



# **ANÁLISIS Y MEJORA EN LOS CONTROLES DE VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL SECADO POR ATOMIZACIÓN DE PASTA CERÁMICA**

**Darly Carolina Lenis Calderón**

Universidad de Pamplona  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Química  
Pamplona, Colombia  
2020



# **ANÁLISIS Y MEJORA EN LOS CONTROLES DE VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL SECADO POR ATOMIZACIÓN DE PASTA CERÁMICA**

**Darly Carolina Lenis Calderón**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniera Química**

Director académico: Ing. Erik German Yanza Hurtado  
Director de innovación cerámica: Msc. Félix María García

Universidad de Pamplona  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Química  
Pamplona, Colombia  
2020

## Agradecimientos

*Me gustaría dar las gracias en primer lugar a Dios, que colmo de serenidad y sabiduría el desarrollo de este trabajo, a todo el equipo de innovación cerámica por su buena predisposición, amabilidad y ayuda en la realización.*

*Finalmente, a mi familia, quienes depositaron todo su apoyo incondicional, fe y confianza en mí, en especial a y madre quien fue mi motor e inspiración en cada paso, agradezco a todos aquellas personas que fueron partícipes en mi formación profesional pues con cada uno adquirí la mejor motivación.*

# Resumen

En el presente proyecto se plantea la aplicación de procedimientos de control para la operatividad de un equipo de atomización en la planta de revestimiento cerámico, ubicada en Cúcuta Norte de Santander Colombia, donde se realizó un estudio de parámetros físicos de calidad (granulometría, viscosidad, densidad, residuo) que impactan de forma directa en las propiedades de los semielaborados empleados (barbotina y pasta atomizada). Se estudio los factores que inciden en las propiedades de la pasta cerámica, como el producto semielaborado (barbotina), y la incidencia en las propiedades mecánicas de la pieza conformada (bizcocho), relacionando las propiedades de la barbotina (suspensión de materiales cerámicos por molienda vía húmeda), en el control del proceso de secado por atomización. con el mejoramiento de las variables como presión, ubicación de toberas, temperaturas de compuertas, etc. las cuales mejoran el control del equipo ATE90 se buscó garantizar las características físicas de la pasta cerámica elaborada a partir de la barbotina y las propiedades físicas del producto terminado (%Contracción, Humedad, Etc.);Este trabajo se desarrolló en la sección de preparación pasta la cual involucra el alistamiento de materia prima, su transformación en barbotina por medio de la molienda vía húmeda posteriormente su ingreso al proceso en el que se centra el estudio de este proyecto que es el secado por atomización, finalmente su llegada a prensado, Se analizó también el comportamiento de la pasta cerámica durante su transporte, evaluando su condiciones (granulometría y humedad) en cada paso, hasta llegar a prensado. Así mismo con el desarrollo de proyecto se identificó el desperdicio de pasta cerámica que se generan durante el proceso del proceso, desde disposición de materias primas hasta el conformado de la pieza.

**Palabras clave:** *secado por atomización, Barbotina, Pasta cerámica, granulometría, tratamientos físico cerámicos.*

---

Contenido	
<b>Resumen</b> .....	<b>V</b>
<b>Lista de Tablas</b> .....	<b>IX</b>
<b>Lista de Ilustración</b> .....	<b>XI</b>
<b>Lista de Gráficos</b> .....	<b>XII</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>14</b>
Objetivo General.....	14
Objetivos específicos .....	14
<b>Introducción</b> .....	<b>15</b>
<b>Capítulo 1: Marco teórico</b> .....	<b>17</b>
Materias primas:.....	18
Molienda:.....	18
Barbotina .....	19
Toma de condiciones de barbotina .....	19
Atomizador: .....	21
Dinámica de formación: .....	24
Temperatura: .....	24
Granulometría:.....	25
Prensa:.....	26
<b>Capítulo 2: Metodología</b> .....	<b>27</b>
Conocer el proceso de planta, partiendo desde alistamiento de materias primas hasta prensado .....	29
Procedimientos para el control en el almacenamiento e ingreso de materia primas a la tolva bascula. ....	30
Seguimiento preliminar de las condiciones de operación en la molienda (tiempo, proporciones de cargue).....	33
Seguimiento preliminar de las condiciones de la barbotina para la molienda (viscosidad, densidad, residuo).....	34
Control y verificación detallada a los cargues de molienda junto con sus aditivos....	35
Toma de condiciones de las cisternas de almacenamiento, pretamizado .....	38

