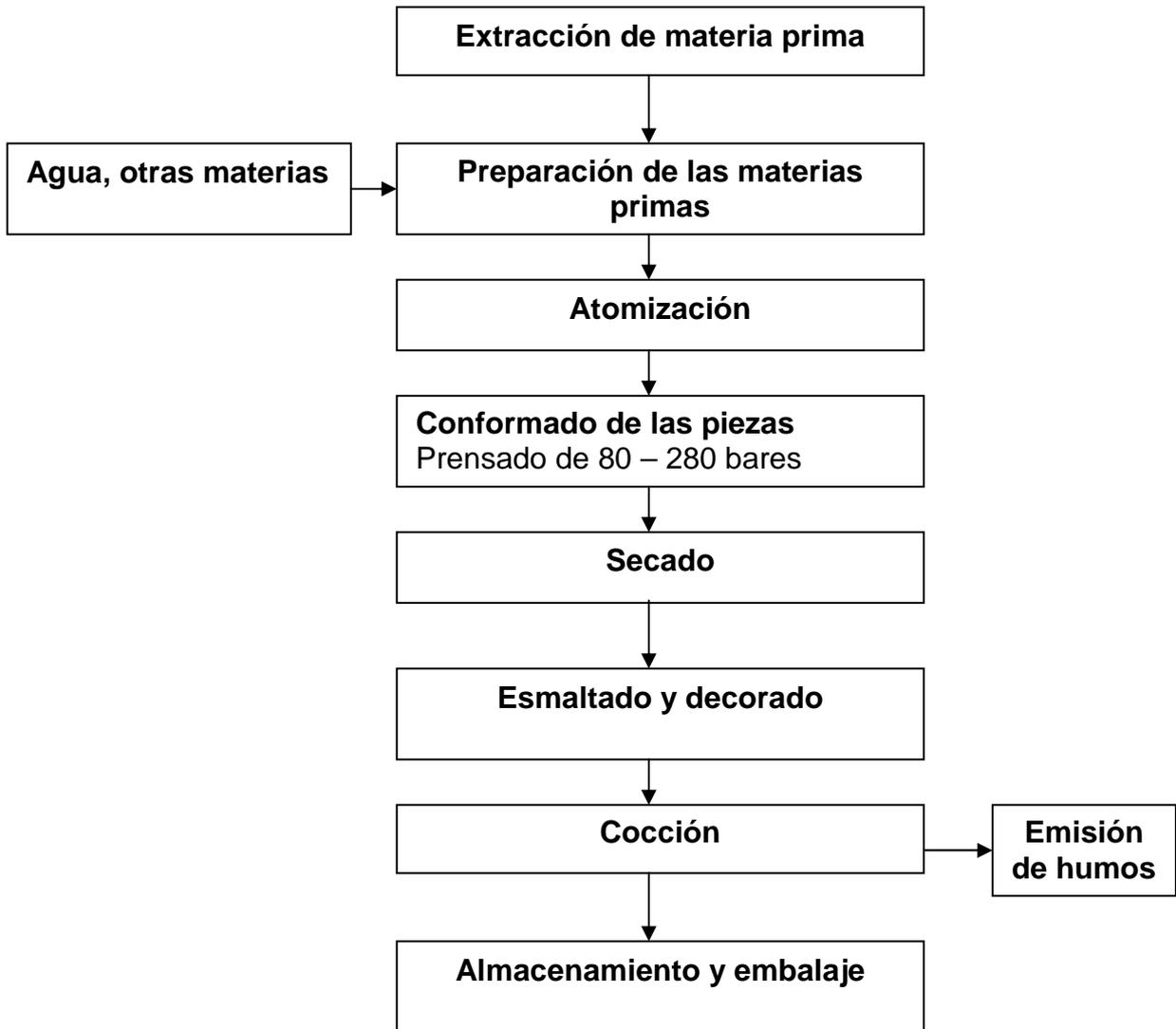
Tabla 1.1.5-1
Pasta Roja Monoquema. (Piso)

Materiales de Pasta Monoquema	
Materiales	Porcentaje
Arcilla 1	35,51
Arcilla 2	17,38
Feldespatos	25,23
Cuarzo	6,92
Arcilla masma	14,95
Metasilicato	0,47
Tripolifosfato de sodio	0,09
Agua	60,00

Fuente: Ficha Técnica de carga de molinos de Ecuatoriana de Cerámica.

1.1.6. PROCESO CERÁMICO

Las etapas básicas para el proceso cerámico son:



Debido a que los procesos de elaboración de los diferentes productos cerámicos son similares, tienen numerosas propiedades en común; todos prestan una elevada resistencia al calor, baja conductibilidad térmica y eléctrica, considerable resistencia mecánica, en especial a la compresión,

elevada dureza y buena resistencia al ataque de agentes químicos y atmosféricos.

Esto depende de las propiedades fisicoquímicas y de la cantidad de fases vítreas y cristalinas, de la estructura, número, tamaño y forma de los cristales, de la presencia o no de poros y cavidades en el interior del cuerpo cerámico y de que exista o no un revestimiento superficial.

1.1.6.1. Extracción de Materia Prima

Se realiza principalmente en minas a cielo abierto, se realiza un descapote del terreno, con el fin de eliminar la mayor cantidad posible de material vegetal, así como los materiales considerados de desecho como rocas, los cuales al estar presentes en el material pueden originar problemas en la calidad del producto final.

1.1.6.2.- Preparación de las Materias Primas

Las materias primas se utilizan como se extrae de la mina. Su procedencia natural exige, en la mayoría de los casos, una homogenización que asegure la continuidad de sus características.

El proceso cerámico comienza con la selección de las materias que forman parte de la composición de la pasta, que son arcillas, feldespatos, arenas, carbonatos y caolines. Fms Forno Monostrato, Sacmi.

Las materias primas varían, dependiendo de las propiedades requeridas por la pieza de cerámica terminada.

Las partículas y otros constituyentes tales como aglutinantes y lubricantes pueden ser mezclados en seco y en húmedo. La arcilla extraída de la mina se almacena en grandes patios adyacentes a la planta.

1.1.6.3. Molturación por Vía Húmeda

Una vez realizada la mezcla de los distintos componentes de la pasta cerámica, se somete por lo general a un proceso de molturación por vía húmeda. El material resultante de la molturación presenta partículas menores a 200 micras. Tecnología de la Fabricación de Azulejos.

1.1.6.4. Atomización

El secado es un proceso conocido de todos, por medio del cual se extrae agua o cualquier otro líquido de una solución o de una suspensión.

Este proceso se realiza, en el ámbito industrial, en una máquina denominada atomizador.

Por conocidas leyes físicas, se produce la evaporación de un líquido, calentándolo adecuadamente con aire caliente, para producir un producto sólido de bajo contenido en agua.

El contenido de humedad presente en la suspensión, se encuentra entre 30% a 40% de agua, este contenido de agua después del proceso de atomización se reduce a valores de 6,5 -7,5%.

1.1.6.5. Conformación de las Piezas (Prensado)

El procedimiento de la conformación de las piezas es el prensado en seco mediante el uso de una prensa hidráulica. Este procedimiento de formación de piezas opera por acción de una compresión de la pasta en el molde, el sistema de prensado se basa en prensas que realizan el movimiento contra la matriz por medio de compresión de aceite.

1.1.6.6. Secado

La pieza cerámica una vez conformada se somete a una etapa de secado, con el fin de reducir el contenido en humedad de las piezas formadas, para que en las fases de cocción el esmaltado se desarrolle adecuadamente.

Durante el secado de piezas, el aire que se utiliza debe ser lo suficiente seco y caliente, pues se utiliza, no sólo para eliminar el agua procedente del sólido sino también para suministrar la energía en forma de calor, que necesita esa agua para evaporarse. Normalmente la temperatura en el de secadero vertical es 200-250C y los ciclos de secado suelen estar entre los 35 y 50 minutos.

1.1.6.7. Esmaltado y Decoración

El esmaltado consiste en la aplicación por distintos métodos de una o varias capas de vidriado con un espesor comprendido entre 75 - 500 micras, que cubre la superficie de la pieza. Este tratamiento se realiza para conferir al producto cocido una serie de propiedades técnicas y estéticas, tales como:

- Mejorar el aspecto estético de la pieza cerámica.
- Impermeabilizar el soporte cerámico, facilitando la limpieza.
- Dotar al soporte de un revestimiento protector que dificulte su deterioro.

1.1.6.8. Decoración

Es la técnica utilizada para la decoración de azulejos y baldosas cerámicas, debido a su facilidad de aplicación en las líneas de esmaltado. Esta técnica consiste en la consecución de un determinado diseño que se reproduce por aplicación de una o varias pantallas superpuestas.

Estas pantallas presentan la superficie cerrada por un producto endurecedor, dejando el paso únicamente al dibujo que se produce, al pasar sobre la pantalla obligando a la tinta serigráfica a travesarla, quedando la impresión sobre la pieza. . Defectos de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos.

1.1.6.9. Cocción

Aplicado el esmalte y los diferentes decorados, los productos esmaltados son introducidos en el horno de rodillos, en los cuales se efectúa la cocción de las piezas mediante el calor aplicado en la zona de máxima temperatura.

Los hornos de rodillos están diseñados para que el producto transite continuamente sobre una cama de rodillos refractarios dentro de una estructura aislada térmicamente y en donde se eleva la temperatura por medio de quemadores de diesel.

1.1.6.10. Clasificación

La clasificación se realiza mediante un sistema automático con equipos mecánicos y visión superficial de las piezas.

El resultado es un producto controlado en cuanto a su regularidad dimensional, aspecto superficial y características mecánicas y químicas, alcanzando la excelente calidad.

Es una inspección visual del total de las piezas que se realiza a la salida del horno para seleccionar el producto de acuerdo a sus condiciones de calidad.
Controles de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos.

1.1.6.11. Embalaje y Paletizado

El producto clasificado se embala en cajas de cartón, se identifica, y se coloca en palets de madera para proceder al ingreso en bodega.

Con la etapa de clasificación y embalado finaliza el proceso de fabricación del producto cerámico. Tecnología de la Fabricación de Azulejos.

1.2. ATOMIZADORES EN LA INDUSTRIA CERAMICA

En el caso de los atomizadores, éstos se pueden dividir en dos grandes grupos:

1.2.1. Atomizadores de Calor Directo

En los cuales el calor necesario para calentar el líquido a evaporar, lo aporta el aire caliente mezclado con los gases de combustión, que al entrar en contacto directo con el líquido o suspensión, produce la evaporación (convección).

1.2.2. Atomizadores de Calor Indirecto

Aquellos en el que el calor es transmitido por conducción al material a tratar. Aquí nos ocuparemos de los atomizadores del primer tipo aplicados preferentemente a la industria cerámica. Tecnología de la Fabricación de Azulejos.

1.2.3. Atomizadores ATM

El flujo de aire caliente seca las partículas de barbotina, se dispone en volúmenes regulares, constantes en velocidad y presión, homogéneos en densidad y equilibrados en torno al eje central del espacio en el que se mueven.

Es un torbellino, un soplo hábil y bien conducido que garantiza valores de humedad y granulometría constantes, en una instalación donde reduciendo al mínimo cualquier dispersión se ahorra tiempo y energía.

“El atomizador SACMI, por lo tanto, es una máquina muy versátil y eficiente, ideal para azulejos o vajillas o para las particulares y sofisticadas mezclas de gres porcelánico”. (Tecnología de la Fabricación de Azulejos)

1.2.3.1. Estructura del Atomizador

El atomizador equipo que se encuentra en las proximidades de los molinos de barbotina tiene las siguiente partes.

1.2.3.2. La bomba de pistón de porcelana

Usado para la alimentación del la pasta liquida por medio del tubos pulverizadores.

La bomba posee los elementos como pistones de porcelana de acción directa, complementa una válvula de aspiración y descarga, es un acumulador hidroneumático con un manómetro incorporado. El pistón operando da la energía hidráulica a una central especial. Tecnología de la Fabricación de Azulejos.

Tabla 1.2.3.2-1

Condiciones Operacionales del Fabricante.

	ATM 4	ATM 8	ATM 15	ATM 20	ATM 30	ATM 50
Presione máximo Atm.	18	18	18	20	20	20
Alimentación de masa L/hora	4500	4500	9000	9000	9000	18.000
Potencia instalada HP	10	10	15	15	15	30
Pistones instalados	1	1	2	2	2	4

Fuente: Catalogo de Especificaciones de Atomizadores SACMI.

1.2.3.3. Tuberías de transporte de la pasta

Son de acero AISI 304 inoxidable; por donde la bomba envía pasta hacia las boquillas rociadores. En el sistema de conductos se insertan dos filtros.

Existen dos válvulas para operar manualmente que nos permiten la exclusión de cada filtro, para permitir de esta manera la limpieza de cada filtro.

1.2.3.4. Anillos de la torre porta boquillas rociadoras

Este anillo contiene las boquillas rociadoras que son acero inoxidable de AISI 304.

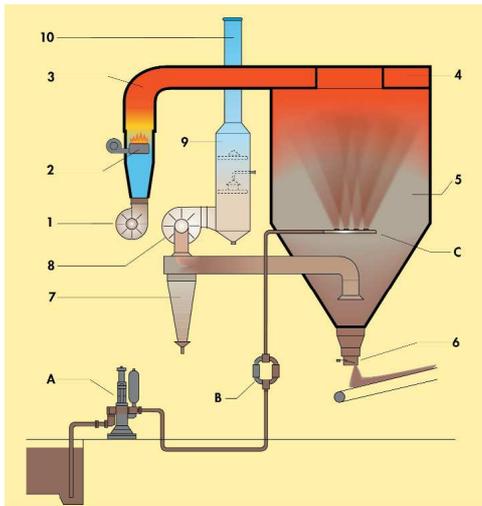
Tabla 1.2.3.4-1

Características de los Anillos de Fabricación.

	ATM 4	ATM 8	ATM15	ATM20	ATM30	ATM50
Diámetro de anillo mm.	300	500	800	1200	800 1800	800 1800
Las lanzas de los números	-----	----	-----	-----	-----	----
Números de boquillas instaladas	5	10	15	20	22	40

Fuente: Catalogo de Especificaciones de Atomizadores SACMI.

Las boquillas ubicadas en el anillo distribuidor o en lanzas radiales, pulverizan la mezcla de agua y tierra, en el gráfico 1.83.4-1 se identifican los elementos que forman parte del atomizador.



Fuente: www.Spay Sacmi.com

Fig 1.8.3.4-1 Dispositivos del Atomizador y Corona de Boquillas.

- ✘ El electroventilador de presurización empuja el aire
- ✘ A través del quemador que lo calienta
- ✘ A lo largo de una tubería de acero aislada térmicamente
- ✘ En el distribuidor anular que lo pone en rotación
- ✘ Dentro de la torre de secado.

Con letras se indican los elementos por el cual fluye la barbotina y son:

(A) Las bombas envían barbotina a presión constante,

(B) A través de los filtros,

(C) en una serie de boquillas con orificio calibrado.

Las boquillas ubicadas en el anillo distribuidor o en lanzas radiales, pulverizan la mezcla de agua y tierra.

- ✘ El producto secado de esta forma cae en el fondo de la torre donde se descarga en una cinta que lo transporta a los silos de almacenado.

- ✘ Los ciclones separadores capturan el aire húmedo y abaten gran parte del polvo fino en suspensión.
- ✘ El ventilador principal
- ✘ Introduce el aire húmedo en el abatidor que acaba el tratamiento de filtrado del polvo.
- ✘ El aire limpio se expulsa hacia el exterior a través de la chimenea.

Todo el ciclo está controlado mediante un equipo electrónico.

El producto secado de esta forma cae en el fondo de la torre donde se descarga en una cinta que lo transporta a los silos de almacenado.

1.2.3.5. Torre de Desecamiento

Los materiales que componen la torre de desecamiento son las siguientes:

- Parte interna: los anillos son de acero inoxidable tipo AISI 304, el espesor es de 2,5 mm.
- La parte intermedia: Lana de vidrio que cubre es de capa doble el espesor general es de 80 + 20mm., que reduce la transmisión del calor al aire externo y por consiguiente aumenta el rendimiento térmico.
- La parte externa: La cubierta protectora es una lámina de aluminio brillante cuyo espesor es de 1mm.

- Estructura portátil: Lámina metálica para proteger todo el exterior y que da dureza a la torre de desecamiento.

La torre de desecamiento esta compuesto las partes siguientes:

- Una boca de entrada del aire caliente: construido según las condiciones de producción dependiendo del modelo de la torre.
- Una puerta de control: para verificar el perfecto funcionamiento del aire caliente, y dotado de tronera o ventanilla para el control visual del operador y verificar una correcta atomización y desecamiento.
- Una lámpara de iluminación eléctrica: para la iluminación interna de la torre de desecamiento durante su funcionamiento, que ayuda a verificar el perfecto funcionamiento del atomizador.
- Una boca de aspiración de aire húmedo para disminuir la temperatura, está construida en acero inoxidable AISI 304 para evitar formación de montones de polvos sobre la torre.
- Conductos de salida del polvo fino: Conecta la torre de desecamiento a los separadores de los ciclones, los que se construyeron en acero AISI 304.

Ubicados en la parte más vecina a la torre se ha puesto un termostato al que preside un controlador del secado.

- La válvula: “Una válvula construida en acero inoxidable AISI 304, que controla la cantidad correcta de aire que necesita la torre”. (Catálogo atomizador Sacmi.)

1.2.4. MÉTODOS DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO PARA UN EFICIENTE FUNCIONAMIENTO

Durante la operación normal del atomizador, es fácil intervenir para llevar la humedad del polvo hacia el valor deseado, cuando por cualquier motivo esta se ha apartado del mismo. Se puede intervenir básicamente de dos maneras:

- a)** Cuando la variación de humedad que se tiene es muy grande, es preferible actuar sobre el quemador haciendo que la temperatura de la cámara (torre de secado) suba o baje según el polvo atomizado salga húmedo o seco. Hay que recordar siempre que la temperatura máxima del atomizador no debe superar los 650C por cuestiones de seguridad y duración, mientras que por motivos de productividad y manejo no debe ser menor a los 450C.
- b)** Cuando la variación de la humedad es pequeña (0,5%) es posible intervenir sobre la presión de la bomba de barbotina, aumentando o disminuyendo según salga más o menos seco o húmedo el polvo (la variación de presión debe ser por el orden de entre 2 y 3 atmósferas).

Es importante resaltar que para los parámetros de humedad del polvo no tienen mucha importancia las características de la barbotina, por cuanto se trata solamente de eliminar la cantidad justa de agua, suministrando más o menos energía térmica a la barbotina pulverizada, es decir, es posible obtener polvos con un 5% de humedad partiendo de una barbotina con el 30% de agua lo mismo que con el 50%.

En los atomizadores en los cuales el generador de calor es alimentado con combustible gaseoso (metano o GLP) funcionan de forma satisfactoria, los equipos son de regulación automática de la humedad.

Estos equipos actúan sobre el generador en función de la temperatura del aire en la salida; así, una vez llevado a régimen el atomizador, pequeñas variaciones de humedad en los polvos son compensados por este equipo automático.

Existen otros equipos de control que se basan en leer directamente la humedad de los polvos a la salida del atomizador. "Mediante microprocesadores es posible actuar sobre el quemador automáticamente después de haber fijado el valor deseado de la humedad". (Tecnología de la Fabricación de Azulejos)

1.2.5. LA GRANULOMETRÍA

Los parámetros de atomización que pueden tener una influencia importante sobre la granulometría son múltiples, y a continuación se analizan punto por punto las variaciones que se pueden dar en la granulometría según el parámetro que varíe.

- a) Porcentaje de agua: El porcentaje de agua contenido en la barbotina nos determina la mayor o menor facilidad de pulverización de la misma en la salida de la boquilla. En general, el aumento del porcentaje de agua favorece a la pulverización de la barbotina, pues provoca la formación de gotitas muy pequeñas, lo que hace que el polvo atomizado se desplace hacia las fracciones granulométricas más finas.

- b) Viscosidad de la barbotina: Un nivel de viscosidad alto (sobre 13s – 20s) determina granulometrías más gruesas, no obstante en el caso que se quiera obtener una granulometría más fina, no se debería trabajar con barbotinas de viscosidad inferior a los 13 segundos, pues la nube de gotitas que se formaría con esta viscosidad tan baja tendería a desplazarse de la zona óptima del atomizador llevándose hacia las paredes o el cono la corriente de aire descendente.

- c) Presión de la bomba: La presión de trabajo de la bomba influye sobre la pulverización o la trayectoria de las partículas al salir de la boquilla y va en directa relación con el diámetro de las mismas. Es decir que si aumentamos la presión y tenemos unas boquillas finas, el grano será

más fino, y si disminuimos la presión con las mismas boquillas obtendremos un grano más grueso.

d) Diámetro del orificio de la boquilla: Cuando se tienen boquillas con orificios de mayor diámetro, se dan polvos con granulometría más gruesa.

e) Espesor y tipo de espiral de la boquilla: La espiral de la boquilla asegura el movimiento rotatorio de la barbotina e influye sobre varios parámetros tales como la trayectoria de las partículas, sus dimensiones y la altura que alcanza la nube pulverizada.

Se tiene, igual que en el diámetro del orificio de la boquilla, un espesor mayor de espiral tiende a levantar y mantener unida la nube de barbotina, lo que provoca la formación de gotas más grandes y por tanto granulometrías más gruesas.

Recordando que el aumento del espesor del espiral determina un aumento de la cantidad de barbotina que sale por la boquilla; se tiene que este aumento es aproximadamente de un 15 a un 20% por cada 2 mm de espesor aumentado.

f) Tipo de atomizador: Se ha visto experimentalmente que a igualdad de condiciones, un atomizador con la torre de secado más grande produce granulometrías más gruesas.

Esto es debido a la mayor cantidad de barbotina nebulizada introducida que tiende a reagruparse formando gotitas mas gruesas en el seno de la nube y por consiguiente bolitas de atomizado de diámetro mayor. . Defectos de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos.

1.3. OPTIMIZACIÓN

Las secuencias de instrucciones, que determinan el trabajo realizado por una investigación requieren, habitualmente, una labor de depuración y ensayos sucesivos para optimizar el proceso. Dependiendo del tamaño del proyecto y del ámbito de trabajo, un investigador puede trabajar solo o formar parte de un equipo, estar implicado en parte o en todo el proceso.

1.3.1. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

1.3.1.1 Balance de Masa

Un balance de masa se basa en el axioma que dice : “La masa no se crea, ni destruye, solo se transforma”. Por lo tanto a través de un balance de masa, no sólo se tiene una mejor comprensión de lo que ocurre en las entradas y salidas, sino que permite identificar el origen de los residuos y a menudo las pérdidas de masa, que de otra manera pasan desapercibidas. El

balance inicial debe ser considerado como una evaluación aproximada que debe ser revisada y perfeccionada.

De acuerdo al tamaño de la planta se puede elaborar un balance de masa por operación unitaria o puede ser suficiente un solo balance para todo el proceso. Para el efecto se debe contar con información elaborada para cada operación unitaria y para el proceso global. Entonces se decide si deben incluirse todas las entradas y salidas en el balance de masa o si se hacen balances específicos por separado. Para fines de seguimiento y evaluación de la planta, se debe estandarizar las unidades de medición (litros, kilogramos o toneladas); la unidad de tiempo (por hora, día, mes o año) y la referencia para calcular los consumos específicos (por unidad de producción). Así mismo se debe usar valores medidos en unidades estándar con referencia al o los diagramas de flujo. Con la información obtenida de las entradas y salidas de masa en cada operación unitaria se puede estructurar un balance de masa.

Todos los insumos que entran a un proceso u operación, salen como productos y residuos; en este sentido un balance de masa se define como la verificación de la igualdad cuantitativa de masa que debe existir entre los insumos de entrada y los productos y residuos de salida.

Sí:

$$M_E = M_{i1} + M_{i2} + \dots + M_{iN}$$

$$M_S = M_P + M_R + M_N$$

Balance de masa: $M_E = M_S$

Donde:

M = Masa

i1= Insumo 1

R = Residuo

E = Entrada

i2= Insumo 2

P = Producto

S= Salida

iN= Insumo N

N = No identificado

Los materiales no identificados, generalmente se atribuye a perdida de insumos y productos por derrame, fugas y otras causas similares cuyo origen no pudo ser detectado y por ende su masas no se pudieron ser cuantificadas.

1.3.1.2 Balance de Energía

La energía representa un insumo muy importante en la industria en general y el gasto que representa puede influir, dependiendo del tipo de industria, de manera significativa en la estructura de costo de la empresa.

Siguiendo el método que se explicó para el balance de masa, se puede elaborar un balance de energía en cada operación unitaria o proceso donde interviene la energía en una de sus dos formas de energía eléctrica o térmica.

La energía térmica utilizada proviene del proceso de combustión de uno o más combustibles, por lo general se lo utiliza para la producción de vapor, el cual es usado a través de intercambiadores de calor o de manera directa.

La energía eléctrica es utilizada, por lo general en las diferentes operaciones unitarias para impulsar motores eléctricos de los equipos y producir movimiento mecánico.

1.3.2.- TRANSFERENCIA DE ENERGIA

1.3.2.1- Naturaleza de los Calores Transferidos

La naturaleza del calor transferido es Sensible, que es la cantidad de calor recibido o cedido por un cuerpo al sufrir una variación de temperatura sin que haya cambio de estado físico (sólido, líquido o gaseoso).

Matemáticamente la ecuación que rige este fenómeno es la siguiente:

$$Q_s = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad \text{ec: 1.3.2.1-1}$$

Donde:

Q = calor sensible

m. = flujo másico

ΔT = variación de temperatura

C_p = calor específico del combustible

1.3.2.2.-Criterio de Equilibrio-Térmico

Equilibrio Térmico.-Es aquel estado en donde un sistema tiene el mismo nivel térmico a una temperatura dada.

La ecuación que rige el equilibrio térmico es la siguiente:

$$\Sigma Q \text{ ENTRADA} = \Sigma Q \text{ SALIDA} - \Sigma \text{ PERDIDAS DE CALOR. Ec: 1.3.2.2-1}$$

1.3.3 BOMBAS DE PISTÓN

La bomba de pistones PBB-30 es de volumen variable impulsada con un motor de velocidad constante; la misma que se justan cambiado la longitud de carrera del pistón, por tanto debemos conocer cual es la potencia de este tipo de motor en sus condiciones iniciales.

Por tal motivo se necesita realizar cálculos de optimización para una bomba de pistón con sistema hidráulico.

La eficiencia de una bomba es el producto de la eficiencia volumétrica, la hidráulica y la mecánica, por lo general estas bombas tienen una cámara de líquido hidráulico.