Toma de condiciones de barbotina que entra y sale del proceso de tamizado .....	40
Análisis del proceso de secado por atomización para la producción de pasta cerámica. .....	41
Realizar el estudio de las variables del proceso que afectan de forma directa e indirecta la producción de la pasta cerámica, en función del tiempo y/o en función de las otras variables del proceso según corresponda (granulometría, humedad y distribución de lanza) .....	42
Análisis de flujo masico según el tiempo de producción, dentro de las 90 horas de boquillas de producción de polvo cerámico. ....	46
Trasporte y almacenamiento.....	46
Análisis de propiedades (contracción, punto de quiebre y absorción) de las piezas prensada a diferentes humedades y granulometrías. ....	48
Análisis de posibles factores de desperdicio de pasta .....	48
<b>Capítulo 3: Resultados y Análisis .....</b>	<b>50</b>
PATIOS DE ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA.....	51
Seguimiento de lotes.....	51
Reporte de humedades.....	51
PROCESO DE MOLIENDA .....	55
Revisión preliminar de parámetros de calidad .....	55
Análisis de la variabilidad de los parámetros de calidad de la barbotina en la molienda .....	57
Influencia del pH del agua en la calidad de la molienda. ....	59
PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACION.....	60
Condiciones de trabajo de equipo .....	60
Producción del equipo.....	62
Condiciones de producción de ATE 90 (humedad – granulometría).....	62
PROPIEDADES FÍSICO CERAMICAS .....	65
<b>Conclusiones.....</b>	<b>68</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>71</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>75</b>
ANEXO (A) DESPERDICIO EN AREA DE PREPARACION PASTA .....	75
ANEXO (B) GRAFICOS DE CONDICIONES DE BARBOTINA SEGÚN SU pH.....	79

---

ANEXO (C) DIAGNOSTICO DEL PROCESO DE ATOMIZACION .....81

# Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Parámetros que se especifican a priori en el proceso de molienda.....</i>	36
Tabla 2 <i>Datos recopilados del seguimiento al proceso de molienda agregando Reovis como aditivo. ....</i>	36
Tabla 3 <i>Datos recopilados del seguimiento al proceso de molienda agregando Texilan como aditivo. ....</i>	37
Tabla 4 <i>Datos recopilados del seguimiento al proceso de molienda agregando TPF como aditivo.....</i>	37
Tabla 5 <i>Datos de los molinos realizados a nivel de laboratorio.....</i>	38
Tabla 6 <i>Condiciones de la barbotina que entra y sale de vibrotamices.....</i>	40
Tabla 7 <i>Variables del proceso de secador por atomización.....</i>	42
Tabla 8 <i>Área de trabajo de boquillas de 3,5mm y 4mm para un ciclo de trabajo de 90 horas.....</i>	44
Tabla 9 <i>Escala de tamices estándar Tyler, para el rotap. ....</i>	47
Tabla 10 <i>Datos promedio, desviación y coef. de variación para materiales no plástico. rotura cocida, feldespató y caliza, evaluados por el método de pala vs método de inyección de ladrón. ....</i>	55
Tabla 11 <i>Parámetros de control de atomización.....</i>	61
Tabla 12 <i>control de bombas de barbotina, pre ensayo, ensayo, post ensayo de metodología de control.....</i>	61
Tabla 13 <i>Control de Presión de barbotina, pre ensayo, ensayo, post ensayo de metodología de control. ....</i>	61
Tabla 14 <i>Flujo masico de pasta atomizada durante el proceso de control de variables para mayor capacidad de proceso.....</i>	62
Tabla 15 <i>Diagnostico preliminar estado de consumos de materias primas (enero 2020)</i>	75