El funcionamiento de las bombas de pistones zambullidores TPB es bastante simple y se lo indica a continuación.

La bomba oleodinámica de engranajes, es activada por el motor eléctrico, crea una cantidad de aceite que alternativamente, alimenta la cámara superior y la inferior del pistón oleodinámico, a través del distribuidor mecánico.

El pistón en porcelana, a su vez, conectado directamente con el pistón oleodinámico, recibe este movimiento alternado y mediante válvulas de absorción y envío saca la barbotina con la bomba.

“La presión del aceite hidráulico es limitada por la válvula limitadora de la presión ubicada en el tablero”. (Viloria,j., Neumática, Hidráulica y Electricidad Aplicada)

La bomba de pistón PBB-30 por ser de volumen variable y de velocidad constate, para realizar un incremento se lo realizará por el doble del caudal necesitamos conocer si el volumen de liquido hidráulico es suficiente como para incrementar la carrera del pistón al doble, para ello se realiza el calculo de la potencia de la bomba hidráulica.

La potencia de este será transmitida al otro pistón que asegurará la alimentación del volumen requerido hacia el atomizador para incrementar la producción de polvo seco atomizado, provocando el desplazamiento del pistón.

1.3.3.1 Cálculo de la Bomba de Pistón.

Se tiene que indicar que para efectos de cálculo se debe considerar que el embolo es de acción directa con cilindro, ya que por tratarse de un fluido que se va a atomizar, la presión que se necesita para que se pulverizar se la transmitirá a través del pistón, que será accionado por un sistema

hidráulico, provocando el desplazamiento del pistón, para lo cual se procederá a realizar los cálculos del siguiente modo.

1.3.3.2 Cálculo del Área del Embolo.

Para el cálculo del caudal nominal del líquido hidráulico se necesita conocer el volumen hidráulico contenido en la cámara, entonces se procede a calcular el área del embolo, para ello se utiliza la siguiente:

$$A = \frac{\pi \times \phi^2}{4} = \text{mm}^2 \quad (\text{ec.1.3.3.2.-1})$$

Donde:

A = Área del embolo en (mm²)

Ø² = Diámetro del embolo (mm²)

1.3.3.3. Cálculo del Caudal Nominal del Líquido Hidráulico.

Para calcular el caudal nominal se necesita conocer el volumen del líquido hidráulico y una vez conocido el área del embolo se procede a calcular el volumen del líquido hidráulico con las siguientes ecuaciones:

$$V_h = A \times C = m^3 \quad (\text{ec.1.3.3.3.-1})$$

$$Q \eta = \frac{V}{t} = \frac{L}{s} \quad (\text{ec.1.3.3.3.-2})$$

Donde:

V_h = Volumen del líquido hidráulico en (m^3)

A = Área del embolo en (mm^2)

C = Carrera de embolo en (m)

$Q\eta$ = Caudal nominal

t = Tiempo en que el pistón realiza la carrera en (s).

$$V_h = A \times C$$

Una vez que se tiene el volumen procedemos a reemplazar en la ecuación

1.3.3.3-2

$$Q\eta = \frac{V}{t} \left(\frac{L}{s} \right)$$

1.3.3.4. Cálculo del Caudal Real.

Una vez que se obtiene el caudal nominal se procede a calcular el caudal real según la siguiente ecuación:

$$Q_r = \frac{Q\eta}{\eta} = \left(\frac{L}{\text{min}} \right) \quad \text{ec: 1.3.3.4-1}$$

Donde:

Q_r = Caudal real en (L / min)

Q_n = Caudal nominal en (L / min)

η = Eficiencia de la bomba

1.3.3.5 Cálculo de la Potencia de la Bomba de Pistones.

Una bomba puede elevar verdaderamente el líquido o introducirlo a la fuerza a un recipiente a presión, o bien, darle simplemente una carga para vencer la fricción de las tuberías, sea cual sea el servicio de la bomba, todas las formas de energía aplicadas al líquido, la cual se considera como trabajo.

“Para determinar el trabajo teórico que se requiere de una bomba, lo que se conoce como potencia hidráulica, es necesario conocer la carga dinámica total y el líquido que se debe bombear en un tiempo dado. Por lo común el peso se expresa en volumen y la densidad o la densidad relativa”. (Viloria,J., Neumática, Hidráulica y Electricidad Aplicada).

Para encontrar la potencia de la bomba hidráulica se utiliza la siguiente ecuación:

$$Potencia = \frac{P \times Q_r}{600 \times \eta} = Kw \quad (\text{ec.1.3.3.5-1})$$

Donde:

P= Presión Manométrica en (bar)

Qr= Caudal real en (L/min)

η t= Eficiencia total del circuito motor (motor – bomba)

1.3.3.6. Potencia de Accionamiento de la Bomba Pistón.

La potencia de accionamiento es la potencia que se necesita para que una bomba empiece a trabajar, también se determina la potencia que necesitará la bomba para ser accionada, para lo cual utilizamos la siguiente ecuación:

$$P_a = \frac{P \times Q_r}{441,2 \times \eta_t} = CV \quad (\text{ec.1.3.3.6-1})$$

CAPITULO II
PARTE EXPERIMENTAL

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. ANÁLISIS DE LABORATORIO

El principal objetivo del análisis de laboratorio es establecer la calidad de la pasta líquida correspondiente a la cisterna de alimentación para poder determinar las condiciones que nos permita realizar una buena atomización, que permita obtener una pasta atomizada con humedad de 6%. Estos análisis sólo abarcan parámetros físicos.

2.1.1. TOMA DE LA MUESTRA

El objetivo de la toma de muestras es la obtención de una porción de material cuyo volumen sea lo suficientemente pequeño, como para que pueda ser transportado con facilidad y manipulado en el laboratorio de control de calidad, sin que por ello deje de representar con exactitud al material de donde procede.

Este objetivo implica que la proporción o concentración relativa de todos los componentes serán las mismas en las muestras que en el material de donde proceden, y que dichas muestras serán manejadas de tal forma que no se produzcan alteraciones significativas en su composición antes de que se hagan las pruebas correspondientes.

Para tal fin se ha realizado un método de muestreo manual, y se ha escogido una muestra recogida en distintos puntos en la desembocadura del atomizador al mismo tiempo.

Para tomar la muestra se utilizó un recipiente de plástico, y en el laboratorio se realizó los análisis correspondientes. Se llevan en un registro de auditorías realizadas diariamente.

Las muestras fueron recogidas en los horarios laborables durante 5 meses consecutivos. Todos los resultados fueron procesados estadísticamente a fin de establecer su representatividad.

2.1.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS

Cada uno de los parámetros medidos, se realizaron con las diferentes técnicas tomadas del Manual de procedimientos normalizados de la empresa ecuatoriana de cerámica:

Tabla 2.1.2-1

Parámetros y Técnicas Utilizadas en la Investigación

Parámetro	Técnica
Humedad	INEN -1160
Densidad	INEN - 652
Viscosidad	INEN - 160
Sólidos	INEN - 564
Granulometría	INEN - 698

Fuente: Catalogo de Especificaciones de Control de calidad del Atomizadores SACMI.

Tabla 2.1.2-2

Determinación de la Humedad de la Pasta Atomizada

Procedimiento	Fundamento	Materiales	Formula de Cálculo
<ul style="list-style-type: none"> - Pesar 10g de muestra en un recipiente previamente tarado. - Anotar su peso como H₁. -Colocar en la estufa aproximadamente a 110C o en la lámpara de rayos infrarrojos por 10 minutos, hasta peso constante. - Pesar nuevamente identificando H₂. - Realizar los cálculos. 	<p>Determinar el porcentaje de agua contenida en el polvo atomizado, para asegurar un correcto prensado</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza - Capsula - Lámpara Infrarroja 	$\%humedad = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \times 100$ <p>Donde: H₁= Peso de muestra húmeda. H₂= Peso de muestra seca</p>

Fuente: Manual de Procedimientos de Ecuatoriana de Cerámica.

Tabla 2.1.2-3

Determinación de la Densidad de la Barbotina

Procedimiento	Fundamento	Materiales	Fórmula de Cálculo
<p>- Pesarse el picnómetro vacío con la muestra más tapa y registrar como P1.</p> <p>- Llenar el picnómetro con la muestra hasta el borde superior, colocar la tapa; pesar el conjunto e identificar su peso como P2.</p> <p>-Realizar cálculos.</p>	<p>El método de ensayo para la determinación de la densidad se basa en la determinación del peso y del volumen que ocupa una muestra líquida, estableciéndose luego la relación peso-volumen como base para la determinación de la densidad.</p>	<p>- Balanza</p> <p>-Picnómetro</p>	$Densidad = \frac{P_2 - P_1}{100}$ <p>Donde:</p> <p>P1.=Peso del picnómetro vacío</p> <p>P2.= Peso del picnómetro vacío más muestra.</p>

Fuente: Manual de Procedimientos de Ecuatoriana de Cerámica.

Tabla 2.1.2 - 4

Determinación de la Viscosidad de la Barbotina

Procedimiento	Fundamento	Materiales	Fórmula de Cálculo
<p>-Se llena la copa con el líquido a controlar</p> <p>-Se deja caer el líquido y al mismo tiempo se pone en funcionamiento el cronómetro y se detiene cuando el recipiente (copa) se vacía.</p> <p>-Se lee el tiempo que marca el cronómetro.</p>	<p>Establecer el método de ensayo para la determinación de la viscosidad (tiempo de flujo) basándose en la obtención del tiempo que necesita un fluido para evacuar un recipiente de volumen constante y que fluye a través de un orificio de diámetro predeterminado.</p>	<p>- Balanza</p> <p>- Picnómetro</p> <p>- Copa ford diámetro 4mm</p> <p>- Cronómetro</p>	<p>El tiempo determinado con el cronómetro representa el valor de la viscosidad (tiempo de flujo) de la muestra, expresado en segundos.</p>

Fuente: Manual de Procedimientos de Ecuatoriana de Cerámica.

Tabla 2.1.2-5**Determinación del Residuo de la Barbotina**

Fuente: Manual de Procedimientos de Ecuatoriana de Cerámica.

Procedimiento	Fundamento	Materiales	Formula de Cálculo
<p>-Se toma 100 cc de la barbotina.</p> <p>-Se pasa a través del tamiz con ayuda de un chorro de agua hasta que esta salga completamente transparente.</p> <p>-El material retenido se lo pasa a un recipiente de peso conocido.</p> <p>-Se seca en la estufa hasta peso constante, y luego se pesa.</p>	<p>El método de ensayo para la determinación del residuo basándose en la determinación de la cantidad de material retenido en un tamiz de malla específica.</p>	<p>- Balanza</p> <p>- Crisol</p> <p>- Estufa</p> <p>-Tamiz número malla 325 ASTM</p>	<p>- El peso del material retenido en el tamiz representa el residuo de la muestra analizada expresada en porcentaje.</p>

Tabla 2.1.2-6

Determinación de Sólidos de la Barbotina

Fuente: Manual de Procedimientos de Ecuatoriana de Cerámica.

Procedimiento	Fundamento	Materiales	Formula de Cálculo
<p>-Pesar 100 gramos de la muestra líquida y registrar como P1.</p> <p>-Secar la muestra hasta total evaporación del agua o peso constante.</p> <p>-Pesar la muestra seca y registrar como P2.</p>	<p>El método de ensayo para la determinación del porcentaje de sólidos, permite conocer que la cantidad de sólidos se encuentre dentro del valor establecido en la formulación.</p>	<p>- Balanza</p> <p>- Crisol</p> <p>- Cocineta</p>	<p>$\% Sólidos = P_1 - P_2$</p> <p>Donde:</p> <p>P₁= Peso de muestra líquida</p> <p>P₂= Peso de muestra seca</p>

Tabla 2.1.2-7

Determinación de Granulometría del polvo Atomizado

Fuente: Manual de Procedimientos de Ecuatoriana de Cerámica.

Procedimiento	Fundamento	Materiales	Formula de Cálculo
<ul style="list-style-type: none"> - Pesar 100 gramos de la muestra seca. - Coloque la cantidad de agregado pesado en la parte superior de los tamices previamente ordenados, tápelos. - Encender el vibrador por espacio de cinco minutos aproximadamente. - Pese el material retenido en cada tamiz y el que se quedó en la bandeja. 	<p>El método de ensayo determina la cantidad de polvos fino y grueso presentes en el polvo atomizado</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza - Tamiz 	<p>$\% \text{ Retenido} = P_1 - P_2$ Donde: $P_1 =$ Peso Tamiz con muestra $P_2 =$ Peso Tamiz vacío</p>

2.2. OBTENCIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES

Para realizar la obtención de datos que permitan realizar el trabajo de investigación sobre la optimización del atomizador, se procedió a realizar la

caracterización de la barbotina, para ello se debe considerar que la densidad, viscosidad, residuos y porcentaje de sólidos, son los parámetros de calidad, que nos aseguran que la barbotina se encuentre en óptimas condiciones para ser atomizada, para realizar los análisis se los indica a continuación.

Una vez cubierto el ciclo de molienda, se extrae una muestra de la cisterna general para realizar en el Laboratorio de control de calidad los análisis o determinaciones:

En la tabla 2.2-1 se muestra los resultados de cada una de las determinaciones.

TABLA 2.2-1
ANÁLISIS DE LA BARBOTINA EN CONDICIONES INICIALES DE OPERACIÓN

		PLANTA DE AZULEJOS		TURNOS I Y II
FECHAS	DENSIDAD 1,63-1,68 g/ml	VISCOSIDAD 8-13 S	RESIDUO 4-5 %	SÓLIDOS 60-64 %
02/04/2007	1,64	11	4,84	60,67
08/04/2007	1,63	10	4,84	62,60
12/04/2007	1,64	12	3,76	62,77
13/04/2007	1,65	12	4,73	64,45
14/04/2007	1,64	9	5,00	62,14
15/04/2007	1,63	9	5,00	62,00
16/04/2007	1,64	10	4,65	61,49
20/04/2007	1,66	12	5,00	62,50
28/04/2007	1,63	10	4,60	62,00
30/04/2007	1,63	11	4,40	62,00

Fuente: Johnny Barreno.

TABLA 2.2-2

ANALISIS DE LA BARBOTINA EN CONDICIONES DE OPTIMIZACION DE OPERACIÓN

		PLANTA DE AZULEJOS		
FECHAS	DENSIDAD 1,63-1,68 g/ml	VISCOSIDAD 8-13 S	RESIDUO 4-5 %	SÓLIDOS 60-64 %
02/05/2007	1,64	12	4,96	60,00
07/05/2007	1,63	11	4,70	60,00
11/05/2007	1,63	11	5,00	60,70
13/05/2007	1,64	10	4,80	62,00
14/05/2007	1,63	11	5,00	61,30
17/05/2007	1,64	11	4,60	62,86
19/05/2007	1,61	9	5,20	59,19
22/05/2007	1,63	10	5,74	60,40
26/05/2007	1,62	9	5,00	59,60
30/05/2007	1,61	10	4,04	59,75
20/06/2007	1,63	10	5,78	60,70
21/06/2007	1,58	9	4,47	57,40
22/06/2007	1,57	8	4,79	56,89
23/06/2007	1,61	10	4,99	59,50
25/06/2007	1,63	10	5,21	60,16
29/06/2007	1,63	12	4,98	61,90
30/06/2007	1,63	10	5,74	60,40

Fuente: Johnny Barreno.

TABLA 2.2-3**DATOS DE LAS VARIABLES EN LAS CONDICIONES INICIALES DE OPERACIÓN DEL ATOMIZADOR**

Fecha	Humedad	P.Bomba Bar	Producción de Pasta Kg/h	Temperaturas C	
	%			Aire Entrada	Aire de salida
02/04/2007	6,8	9	1440	400	100
08/04/2007	6,9	9	1500	400	100
12/04/2007	6,9	9	1500	380	100
13/04/2007	6,7	9	1500	380	100
14/04/2007	6,8	9	1500	380	100
15/04/2007	6,8	9	1440	380	100
16/04/2007	6,9	9	1440	380	100
20/04/2007	7,0	9	1560	380	100
28/04/2007	6,6	9	1680	420	100
30/04/2007	6,8	9	1680	420	100

Fuente: Johnny Barreno.

TABLA 2.2-4**DATOS DE LAS VARIABLES EN LAS CONDICIONES DE MONITOREO OPERACIÓN DEL ATOMIZADOR**

Fecha	Humedad %	P.Bomba Bar	Producción de Pasta Kg/h	Temperaturas C	
				Aire Entrada	Aire de salida
02/05/2007	6,8	10	1560	350	100
07/05/2007	6,9	10	1500	380	100
11/05/2007	6,9	10	1600	400	100
13/05/2007	6,7	10	1600	400	100
14/05/2007	6,8	10	1560	350	100
17/05/2007	6,9	10	1500	380	100
19/05/2007	6,9	10	1600	400	100
22/05/2007	6,7	10	1600	400	100
26/05/2007	6,9	10	1600	400	100
30/05/2007	6,7	10	1600	400	100

Fuente: Johnny Barreno.

TABLA 2.2-5**DATOS DE LAS VARIABLES EN LAS CONDICIONES DE REAJUSTE DE VARIABLES**

Ensayos	Humedad %	P.Bomba Bar	Producción de Pasta Kg/h	Temperaturas C	
				Aire Entrada	Aire de salida
01/06/2007	6,8	17	2160	450	100
03/06/2007	6,8	18	2160	450	90
07/06/2007	6,9	18	2160	450	100
10/06/2007	6,9	15	1680	450	100
12/06/2007	6,7	16	1860	450	100
13/06/2007	6,8	16	1860	450	100
18/06/2007	6,9	18	2160	450	100
19/06/2007	6,8	18	2220	420	90
24/06/2007	6,9	18	2220	420	90
20/06/2007	6,9	18	2160	430	100
21/06/2007	6,7	18	2220	420	100
22/06/2007	6,8	18	2220	420	100
23/06/2007	6,3	18	2160	440	100
25/06/2007	6,6	18	2160	430	100
29/06/2007	6,7	18	1980	420	100
30/06/2007	6,8	18	2220	420	100

Fuente: Johnny Barreno.

2.3. DIAGNOSTICO DEL ATOMIZADOR

El atomizador Dorst equipo en estudio para realizar una optimización en su producción, fue sometido a una reingeniería para tratar de alcanzar el objetivo de incrementar la producción de polvo atomizado, se realizaron los siguientes cambios:

- Se disponía de un generador de calor con un ventilador accionado por un motor de 4,45Hp, el mismo que fue reemplazado por un motor de 5,5 Hp, para mantener una temperatura de aire de entrada entre los 400C y 600C, recomendados por el fabricante por cuestiones de seguridad y duración.
-
- Para el incremento del caudal de la barbotina se instaló una bomba de 0dos pistones con una potencia de 20Hp, para 30 suministrar una presión de 30 bar, con un gasto másico de 9000L/h.
-
- El electro ventilador actual tiene una potencia de 25Hp que proporciona 18000 m³/h, de caudal de aire, que sustituyo al ventilador anterior que tenía una potencia de 20,12Hp.
-
- Las condiciones iniciales y actuales de operación del atomizador son las siguientes como se indica en la tabla 2.3-1:

Tabla 2.3-1

Valores De las Variables de Operación Inicial y actuales

Equipos	VARIABLES	Valores de Operación Inicial	Valores de Operación Actuales
Bomba de Barbotina	Presión Bar	9	18
Bomba de Barbotina	Caudal Kg/h	2222,57	3426,45
Torre de Atomizador	Humedad %	6,8	6,7
Generador de calor	Temperatura de aire de entrada C	380 - 400	420-450
Electroventilador	Caudal de aire m ³ /h	18000	18000
Torre de Atomizador	Temperatura de aire de salida C	90	100
Torre de Atomizador	Caudal de Salida Kg/h	1440	2220

Fuente: Johnny Barreno.

CAPITULO III
CALCULOS Y RESULTADOS

3. CALCULOS Y RESULTADOS

PROPUESTA

OPTIMIZACION

3.1. CALCULOS

Para realizar los cálculos en la optimización del atomizador necesitamos conocer en que proporción se necesita incrementar la producción, para nuestro caso se requiere que sea mas del doble de lo que se está produciendo.

Cálculo de la potencia estimada:

Variable	Símbolo	Unidades	Valores Referenciales
Producción Inicial	Q_1	Kg/h	1440
Producción Requerida	Q_2	Kg/h	3726,38
Diámetro Rodete	\emptyset	cm	8,5
Revoluciones	N_1	RPM	1750

Fuente: Catalogo de Especificaciones de Atomizadores SACMI.

Se calcula en que proporción se desea incrementar la producción si el objetivo es alcanzar a 3726,38 Kg/h partiendo de 1440Kg/h, así tenemos que:

$$Q_2 = \frac{\text{Producción Requerida}}{\text{Producción Inicial}}$$

$$Q_2 = \frac{3726,38 \text{ Kg/h}}{1440 \text{ Kg/h}} = 2,5877 \approx 2,59$$

Si el diámetro es constante y RPM 1750 se tiene:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \left(\frac{\phi_1}{\phi_2} \right)^3$$

$$N_2 = N_1 * \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right) \left(\frac{\phi_1}{\phi_2} \right)^3 \quad N_2 = 1750 * \left(\frac{2,59}{1} \right)^3 = 4532,5 \text{ RPM}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3 \left(\frac{\phi_1}{\phi_2} \right)^5 = Hp$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{1750}{4532,5} \right)^3 = 0,05755Hp$$

$$P_2 = \frac{1}{0,0575} P_1 = 17,36Hp$$

3.1.1 CÁLCULO DEL AREA DEL EMBOLO DE LA CÁMARA HIDRÁULICA DE LA BOMBA DE PISTÓN OLEODINÁMICA.

Para el cálculo del caudal nominal del líquido hidráulico se necesita conocer el volumen hidráulico contenido en la cámara, entonces se procede a calcular el área del embolo, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi \times \phi^2}{4} = m^2 \quad (\text{ec.1.3.3.2.-1})$$

Donde:

A = Área del embolo en (m²)

Ø = 8,5cm Diámetro del embolo

$$A = \frac{\pi \times (0,085)^2}{4} = 5,67 \times 10^{-3} m^2$$

3.1.1.2 Cálculo del Caudal Nominal del Líquido Hidráulico.

Para calcular el caudal nominal se necesita conocer el volumen del líquido hidráulico y una vez conocido el área del embolo se procede a calcular el volumen del líquido hidráulico con las siguientes ecuaciones:

$$V_h = A \times C = m^3 \quad (\text{ec.1.3.3.3.-1})$$

$$Q \eta = \frac{V}{t} = \frac{L}{s} \quad (\text{ec.1.3.3.3.-2})$$

Donde:

V_h = Volumen del líquido hidráulico en (m³)

$$A = 5,67 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$C = 0,375 \text{m}$$

$Q\eta$ = Caudal nominal

$$t = 1 \text{s.}$$

$$Vh = A \times C$$

$$Vh = 5,67 \times 10^{-3} \times 0,375 = 2,13 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

$$2,13 \times 10^{-3} \text{m}^3 \times \frac{1000 \text{L}}{1 \text{m}^3} = 2,13 \text{L}$$

Una vez que se tiene el volumen procedemos a reemplazar en la ecuación

1.3.3.3-2

$$Q\eta = \frac{V}{t} \left(\frac{\text{L}}{\text{s}} \right)$$

$$Q\eta = \frac{2,13}{1} = 2,13 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$2,13 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \frac{60 \text{s}}{1 \text{min}} = 127,67 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

3.1.1.3 Cálculo del Caudal Real.

Una vez que se obtiene el caudal nominal se procede a calcular el caudal real

según la siguiente ecuación:

$$Q_r = \frac{Q\eta}{\eta} = \frac{\text{L}}{\text{min}} \quad \text{ec: 1.3.3.4-1}$$

Donde:

Q_r = Caudal real en (L / min)

Q_n = 127,67L / min

η = 0,75 Eficiencia de la bomba

$$Q_r = \frac{127,67}{0,75} = 170,23 \frac{L}{\text{min}}$$

3.1.1.4 Cálculo de la Potencia de la Bomba de Pistones

Para encontrar la potencia de la bomba hidráulica se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia} = \frac{P \times Q_r}{600 \times \eta} = K_w \quad (\text{ec.1.3.3.5-1})$$

Donde:

P= Presión necesaria de compresión en (bar)

Q_r= Caudal real en (L/min)

η_t= Eficiencia total del circuito motor (motor – bomba)

$$\text{Potencia} = \frac{17,5 \times 170,23}{600 \times 0,75} = 6,62 K_w$$

$$13,24 K_w \times \frac{1000W}{1K_w} \times \frac{1Hp}{746W} = 8,87 Hp \times 2 \text{ pistones} = 17,74 Hp$$

3.1.2 CALCULO DE LA PRESION DE LA CAMARA DE PISTON DE LA BARBOTINA

3.1.2.1 Cámara de Pistón de la Barbotina.

La bomba de pistón PBB-30 por ser una de volumen variable y de velocidad constate, para realizar un incremento en la producción de polvo atomizado, se lo realizará por el doble del caudal necesitamos conocer si el volumen de

líquido hidráulico es suficiente como para incrementar la carrera del pistón al doble, para ello se realiza el cálculo de la potencia de la bomba hidráulica.

3.1.2.2 Cálculo de la Cámara de Pistón de la Barbotina

Se tiene que indicar que para efectos de cálculo se debe considerar que el embolo es de acción directa con cilindro, y que la potencia de este será transmitida al otro pistón que asegurará la alimentación del volumen requerido hacia el atomizador para incrementar la producción de polvo seco atomizado, provocando el desplazamiento del pistón, para lo cual se procederá a realizar los cálculos del siguiente modo.