---

Tabla 16 *Porcentajes de desperdicio totales en el almacenamiento obtenido en las mediciones diagnosticas (antecedente-enero)* ..... 76

Tabla 17 *Porcentajes de desperdicio totales en el almacenamiento obtenido en las mediciones realizadas para conocer la respuesta de la metodología de control implementada.* ..... 76

Tabla 18 *Costo por desperdicio por almacenamiento en patios antes y después de aplicar la metodología de control (Enero – Febrero)* ..... 76

Tabla 19 *área y flujo estimado de trabajo para boquillas de 3,5mm y 4mm* ..... 82

# Lista de Ilustración

Ilustración 1 <i>Proceso multi-etapa de producción cerámica.</i> .....	18
Ilustración 2 <i>Proceso de secado por atomización.<sup>[21]</sup></i> .....	23
Ilustración 3 <i>Diagrama de flujo del área preparación pasta</i> .....	28
Ilustración 4 <i>"Ladrón" de materia prima a granel no arcillosa</i> .....	32
Ilustración 5 <i>Grafica que representa las condiciones de viscosidad de los molinos descargados en las cisternas 5 y 6.</i> .....	39
Ilustración 6 <i>Grafica que representa las condiciones de viscosidad de los molinos descargados en las cisternas 10 y 11.</i> .....	39
Ilustración 7 <i>Grafica que representa las condiciones de residuo de los molinos descargados en las cisternas 5 y 6.</i> .....	40
Ilustración 8 <i>Grafica que representa las condiciones de residuo de los molinos descargados en las cisternas 10 y 11.</i> .....	40
Ilustración 9 <i>Diseño de distribución de atomización por lanzas.</i> .....	45
Ilustración 10 <i>Probetas cerámicas con humedad ascendente de izquierda a derecha...</i>	48
Ilustración 11 <i>Distribución presente antes de implementación de control de parámetros del atomizador.</i> .....	81
Ilustración 12 <i>Distribución implementada por análisis de sensibilidad del comportamiento del equipo.</i> .....	81
Ilustración 13 <i>Distribución existente post ensayo, para verificar el comportamiento del equipo.</i> .....	81

# Lista de Gráficos

Gráfico 1 <i>Comportamiento pasta atomizada del ATE90, según su tamaño de partícula a diferente humedad.</i> .....	43
Gráfico 2 <i>Comportamiento granulométrico durante el traslado a prensa.</i> .....	47
Gráfico 3 <i>Variación con el tiempo de humedad de Caliza Molida. Método Pala(H.Tec) Vs Método ladrón (H.IQ)</i> .....	52
Gráfico 4 <i>Variación con el tiempo de humedad del Feldespato. Método Pala(H.Tec) Vs Método ladrón (H.IQ)</i> .....	53
Gráfico 5 <i>Variación con el tiempo de humedad de Rotura cocida. Método Pala(H.Tec) Vs Método ladrón (H.IQ)</i> .....	53
Gráfico 6 <i>Distribución de Humedad evaluada por dos métodos, Método de Pala (H.TEC) vs Método de inyección de ladrón (H.IQ), [A] Distribución de Rotura Cocida, [B] Distribución de feldespato y [C] Distribución de Caliza Molida.</i> .....	55
Gráfico 7 <i>Representación del parámetro de viscosidad de la barbotina medido con el tiempo (s) en caída libre vs el número de molino. Se trazan los límites superior e inferior en la figura, establecidos por el sistema de gestión de calidad interno.</i> .....	56
Gráfico 8 <i>Representación del retenido en malla 230 de la barbotina vs el número de molino. Se trazan los límites superior e inferior en la figura, establecidos por el sistema de gestión de calidad interno de la empresa.</i> .....	56
Gráfico 9 <i>Grafica que representa la densidad en (g/L) de la barbotina vs el número del molino. Se trazan los límites superior e inferior en la figura, establecidos por el sistema de gestión de calidad interno de la empresa.</i> .....	56
Gráfico 10 <i>Distribución de gauss para la densidad en la molienda.</i> .....	57
Gráfico 11 <i>Distribución de gauss para el parámetro de viscosidad en la molienda.</i> .....	57