3.1.2.3 Cálculo del Área del embolo de la Cámara de Barbotina

Para el cálculo del caudal nominal del líquido hidráulico se necesita conocer el volumen hidráulico contenido en la cámara, entonces se procede a calcular el área del embolo, para ello se utiliza la siguiente:

$$A = \frac{\pi \times \phi^2}{4} = m^2 \quad (\text{ec.1.3.3.2.-1})$$

Donde:

A = Área del embolo en (m²)

Ø = 12cm Diámetro del embolo

$$A = \frac{\pi \times (0,12)^2}{4} = 0,011 \times 10^{-3} m^2$$

3.1.2.4 Cálculo del Caudal Nominal de la Barbotina

Para calcular el caudal nominal se necesita conocer el volumen del líquido hidráulico y una vez conocido el área del embolo se procede a calcular el volumen del líquido hidráulico con las siguientes ecuaciones:

$$V_h = A \times C = m^3 \quad (\text{ec.1.3.3.3-1})$$

$$Q \eta = \frac{V}{t} = \frac{L}{s} \quad (\text{ec.1.3.3.3-2})$$

Donde:

V_h = Volumen del líquido hidráulico en (m^3)

A = $0,011309 \times 10^{-3} m^2$

C = $0,375m$

$Q\eta$ = Caudal nominal

t = $1s$.

$$V_h = A \times C$$

$$V_h = 0,011309 \times 10^{-3} \times 0,375 = 4,24 \times 10^{-3} m^3$$

$$4,24 \times 10^{-3} m^3 \times \frac{1000L}{1m^3} = 2,24L$$

Una vez que se tiene el volumen procedemos a reemplazar en la ecuación

1.3.3.3-2

$$Q \eta = \frac{V}{t} \left(\frac{L}{s} \right)$$

$$Q \eta = \frac{2,24}{1} = 2,24 \frac{L}{s}$$

$$2,24 \frac{L}{S} \times \frac{60S}{1 \text{ min}} = 254,46 \frac{L}{\text{min}}$$

3.1.2.5 Cálculo del Caudal Real

Una vez que se obtiene el caudal nominal se procede a calcular el caudal real según la siguiente ecuación:

$$Q_r = \frac{Q \eta}{\eta} = \frac{L}{\text{min}} \quad \text{ec: 1.3.3.4-1}$$

Donde:

Qr = Caudal real en (L / min)

Qn = 254,46L / min

$\eta = 0,75$ Eficiencia de la bomba

$$Q_r = \frac{254,46}{0,75} = 339,2 \frac{L}{\text{min}}$$

3.1.2.6 Calculo de la Presión de la Bomba de Pistones

Para encontrar la potencia de la bomba hidráulica se utiliza la siguiente ecuación:

$$Potencia = \frac{PxQ_r}{600 \times \eta} = Kw \quad (\text{ec.1.3.3.5-1})$$

Donde:

P= Presión necesaria de compresión en (bar)

Qr= Caudal real 339,2 (L/min)

η_t = Eficiencia total del circuito motor (motor – bomba)

$$Pr esión = \frac{12,95 \times 600 \times 0,75}{339,2} = 17,18 Bar$$

3.2 CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE

Conociendo la masa promedio de combustible al generador de calor (MCG):

MCG = volumen de combustible x densidad combustible

$$MCG = 7,85 \frac{L}{h} \times 0,848 \frac{kg}{l}$$

$$MCG = 7,42 \frac{kg}{h}$$

El consumo específico de combustible viene dado de la siguiente manera:

$$CC = \frac{MCG \frac{kg}{dia}}{Ph \frac{Kg}{h}}$$

$$CC = \frac{7,42 \frac{kg}{h}}{1440 \frac{Kg}{h}} = 5,15 \times 10^{-3} \frac{kgcomb}{kgatomiz}$$

3.2.1 CALOR SUMINISTRADO AL ATOMIZADOR (Q)

En consecuencia para obtener el calor suministrado por kg atomizado se debe

aplicar el poder calorífico del diesel siendo de $10809,52 \frac{kcal}{kg}$

3.2.1.2 Calor que genera el combustible

El calor sensible que aporta el combustible se obtiene realizando a la temperatura promedio del combustible de ingreso es a la temperatura de referencia de 21 °C del medio ambiente, aplicando el poder calorífico del diesel que es de 10809,52 Kcal/kg se obtiene el calor suministrado por cada kilogramo atomizado:

Así tenemos que:

$$Q_c = 7,42 \text{ kg/h} \times 10809,52 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$Q_c = 80206,64 \text{ Kcal/h} \times 1 \text{ h}/1440 \text{ kg atomizado}$$

$$Q_c = 55,69 \text{ Kcal comb/kg atomizado}$$

$$Q_c = 233162,9 \text{ J comb/kg atomizado}$$

3.2.1.3 Consumo de Combustible

Para determinar la cantidad de diesel que se requiere para incrementar la temperatura del aire caliente

$$10809,52 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} \times 0,848 \frac{\text{Kg}}{\text{L}} \times 3,78 \frac{\text{L}}{\text{galón}} = 34649,27 \frac{\text{Kcal}}{\text{galón}}$$

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q = 1440 \times 0,22 \times (400 - 35)$$

$$Q = 1440 \times 0,22 \times (638)$$

$$Q = 202118,4 \text{ Kcal/h}$$

$$CC = \frac{\text{Potencia Térmica Requerida}}{\text{Poder Calórico del Diesel}} = \frac{\text{galón}}{\text{h}}$$

$$CC = \frac{202118,4}{34649,27} = 5,83 \frac{\text{gal}}{\text{h}}$$

Para incrementar la temperatura a 450C se calcula la cantidad de combustible que se necesitará por lo que:

$$Q = m. C_p. \Delta T$$

$$Q = 2220 \times 0,22 \times (450 - 35)$$

$$Q = 1440 \times 0,22 \times (688)$$

$$Q = 336321,92 \text{ Kcal/h}$$

$$CC = \frac{\text{Potencia Térmica Requerida}}{\text{Poder Calorífico del Diesel}} = \frac{\text{galón}}{\text{h}}$$

$$CC = \frac{336321,92}{34649,27} = 9,70 \frac{\text{gal}}{\text{h}}$$

3.3 TRANSFERENCIA DE ENERGIA

3.3.1 NATURALEZA DE LOS CALORES TRANSFERIDOS

Matemáticamente la ecuación que rige este fenómeno es la siguiente:

$$Q_s = m. C_p. \Delta T \quad \text{Ec: 3.2.1-1}$$

Donde:

Q = calor sensible

m. = flujo másico

ΔT = variación de temperatura

C_p = calor específico del combustible

3.3.2.-CRITERIO DE EQUILIBRIO-TÉRMICO

La ecuación que rige el equilibrio térmico es la siguiente:

$$\Sigma Q \text{ ENTRADA} = \Sigma Q \text{ SALIDA} - \Sigma \text{ PERDIDAS DE CALOR} \quad \text{Ec: 3.2.1-2}$$

Datos del combustible (gas-oil)

Alimentación: $6 \text{ gal/h} = 0,02955 \text{ Kg/s}$

Cp. diesel: $10200 \text{ Kcal/ Kg K} = 42687 \text{ J/Kg K}$

Q entra = **945,94 J/s**

3.3.2.1 Datos de la pasta

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

T1 (salida) = 363 K

T2 (entra) = 693 K

Flujo másico = 0,61667 Kg/s

Cp = 0,22 J/Kg K

$$Q_s = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q_s = 0,61667 \times 0,22 \times (363 - 693)$$

$$Q_s = -44,77 \text{ J/s}$$

$$\Sigma \text{ PERDIDAS DE CALOR.} = \Sigma Q \text{ SALIDA} - \Sigma Q \text{ ENTRADA}$$

$$\Sigma \text{ PERDIDAS DE CALOR} = -44,77 \text{ J/s} - 945,94 \text{ J/s}$$

$$\Sigma \text{ PERDIDAS DE CALOR} = -990,71 \text{ J/s}$$

3.3.2.2 Caracterización del Atomizador por el Fabricante

EQUIPO	VARIABLE	UNIDAD	ATM 15
Generador de calor	Potencia Térmica	Kcal/h	1500000
	Electroventilador quemador	Kw	4
	Electroventilador impelente	Kw	-
	Temperatura aire entrada a la torre	C	400 – 600
Bomba Barbotina	Caudal máximo	L/h	9000
	Presión máxima	Kg/cm ²	30
	Potencia Instalada	Kw	15
	Número de pistones		2

Torre de Atomizado	Número máximo de rociadores		1500000
	Consumo térmico específico	Kcal/L _{H2O}	800 – 500
	Agua evaporada (máxima)	L/h	1760
	Temperatura del polvo atomizado	C	30 – 50
	Humedad polvo atomizado	%	1 – 8,5

Aire saturado(con dispositivos de disminución de polvo)	Electroventilador principal caudal	m ³ /h	17000
	Electroventilador principal potencia	Kw	30
	Electroventilador principal presión	mm H ₂ O	300
	Ciclones separados		2
	Temperatura aire a la salida	C	70 – 90

Fuente: Catalogo de Especificaciones de Atomizadores SACMI.

3.3.3 BALANCE DE MASA DEL ATOMIZADOR

Datos De Producción	Unidades		Unidades en Kg / h
Molinos se alimenta	3 molinadas x kg día	15,500	-
Atomizador produce polvo atomizado	Kg / 8h	23040	2880
Volumen de aire	M ³ /h	18000	21474
Pasta para prensa se alimenta	Kg / 8h	20440	2555
Alimentación a la línea de esmaltación	Kg / 8h	17780	4554

Fuente: Registros Diarios de producción del Atomizador.

3.3.3.1 Balance De Masa Para Producción Ideal Requerida

Se realiza el balance de masa para producción ideal requerida.

BALANCE DE MASA DEL ATOMIZADOR.

$$B = 14850 \text{ Kg/h}$$

$$P = \text{Kg/h}$$

$$A_1 = 21474 \text{ Kg/h}$$

$$W = 1760 \text{ Kg/h}$$

$$R = 250 \text{ Kg/h}$$

$$A_1 = 21474 \text{ Kg/h}$$

$$A_2 = 21474 \text{ Kg/h}$$

Donde:

B = Alimentación de pasta al atomizador Kg/h

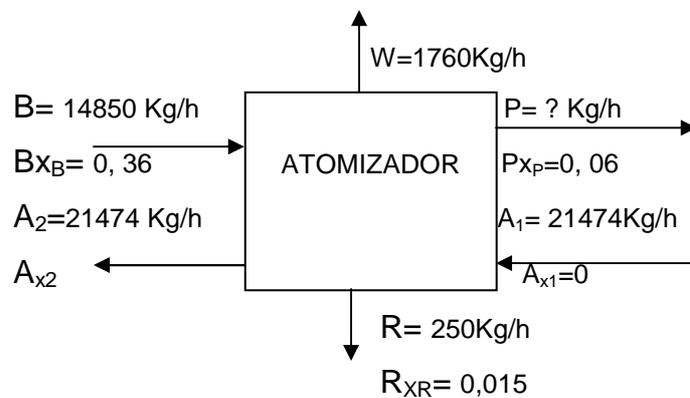
P = Producción de polvo seco Kg/h

A₁ = Caudal de Aire de entrada Kg/h

A₂ = Caudal de Aire de salida Kg/h

W = Agua que se elimina

R = Polvo restante.



Se plantea la ecuación general ec: 3.2.3-1 para el proceso.

$$A_1 + B = P + A_2 + W + R \quad \text{ec: 3.2.3-1}$$

Utilizando las fracciones molares se tiene la siguiente ecuación. ec: 3.2.3-2

$$A_{1XA1} + B_{XB} = P_{XP} + A_{2XA2} + W_{XW} + R_{XR} \quad \text{ec: 3.2.3-2}$$

Reemplazando los valores en la ecuación ec: 3.2.3-2 se tiene que:

$$14850 \times 0,36 + 21474 \times 0 = P \times 0,06 + A_{2XA2} + 1760 + 250 \times 0,015$$

Por lo que nos quedan dos incógnitas, no se conoce la cantidad de aire que se elimina y la cantidad que se produce de polvo Atomizado, quedando la ecuación de la manera siguiente:

$$5346 = P(0,06) + A_{2XA2} + 1760 + 3,75 \quad \text{ec: 3.2.3-3}$$

Despejando de la ecuación ec: 3.2.3-3, A_{2XA2} que es la cantidad de aire que se elimina nos queda:

$$A_{2XA2} = 1639,44 - 172,8 - H_{XH} + 2,805 \quad \text{ec: 3.2.3-4}$$

Para calcular las incógnitas establecidas nos apoyaremos en un balance de masa y energía.

3.3.3.2 Balance de Energía

Ecuaciones

$$A_1 + B = P + A_2 + H + R \quad \text{ec: 3.2.3-1}$$

$$A_{hc1} + B_{hS} = P_{HP} + A_{2hA2} + H_{hH} + R_{hR} \quad \text{ec: 3.2.3-5}$$

Se procede a calcular las entalpías de cada componente para encontrar la cantidad de agua que se elimina.

$$H = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad \text{ec: 3.2.3-6}$$

$$B_{hB} = 14850 \cdot 0,22 \cdot (450 - 35)$$

$$B_{hB} = 14850 \cdot 0,22 \cdot (698K) = 2280366J$$

$$A_{hc1} = 702,52 \text{ valor de tablas}$$

$$P_{HP=} = m \cdot 0,22 \cdot (35 - 450) =$$

$$P_{HP=} = m \cdot 0,22 \cdot (-688K) = -151,36J$$

$$A_{2hA2} = 238 \text{ valor encontrado en tablas.}$$

$$R_{hR} = 250 \cdot 0,22 \cdot (35 - 450) =$$

$$R_{hR} = 250 \cdot 0,22 \cdot (-688K) = -37840J$$

$C_p_{H_2O} = 1,86$ valor de tablas.

$$H_{2O} = H = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$H_{2O} = H = 1760 \cdot 1,86 \cdot (200 - 450)$$

$$H_{2O} = H = 1760 \cdot 1,86 \cdot (-250C)$$

$$H_{2O} = H = 1760 \cdot 1,86 \cdot (-523K) = -1714092,8J$$

Una vez encontrados los valores de entalpía de cada componente se reemplaza en la ecuación ec: 3.2.3-5.

$$A_{hc1} + B_{hB} = P_{HP} + A_{2hA2} + H_{hH} + R_{hR}$$

$$702,52 + 2280366 = (P_m^* - 151,36) - 238 - (-37840) + 1711209,8$$

Despejando P_{HP} se tiene:

$$(P_m^* - 151,36) = 1712092,8 + 238 + 37840 - 2280366 - 702,52$$

$$P = \frac{564024,68}{151,36} = 3726,38 \text{ Kg/h}$$

Ahora se calcula la cantidad de aire que sale

$$A_1 + B = P + A_2 + H_2O + R$$

$$A_2 = A_1 + B - P - H_2O - R \quad \text{ec: 3.2.3-7}$$

$$A_2 = 21474 + 14850 - 3726,28 - 1760 - 250 = 30587,62 \text{ Kg/h}$$

$$A_2 = 21643,59 \text{ Kg/h}$$

3.3.3.3 Balance de Masa para Producción en Condiciones Iniciales de Operación

Balance de masa del atomizador en las condiciones iniciales de operación.