Gráfico 12	<i>Distribución de gauss para el residuo en la molienda.</i>	58
Gráfico 13	<i>Distribución de gauss para la solidos secos en la molienda.</i>	58
Gráfico 14	<i>Distribución de gauss para la densidad en la molienda</i>	58
Gráfico 15	<i>Moliendas realizadas con agua del abatidor (pH= 3)</i>	59
Gráfico 16	<i>Molinos realizados con agua de los molinos (pH= 11)</i>	59
Gráfico 17	<i>Moliendas realizadas con agua de los molinos (pH= 11)</i>	59
Gráfico 18	<i>Distribución de guaus de la humedad durante el proceso control de atomización.</i>	63
Gráfico 19	<i>Comparación de distribución granulométrica entre "Antecedentes", durante el control "Ensayo" y existente "Actual"</i>	64
Gráfico 20	<i>Variabilidad de la resistencia mecánica de la baldosa cocida respecto a la humedad de la pasta cerámica.</i>	65
Gráfico 21	<i>Variabilidad de la contracción de la baldosa respecto a la humedad de la pasta cerámica.</i>	66
Gráfico 22	<i>Variabilidad de la perdida por calcinación de la baldosa respecto a la humedad de la pasta cerámica</i>	66
Gráfico 23	<i>Variabilidad de la absorción de agua de la baldosa cocida respecto a la humedad de la pasta cerámica.</i>	66
Gráfico 24	<i>Variabilidad de la perdida por secado de la baldosa húmeda respecto a la humedad de la pasta cerámica.</i>	66
Gráfico 25	<i>Porcentajes de desperdicio del mes de enero</i>	77
Gráfico 26	<i>Porcentajes de desperdicio mes de febrero</i>	77
Gráfico 27	<i>Contraste de costo de desperdicio entre mes de enero y febrero.</i>	78
Gráfico 28	<i>Densidad (g/L) de las moliendas realizadas. (3, 6, 8, 10, 13 con pH= 3. Agua de abatidor. Los demás se realizaron con agua de molinos pH= 11).</i>	79
Gráfico 29	<i>viscosidad (s) de las moliendas realizadas. (3, 6, 8, 10, 13 con pH= 3. Agua de abatidor. Los demás se realizaron con agua de molinos pH= 11).</i>	79
Gráfico 30	<i>Relación Densidad (g/L) vs viscosidad (s) (moliendas realizadas con agua de molinos pH= 11). Ninguna de estas presentó aglomeración.</i>	80
Gráfico 31	<i>Relación Kg de defloculante vs viscosidad en cP medidos en el Brookfield. ..</i>	80
Gráfico 32	<i>Comparación de desviación de datos de antecedentes, del ensayo y actualidad sin ensayo para la humedad y el retenido por malla.</i>	82

# Objetivos

## **Objetivo General.**

Establecer las adecuadas condiciones de trabajo para la productividad de la operación de secado por atomización de pasta cerámica

## **Objetivos específicos**

- Conocer el proceso productivo en la planta y realizar estudio preliminar de la fase de secado por atomización.
- Realizar el análisis de variables de densidad, viscosidad y residuo en la molienda de materias prima para la fabricación de barbotina que impacta en las condiciones de operación del equipo atomizador.
- Identificar y analizar el comportamiento de las variables de proceso de secado (parámetros de manejo) y otros factores (barbotina) que influyan en la pasta atomizada.
- Identificar y analizar fuentes de desperdicio de pasta cerámica generadas desde su fabricación, bandas de transporte, silos de almacenamiento, tamiz de filtrado y tolvas de prensas para el consumo.