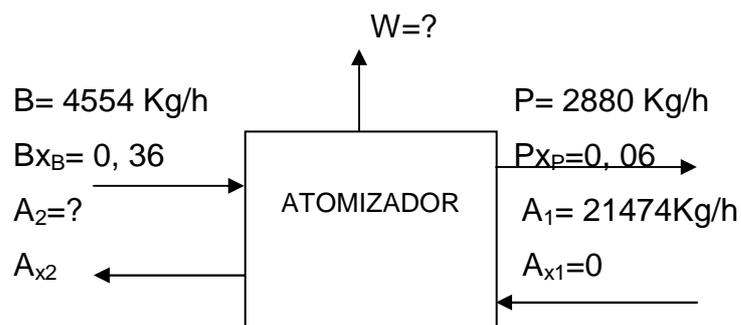
$$B = 2222,57 \text{ Kg/h}$$

$$P = 1440 \text{ Kg/h}$$

$$A_1 = 21474 \text{ Kg/h}$$

	unidades		Unidades en Kg / h
Atomizador produce polvo atomizado	Kg / 8h	11520	1440
Volumen de aire	M ³ /h	18000	21474
Pasta para prensa se alimenta	Kg / 8h	20440	2555
Alimentación a la línea de esmaltación	Kg / 8h	17780	2222,5

Fuente: Registros Diarios de producción del Atomizador.



Se plantea la ecuación ec: 3.2.3-1 y procedemos a realizar cálculos.

$$A_1 + B = P + A_2 + H_2O + R \quad \text{ec: 3.2.3-1}$$

$$A_{1XA1} + B_{XB} = P_{XP} + A_{2XA2} + H_{XH} + R_{XR} \quad \text{ec: 3.2.3-2}$$

$$2222,57 \times 0,36 + 21474 \times 0 = 1440 \times 0,06 + A_{2XA2} + H_{XH} + 4,8 \times 1,5$$

$$800,1252 = 86,4 + A_{2XA2} + H_{XH} + 7,2$$

$$A_{2XA2} =$$

3.3.3.4 Balance de Energía

Ecuaciones

$$A_1 + B = P + A_2 + H + R \quad \text{ec: 3.2.3-1}$$

$$A_{hc1} + B_{hB} = P_{HP} + A_{2hA2} + H_{hH} + R_{hR} \quad \text{ec: 3.2.3-5}$$

Se procede a calcular las entalpías de cada componente para encontrar la cantidad de agua que se elimina.

$$H = m \cdot Cp \cdot \Delta T \quad \text{ec: 3.2.3-6}$$

$$B_{hB} = 2222,57 \cdot 0,22 \cdot (420 - 18) =$$

$$B_{hB} = 2222,57 \cdot 0,22 \cdot (402C) =$$

$$B_{hB} = 2222,57 \cdot 0,22 \cdot (675K) = 330051,65 \text{ J}$$

$$A_{hc1} = 702,52 \text{ valor de tablas}$$

$$P_{HP=} = 1440 \cdot 0,22 \cdot (100 - 420) =$$

$$P_{HP=} = 1440 \cdot 0,22 \cdot (-320C) =$$

$$P_{HP=} = 1440 \cdot 0,22 \cdot (-593K) = -187862,4J$$

$$A_{2hA2} = 472,24 \text{ valor de tablas.}$$

$$R_{hR} = 4,8 \cdot 0,22 \cdot (100 - 420) =$$

$$R_{hR} = 4,8 \cdot 0,22 \cdot (-320C) =$$

$$R_{hR} = 4,8 \cdot 0,22 \cdot (-593K) = -626,21J$$

$$C_p_{H_2O} = 1,86 \text{ J/Kg K}$$

$$H_2O = H = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$H_2O = H = 1,86 \cdot (200 - 420)$$

$$H_2O = H = 1,86 \cdot (-220 \text{ C})$$

$$H_2O = H = 1,86 \cdot (-493 \text{ K}) = -916,98$$

$$A_{nc1} + B_{hB} = P_{HP} + A_{2hA2} + H_{hH} + R_{hR}$$

$$702,52 + 330051,65 = -187862,4 - 472,24 - 626,21 + H(-916,98)$$

$$H_{hH} = A_{nc1} + B_{hB} - P_{HP} - A_{2hA2} - R_{hR}$$

$$H_{hH} = 702,52 + 330051,65 - (-187862,4) - 472,24 - (-626,21)$$

$$H_{hH} = 702,52 + 330051,65 + 187862,4 - 472,24 + 626,21$$

$$H(916,98) = 518770,54$$

$$H = \frac{518770,54}{916,98} = 565,738$$

$$H_2O = 565,74 \text{ Kg/h}$$

Ahora se calcula la cantidad de aire que sale

$$A_{nc1} = 702,52 \text{ J}$$

$$B_{hB} = 330051,65 \text{ J}$$

$$P_{HP} = -187862,4 \text{ J}$$

$$A_{2hA2} = 472,24 \text{ J}$$

$$A_1 + B = P + A_2 + H_2O + R \quad \text{ec: 3.2.3-1}$$

$$A_2 = A_1 + B - P - H_2O - R \quad \text{ec: 3.2.3-7}$$

$$A_2 = 21474 + 2222,57 - 1440 - 565,74 - 187,5 = 21503,33 \text{ Kg/h}$$

* Los cálculos para las condiciones de ajuste de operación se realizan según el modelo de cálculo.

3.4. RESULTADOS

Se realizó los cálculos en la bomba PBB-30, para determinar las condiciones de operación inicial en cuanto a lo que se refiera al volumen, el caudal, potencia y presión, en las diferentes cámaras que posee la bomba, los resultados obtenidos se expresan en las tablas 3.4-1 y tabla 3.4-2

Tabla 3.4-1

Valores De las Variables de Operación Inicial y Ajuste de Optimización de la Cámara hidráulica de la Bomba de Barbotina PBB-30

Parámetro	Condición de Operación Inicial	Condición de Operación Ajustada
Ø (cm)	8,5	8,5
C (cm)	25	37,5
V (L)	1,42	2,13
Qn (L/min)	85,12	127,67
Qr (L/min)	113,43	170,23
Presión (Bar)	17,5	34,23
Potencia (Hp)	5,91	17,74
Potencia Teórica (Hp)	-	17,36

Fuente: Johnny Barreno.

Tabla 3.4-2

Valores De las Variables de Operación Inicial y Ajuste de Optimización de la Cámara Barbotina de la Bomba de Barbotina PBB-30

Parámetros	Condición de Operación Inicial	Condición de Operación Ajustada
Ø (cm)	12,5	12,5

C (cm)	25	37,5
V (L)	2,83	4,24
Qn (L/min)	169,65	254,56
Qr (L/min)	226,19	339,20
Presión (Bar)	9,00	17,18
Potencia (Hp)	6,06	18,18
Potencia Teórica (Hp)	-	17,36

Fuente: Johnny Barreno.

Una vez que se determinó las variables de proceso sujetas a modificación para poder realizar optimización se establecieron los siguientes valores que se indican en la tabla 3.4-3.

Tabla 3.4-3

Valores de las Variables de Operación Inicial y de Optimización del Atomizador

Equipos	Variables	Valores de Operación Inicial	Valores de Operación Optimización
Bomba de Barbotina	Presión Bar	9	18
Bomba de Barbotina	Caudal Kg/h	2222,57	3426,45
Torre de Atomizador	Humedad %	6,8	6,7
Generador de calor	Temperatura de aire de entrada C	380 – 400	420-450
Torre de Atomizador	Temperatura de aire de salida C	90	100
Torre de Atomizador	Caudal de Salida Kg/h	1440	2220

Fuente: Johnny Barreno.

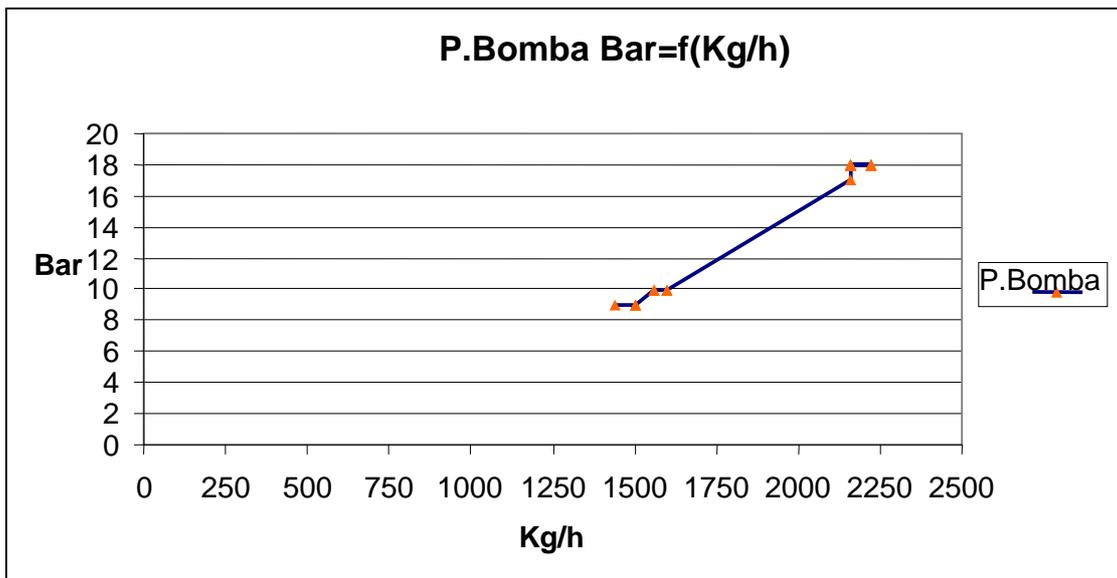


Gráfico 3.4-1 Incremento de la presión a medida que se aumenta producción de polvo seco

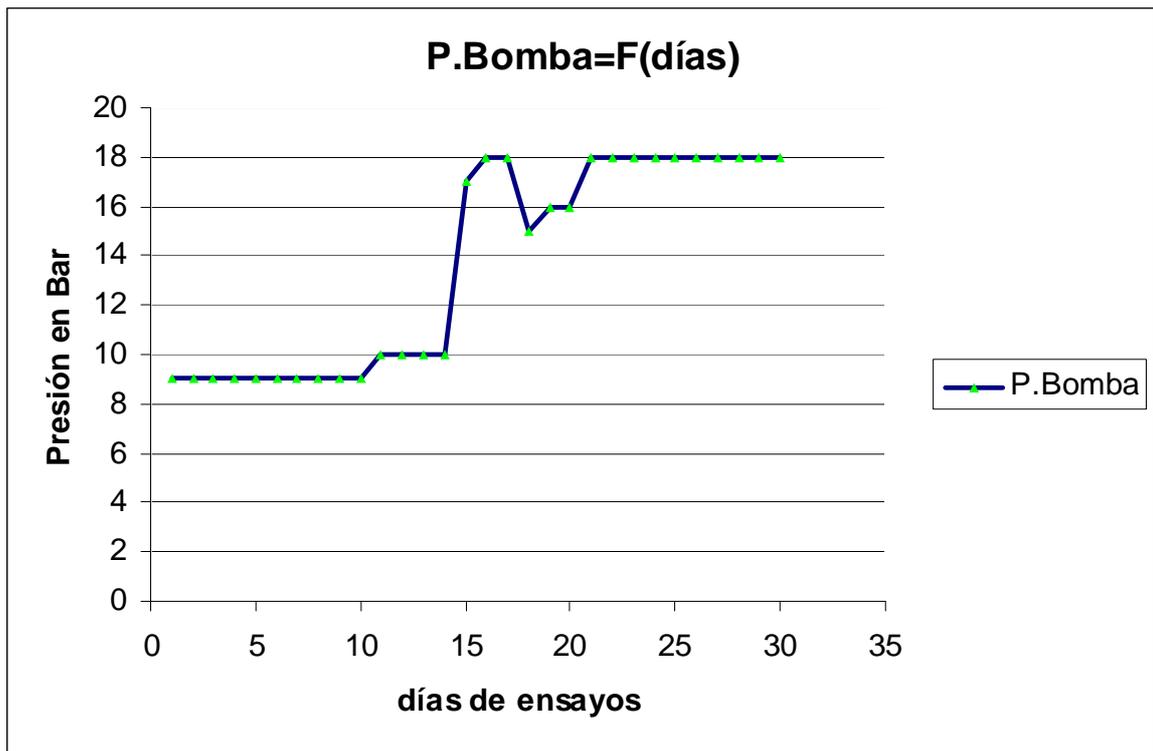


Gráfico 3.4-2 Incremento de la presión a medida que se realiza los ensayos

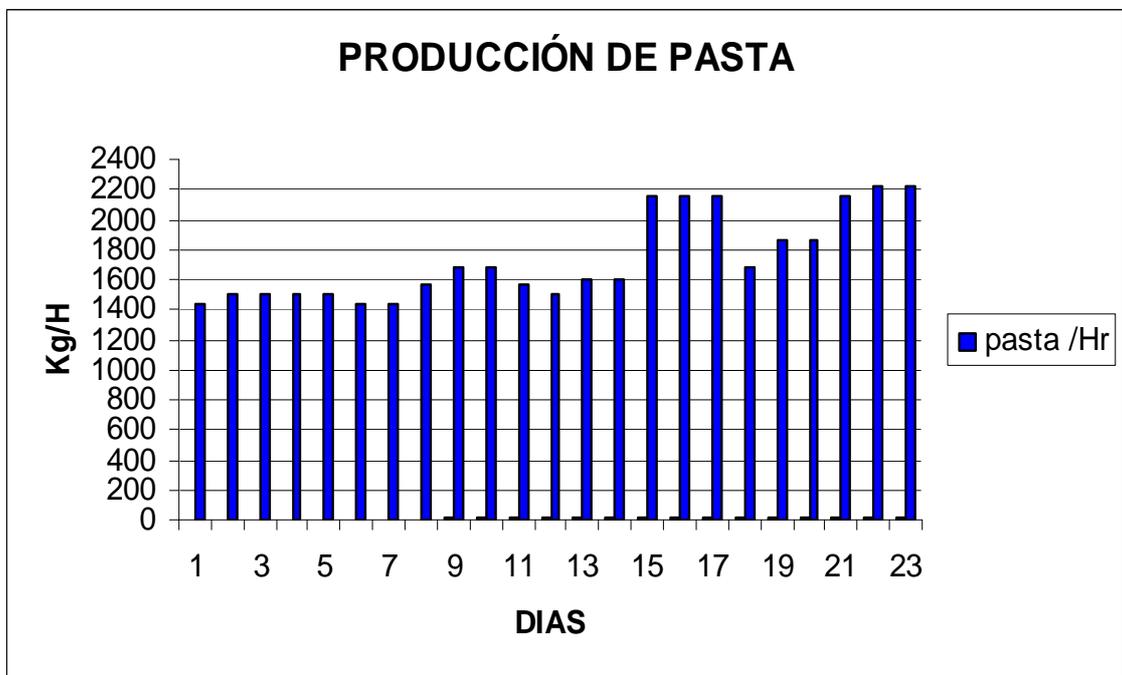


Gráfico 3.4-3 Producción de pasta

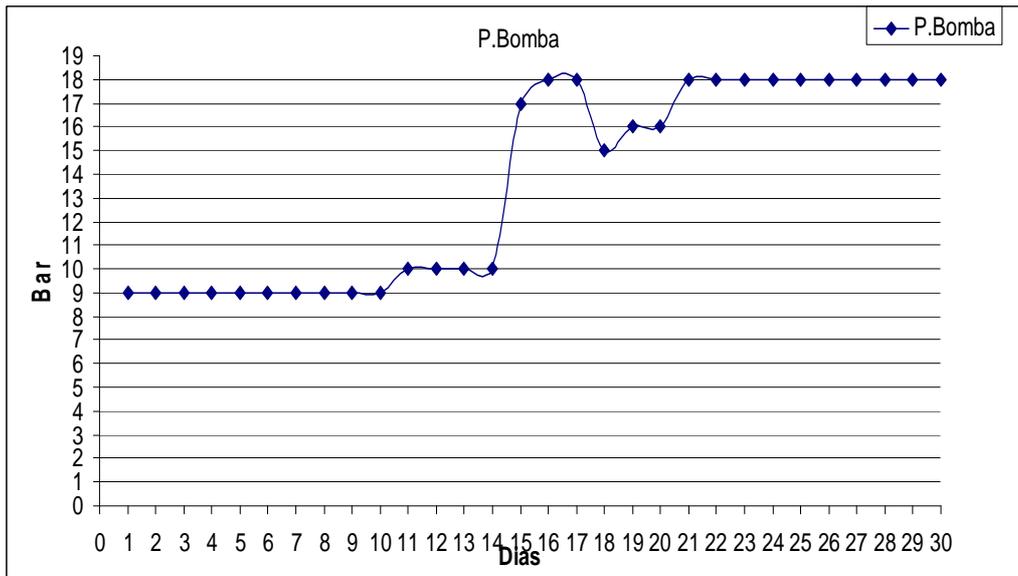


Gráfico 3.4-4 Variación de presión en bomba alimentadora de pasta

Se realizó el cálculo de que cantidad de combustible se necesitaría para subir la temperatura de 400C a 450C, para poder incrementar la producción de pasta atomizada, los resultados se los indica en la tabla 3.4-4.

Tabla 3.4-4

Valores De Consumo De Combustible

Parámetro	Unidad	Valor Inicial	Valor Optimización
Producción	Kg/h	1440	2220
Temperatura	C	400	450
Consumo diesel	Galones/h	5,83	9,70

Fuente: Johnny Barreno.

3.5. ANÁLISIS DEL BALANCE DE MASA DEL ATOMIZADOR

La barbotina cuando se descarga del molino tiene un porcentaje de sólidos de un 60 a 62% y de 38 a 40% de agua, con una densidad entre 1,60 a 1,65 Kg/L, la viscosidad con 8 a 13 s, el residuo entre 4 a 5%, estas condiciones nos permite pulverizar la barbotina y de esta forma obtener una gran superficie externa de contacto con el aire caliente y conseguir así una rápida evaporación.

Estas condiciones de la barbotina pueden ser afectadas dependiendo de las condiciones de humedad que presenten las materias primas las que deben tener un 15 a 25%, cuyo porcentaje se ve afectado en épocas de invierno y también por falla operacional en la que se adiciona cantidades excesivas de agua a la carga del molino las misma que son corregidas con posteriores alimentaciones al molino.

Para nuestro estudio se realizó un análisis físico de la babotina y se determinó que los valores promedios de densidad es de 1,63 a 1,65 Kg/L, la viscosidad de 9 a 12 s, el residuo de 3,76 a 5,0%, los sólidos 60,67 a 62,77%, en las condiciones iniciales de operación, valores que son similares a los que se determinó cuando se ajustaron las variables de optimización conforme se indica en la tabla 3.5-1 y tabla 3.5-2

TABLA 3.5-1

ANALISIS DE LA BARBOTINA EN CONDICIONES INICIALES DE OPERACIÓN

		PLANTA DE AZULEJOS		TURNOS I Y II
FECHAS	DENSIDAD 1,63-1,68 g/ml	VISCOSIDAD 8-13 S	RESIDUO 4-5 %	SÓLIDOS 60-64 %
02/04/2007	1,64	11	4,84	60,67
08/04/2007	1,63	10	4,84	62,60
12/04/2007	1,64	12	3,76	62,77
13/04/2007	1,65	12	4,73	64,45
14/04/2007	1,64	9	5,00	62,14
15/04/2007	1,63	9	5,00	62,00
16/04/2007	1,64	10	4,65	61,49
20/04/2007	1,66	12	5,00	62,50
28/04/2007	1,63	10	4,60	62,00
30/04/2007	1,63	11	4,40	62,00

Fuente: Johnny Barreno.

TABLA 3.5-2

ANALISIS DE LA BARBOTINA EN CONDICIONES DE OPTIMIZACION DE OPERACIÓN

		PLANTA DE AZULEJOS		
FECHAS	DENSIDAD 1,63-1,68 g/ml	VISCOSIDAD 8-13 S	RESIDUO 4-5 %	SÓLIDOS 60-64 %
02/05/2007	1,64	12	4,96	60,00
07/05/2007	1,63	11	4,70	60,00
11/05/2007	1,63	11	5,00	60,70
13/05/2007	1,64	10	4,80	62,00
14/05/2007	1,63	11	5,00	61,30
17/05/2007	1,64	11	4,60	62,86
19/05/2007	1,61	9	5,20	59,19
22/05/2007	1,63	10	5,74	60,40
26/05/2007	1,62	9	5,00	59,60
30/05/2007	1,61	10	4,04	59,75
20/06/2007	1,63	10	5,78	60,70
21/06/2007	1,58	9	4,47	57,40
22/06/2007	1,57	8	4,79	56,89
23/06/2007	1,61	10	4,99	59,50
25/06/2007	1,63	10	5,21	60,16
29/06/2007	1,63	12	4,98	61,90
30/06/2007	1,63	10	5,74	60,40

Fuente: Johnny Barreno.

La atomización es una operación de secado que se realiza en el atomizador la misma que es bastante sencilla, basta pulverizar el material y tratarlo con aire caliente para tener una humedad entre 6,5 a 7,5%.

El caudal suministrado al atomizador expresado en Kg/h se determina en el balance de masa. Para el caso del atomizador Dorst, se procesa pasta monoporosa, teniéndose una producción de polvo atomizado de 1440Kg/h, si la alimentación de barbotina es de 2222,57Kg/h, valor estipulado en las condiciones iniciales de operación, se ha comprobado que dicha producción se puede incrementar si la alimentación de barbotina es de 3426,45Kg/h llegando a producir hasta 2220Kg/h.

Para obtener este incremento en la producción se debe realizar cambios a las variables de proceso como son la presión de la bomba de barbotina que inicialmente se encontraba trabajando con 9 bar, además la temperatura del aire de entrada es de 380 C a 400 C, en estas condiciones se obtenía 1440 Kg/h de polvo atomizado, los cambios requeridos deben ser para la presión de la bomba de barbotina de 18 bar y la temperatura del aire de entrada debe regularse de 420C a 450C, para aumentar la cantidad de polvo atomizado a 2220 Kg/h, porque se aumenta el caudal de alimentación de barbotina es de 2222,57Kg/h a 3426,45Kg/h

Provocando un incremento de consumo de combustible de 3,87 galones/h, el cual inicialmente era de 5,83 galones/h.

Trabajando en estas condiciones se asegura que la humedad del polvo atomizado que se encontraba en 6,8% se mantenga en 6,7%, parámetro que exige control de calidad, para asegurar un buen prensado y no tener defectos de calidad en producto terminado, la humedad que debe tener es de 6,5% a 7,5%.

Este incremento de producción de polvo atomizado genera una disminución en los costos de producción por que se evita el pago por el transporte de este material desde la planta de pisos a la de azulejos, que tiene un costo aproximado de \$60 por día, además se elimina los tiempos de parada de las líneas de esmaltación lo que provoca pérdidas por el alrededor de \$1300, ya que no se alcanza la necesidad diaria de fabricar 2500 m² por día de azulejos, valor que representa los metros de producción que no se logró obtener conforme se indica en la tabla 3.5-3.

Tabla 3.5-3.

Detalles del Costo de Producción en la Fabricación de Azulejos.

Parámetros	Valor Inicial	Valor Optimización
Producción de Azulejos por m ²	2332	3595
Producción de polvo atomizado Kg/h	34560	53280
Costo Combustible \$/día	144,11	239,78
Costo Producto \$/día	18656	28760

Fuente: Johnny Barreno.

CAPITULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Del presente trabajo, se puede anotar las siguientes conclusiones:

1.- Se determinó y evaluó las variables del proceso en sus condiciones iniciales obteniéndose que el caudal de la alimentación de la bomba de barbotina es de 1440 Kg/h, la presión es de 9 Bar. la temperatura de la torre de desecamiento es de 380 C a 400 C, las mismas que deben ser ajustadas para incrementar la producción.

2.- Para poder incrementar la producción de pasta pulverizada de 1440Kg/h a 2220Kg/h, se necesita aumentar la carrera del pistón de la bomba alimentadora de barbotina PBB-30, esta acción provoca que la presión de dicha bomba se eleve de 9 Bar. a 18 Bar. También acompañada del aumento ligero de la temperatura en el aire de secado.

3.- Se tiene que indicar que la temperatura del aire de entrada del atomizador es de 380 C a 400 C, en las condiciones iniciales de operación y para lograr optimizar el proceso de atomización se necesitan realizar cambios sobre la temperatura del aire de entrada regulándose de 400C a 450C, lo que implica un aumento en la cantidad de combustible que se alimenta al quemador, este incremento es de 5,83 a 9,70 galones/h

4.- El incremento de la producción del polvo atomizado a consecuencia de la optimización reduce los costos de fabricación, por lo que se ajustan las variables del proceso par tener este efecto.

RECOMENDACIONES

Se debe tomar en consideración las siguientes recomendaciones:

*La atomización óptima debe satisfacer las siguientes exigencias (o condiciones)

1- Recordar que por motivos de seguridad y duración del atomizador, la temperatura máxima no debe superar los 650C., mientras que por motivos de producción y manejo es bueno que no descienda por debajo de 450C.

2- Se podría incrementar más la producción si se cambia el electroventilador por otro con mayor potencia, realizar estudios relacionados con transferencia de calor en el atomizador.

3.- Cuando la variación es muy grande, es preferible actuar sobre el mando del generador de calor, haciendo que la temperatura de la cámara suba o baje según que los polvos salgan húmedos o secos.

4.- Si se desea modificar la granulometría de los polvos del atomizador, es posible intervenir o actuar sobre varios parámetros a la vez para tener mayor campo de regulación.

5.- Se debe actuar, sobre la viscosidad y la presión de la bomba, o bien sobre el diámetro del agujero de la boquilla y el espesor de la espiral, etc. Para corregir el secado de la barbotina por parte del atomizador.

BIBLIOGRAFIA.

AMOROS. Defectos de Fabricación de Pavimentos y Revestimientos
Cerámicos. Valencia-España: Aice. 1989. pp. 145-170

ASOCIACION DE TECNICOS CERAMICOS. Tecnología de la Fabricación
de Azulejos. Zaragoza-España: IMPIVA. 1989. p.15

BLACK. Z., HORTLEY. G. Termodinámica. México D.F: Continental,1991.
pp. 99

COMPENDIO DE NORMAS DE SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL.
Petroecuador. (Fotocopias).

FMS FORNO MONOSTRATO, SACMI, Italia. (Documento)

Mc CABE; SMITH HARRIOT. Operaciones Unitarias de Ingeniería Química:
Mc Graw Hill, 2001. pp. 220

NAVARRA, J. La Cerámica. México: Continental. 1998.

PERRY. H. ROBERT,. GRENN W. DON. Manual del Ingeniero Químico.
Madrid-España: McGraw-Hill.Interamericana. 2001. pp. 1-1-1-20

TOCTAQUIZA, O. Control de Calidad y Preparación en Molinos de Esmalte
de la C. A. Ecuatoriana de Cerámica. (Tesis).

VILORIA, J. Neumática, Hidráulica y Electricidad Aplicada. Madrid:
Paraninfo, 2000. pp. 78

VILLACRES, M. Transferencia de Calor: Riobamba-Ecuador. 2005.
(Documento)

INTERNET.

ARCILLA

<http://www.ecosur.org/spa/publicaciones/tejasenal.htm#1>

2008 04 15

ARCILLA

<http://www.keratec.com>

2008 05 04

ATOMIZACION

<http://www.sacmi.com>

2007 08 20

BALANCES

<http://www.monografias.com>

2008 01 20

CERAMICA

<http://www.ceramicaycristal.com>

2007 09 15

MATERIAS PRIMA

<http://www.decorceramica.com>

2007 10 23

ANEXOS

ANEXO I

TABLA DE CONTROL DEL PROCESO DE ATOMIZACION



MONOQUEMS DORIT

ATOMIZACION

PRIMER TURNO

PLANTA AZULEJOS

FECHA 25 MARZO 07.		TIPO DE PASTA HQ 2007-2		OPERADOR MILTON ERASO			
SILO N°	HORA	% HUMEDAD	P. BOMBA PPB-130	TEMPERATURAS			TOTAL PASTA/HR
				TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	
1	6:30	6.5%	0.9	360	100		1500
1	7:30	6.5%	0.9	360	100		1500
1	8:30	6.7%	0.8	360	100		1500
1	9:30	6.8%	0.9	360	100		1500
1	10:30	8.6%	0.9	370	100		1500
1	11:30	7.8%	0.9	370	100		1500
1	12:30	6.8%	0.9	370	100		1500
1	13:30	6.7%	0.9	370	100		1500
							12.000
TOTAL PASTA PROCESADA EN TURNO			12.000 Kg	TOTAL DESPERDICIOS TURNO			550 Kg

SEGUNDO TURNO

FECHA 25 MARZO 07.		TIPO DE PASTA HQ 2007-2		OPERADOR JAVIER PANCHI			
SILO N°	HORA	% HUMEDAD	P. BOMBA PPB-130	TEMPERATURAS			TOTAL PASTA/HR
				TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	
1	14:30	7.2%	0.9	370	100		1560
1	15:30	6.9%	0.9	370	100		1560
1	16:30	6.9%	0.9	370	100		1560
1	17:30	7.4%	0.9	370	100		1560
1	18:30	6.9%	0.9	370	100		1560
1	19:30	6.9%	0.9	370	100		1560
1	20:30	6.9%	0.9	370	100		1560
1	21:30	6.9%	0.9	370	100		1560
							12.120
TOTAL PASTA PROCESADA EN TURNO			12.120 Kg	TOTAL DESPERDICIOS TURNO			550 Kg

TERCER TURNO

FECHA 25 MARZO 07.		TIPO DE PASTA HQ 2007-2		OPERADOR MILTON ERASO			
SILO N°	HORA	% HUMEDAD	P. BOMBA PPB-130	TEMPERATURAS			TOTAL PASTA/HR
				TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	
1	22:30	6.5%	0.9	370	100		1440
1	23:30	6.5%	0.9	370	100		1440
1	00:30	6.7%	0.9	370	100		1440
1	01:30	6.9%	0.9	370	100		1440
1	02:30	6.8%	0.9	370	100		1440
1	03:30	6.9%	0.9	370	100		1440
1	04:30	6.8%	0.9	370	100		1440
1	05:30	6.8%	0.9	370	100		1440
1	06:30						
							10.080
TOTAL PASTA PROCESADA EN TURNO			10.080 Kg	TOTAL DESPERDICIOS TURNO			550 Kg

CANTIDAD PASTA LIQUIDA CISTERNAS

TURNO	CISTERNA 1	CISTERNA 2	CISTERNA 3	CISTERNA 4	CISTERNA 5	CISTERNA 6	CISTERNA 7
1	Llena						
2	Llena						
3	Llena						

CANTIDAD PASTA SECA EN SILOS

TURNO	SILO 1	SILO 2	SILO 3	SILO 4	SILO 5	SILO 6	SILO 7	SILO 1 AZULEJOS	SILO 2 AZULEJOS	SILO 3 AZULEJOS
1	5 1/2									
2	5 1/2									
3	Llena									

CONTROL DE BOQUILLAS EN ATOMIZADOR

BOQUILLAS EXISTENTES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
BOQUILLAS CAMBIADAS																															

OBSERVACIONES 05:00 Se Suspende Atomización (Silo Llena)

ANEXO II
TABLA DE CONTROL DEL PROCESO DE ATOMIZACION



2015 T MONOQUEMA
ATOMIZACION

PRIMER TURNO

PLANTA *SZULETO*.

FECHA		TIPO DE PASTA		OPERADOR		TEMPERATURAS			TOTAL
30 ABR 07.		HQ 2007-2		GONZALO GUAMAN		TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	PASTA/HR
SILO N°	HORA	% HUMEDAD		P. BOMBA PPB-130	TEMPERATURAS			TOTAL	
					TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	PASTA/HR	
1	6:30-7:00	6.2%	6.2%	18	400	85		2220	
1	7:30-8:00	6.2%	6.4%	18	400	85		2220	
1	8:30-9:00	6.4%	6.5%	18	400	85		2220	
1	9:30-10:00	6.4%	6.5%	18	400	85		2220	
1	10:30-11:00	6.5%	6.4%	18	400	85		2220	
1	11:30-12:00	6.5%	6.6%	18	400	85		2220	
1	12:30-13:00	6.6%	6.7%	18	400	85		2220	
1	13:30-14:00	6.7%		18	400	85		2220	
								17.760	
TOTAL PASTA PROCESADA EN TURNO				17.760 Kg	TOTAL DESPERDICIOS TURNO				

SEGUNDO TURNO

FECHA		TIPO DE PASTA		OPERADOR		TEMPERATURAS			TOTAL
30 ABR 07.		HQ 2007-2		MILTON ERZO.		TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	PASTA/HR
SILO N°	HORA	% HUMEDAD		P. BOMBA PPB-130	TEMPERATURAS			TOTAL	
					TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	PASTA/HR	
1	14:30-15:00	6.5%	6.6%	18	410	90		2220	
1	15:30-16:00	6.5%	6.7%	18	410	100		2220	
1	16:30-17:00	6.3%	6.0%	18	410	100		2220	
1	17:30-18:00	6.3%	6.8%	18	410	100		2220	
1	18:30-19:00	6.7%	6.6%	18	410	100		2220	
1	19:30-20:00	6.7%	6.8%	18	410	100		2220	
1	20:30-21:00	6.8%	6.7%	18	410	100		2220	
1	21:30-22:00	6.8%		18	410	100		2220	
								17.760	
TOTAL PASTA PROCESADA EN TURNO				17.760 Kg	TOTAL DESPERDICIOS TURNO				

TERCER TURNO

FECHA		TIPO DE PASTA		OPERADOR		TEMPERATURAS			TOTAL
30 ABR 07.		HQ 2007-2		GONZALO GUAMAN		TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	PASTA/HR
SILO N°	HORA	% HUMEDAD		P. BOMBA PPB-130	TEMPERATURAS			TOTAL	
					TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	PASTA/HR	
1	22:30-23:00	6.7%	6.8%	18	410	90		2220	
1	23:30-00:00	6.8%	6.8%	18	410	90		2220	
1	00:30-01:00	6.7%	6.7%	18	410	90		2220	
1	01:30-02:00	6.8%	6.8%	18	410	90		2220	
1	02:30-03:00	6.8%	6.8%	18	410	90		2220	
1	03:30-04:00	6.7%	6.7%	18	410	90		2220	
1	04:30-05:00	6.6%	6.6%	18	410	90		2220	
1	05:30-06:00	6.6%	6.7%	18	410	90		2220	
1	06:00								
								17.760	
TOTAL PASTA PROCESADA EN TURNO				17.760 Kg	TOTAL DESPERDICIOS TURNO				850 Kg.

CANTIDAD PASTA LIQUIDA CISTERNAS

TURNO	CISTERNA 1	CISTERNA 2	CISTERNA 3	CISTERNA 4	CISTERNA 5	CISTERNA 6	CISTERNA 7
1	1/2	2/3					
2	2/3						
3	2/3						

CANTIDAD PASTA SECA EN SILOS

TURNO	SILO 1	SILO 2	SILO 3	SILO 4	SILO 5	SILO 6	SILO 7	SILO 1 AZULEJOS	SILO 2 AZULEJOS	SILO 3 AZULEJOS
1	1/2									
2	1/2									
3	1/2									

CONTROL DE BOQUILLAS EN ATOMIZADOR

BOQUILLAS EXISTENTES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
BOQUILLAS CAMBIADAS																															

OBSERVACIONES _____

**ANEXO III
ESPECIFICACIONES DE FABRICACION
DEL ATOMIZADOR**

SACMI

UFFICIO TECNICO
SERVIZIO ASSISTENZA CLIENTI

STAMPATO

1 2 4 S 2

**ATOMIZZATORI ATM
CARATTERISTICHE TECNICHE GENERALI**

ESTABLICIMIENTO SIN TALADOR
IMPIANTO SENZA ABBATTITORE

		A T M							
		05	4	8	15	25	35	40	51
Generatore di calore									
- potenza termica	Kcal/h	200.000	400.000	600.000	1.500.000	2.500.000	3.000.000	4.000.000	5.000.000
- elettroventilatore bruciatore	HP	2	3	4	5,5	7,5	10	10	15
- temperatura aria entrata torre	°C	400 ± 500	400 ± 600	400 ± 600	400 ± 600	400 ± 600	400 ± 600	400 ± 600	400 ± 600
Barbottina									
- pompa: portata massima	lt/h	4.500	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	18.000	18.000
- pompa: pressione massima	Atm.	15	30	30	30	30	30	30	30
- pompa: potenza installata	HP	10	20	20	20	20	20	40	40
- pompa: numero dei pistoni		1	2	2	2	2	2	4	4
- anello toroidale: diametro	mm.	290	300	500	800	1.200	1.600	1.600	1.800
- ugelli: numero massimo		5	5	9	15	20	28	28	32
Atomizzazione									
- torre essiccamento: rivestimento	mm.	100	120	120	120	120	120	120	150
- consumo termico specifico	Kcal/lt:H ₂ O	800 ± 850	800 ± 850	800 ± 850	800 ± 850	800 ± 850	800 ± 850	800 ± 850	800 ± 850
- acqua evaporata (massimo)	lt/h	240	485	725	1.760	3.000	3.550	4.700	6.000
- depressione	mm./H ₂ O	20	20	20	20	20	20	20	20
- temperatura polvere atomizzata	°C	30 ± 50	30 ± 50	30 ± 50	30 ± 50	30 ± 50	30 ± 50	30 ± 50	30 ± 50
- umidità polvere atomizzata	%	1 ± 8,5	1 ± 8,5	1 ± 8,5	1 ± 8,5	1 ± 8,5	1 ± 8,5	1 ± 8,5	1 ± 8,5
Aria esausta									
- elettroventilatore principale: portata	m ³ /h	2.500	5.000	9.000	18.000	32.000	39.500	50.000	61.000
- elettroventilatore principale: potenza	HP	5,5	7,5	15	25	30	50	60	75
- elettroventilatore principale: pressione	mm./H ₂ O	200	200	200	200	200	200	200	200
- cicloni separatori		1	1	2	2	2	4	4	4
- temperatura aria in uscita	°C	80 ± 110	80 ± 110	80 ± 110	80 ± 110	80 ± 110	80 ± 110	80 ± 110	80 ± 110
- polvere residua camino (massimo)	mgr/Nm ³	< 300	< 300	< 300	< 300	< 300	< 300	< 300	< 300
- pompa acqua: potenza max prevista	HP	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Varie									
- potenza totale installata	HP	24	37	45	57	64	86	116	136
- peso totale dell'impianto	Kg.	10.000	19.000	24.000	32.000	40.000	45.000	52.000	63.000
Grasso cuscinetti ventilatore primario									
- punto goccia	185 °C								
- penetrazione	230 - 250								