# Introducción

El proceso cerámico se estructura a partir de premisa de brindar un producto de alta calidad, desde un perfecto conformado hasta el arte de los diseños visuales impresos en la cara del material que atrae al cliente y favorece su venta, garantizando además la utilidad del producto; es por esto que el proceso de fabricación se realiza con parámetros de calidad meticulosos en cada área de producción, partiendo de la exploración y explotación de la materia prima, su traslado y almacenamiento en los patios, cumpliendo a su vez los requerimientos de la planeación mensual de producción. Las proporciones en las que se consume las materias primas están sujetas a la formulación de las diferentes arcillas y arenas. Los cargues de los molinos se realizan de acuerdo a una cantidad de materia prima, de agua y aditivo. El semielaborado de la molturación se procede a un *spray dryer*, dando la pasta cerámica la cual se transportará a la zona de conformado de pieza por prensado.

La industria Cerámica, involucra en el área productiva procesos de alta variabilidad debido a su dependencia de la naturaleza de materia prima ingresada al proceso al, ya que son minerales naturales los cuales son variables, no presentan similitud en ningún momento así sea la misma clasificación de arcilla, de ahí nace la problemática de establecer tácticas de optimización del proceso[1] Durante la elaboración de baldosas, el área de preparación pasta, es la primera etapa del proceso productivo, el cual representa una gran consecuencia en la ejecución del proceso. los rasgos del polvo atomizado que allí se genera afectan notablemente las propiedades físicas del producto final y causan una alta variabilidad en el proceso. [2]

---

Para enfocarse en proceso de polvo cerámico por atomización se toman varios alcances que son los procesos que pueden dar una variación en este, por ello se hace el análisis de la entrada y salida, de ese modo se estudian el comportamiento de los procesos previos a este (Alistamiento de materia prima y Barbotina) entonces se identifica que el polvo atomizado al llegar a prensa dependen de varios factores, entre los casos que más destacan son las características de la barbotina, condiciones de trabajo del atomizador. Al realizar el exhaustivo análisis de cada medida de control se obtendrá unas condiciones óptimas de trabajo y funcionamiento que favorezcan el proceso y a la mejora de calidad del polvo atomizado, reduciendo la variabilidad y el desperdicio y de esa manera aportando la mejor calidad al proceso total. El trabajo se desarrolla en el área de preparación pasta,

# Capítulo 1: Marco teórico

## PROCESO CERAMICO

Existen muchas definiciones de un proceso, ejemplo Harrington (1997) que define un proceso común como un conjunto lógico de actividades relacionadas y conectadas que toma entrada de proveedores, les añade valor y produce salidas para clientes. Es decir, Muchos procesos de fabricación no consisten en una simple etapa sino en una secuencia (procesos multietapa), donde la salida de una etapa se considera el proveedor de la siguiente y la entrada de una etapa como un cliente, Los procesos actuales de fabricación de baldosas cerámicas representan perfectamente a este tipo de proceso, que son consideradas (cliente- proveedor), representado en la *Ilustración 1*. [3]



*Ilustración 1* Proceso multi-etapa de producción cerámica.

**Materias primas:** el comportamiento en el proceso de una composición determinada puede cambiar por variaciones de las materias primas individuales que la forman o por variaciones en el porcentaje de cada una de ellas; además, están preparados con materias primas naturales, que de acuerdo con su función pueden ser plásticas o no plásticas. Las primeras son esencialmente arcillas. Las no plásticas pueden tener una función de "desgrasantes" (materiales que reducen la plasticidad permitiendo una mejor trabajabilidad y facilitando el secado), o son elementos "fundentes" (que facilitan una cocción a menor temperatura e introducen los elementos necesarios para la formación de nuevas fases). También hacen cambios en los parámetros de trabajo de la etapa de molienda y pueden también provocar distribuciones de tamaño de partícula diferentes que impliquen cambios en el comportamiento del producto en los procesos de prensado. [4]

**Molienda:** Las materias primas se homogenizan mediante el transporte por bandas para la mezcla ser molturada por medio de la molienda vía húmeda y se obtiene mediante unos cuerpos moledores de alúmina que, al generar fricción entre ellos, logran mezclar homogéneamente el material obteniendo como resultado el semielaborado Barbotina.[5]la

molienda por vía húmeda genera en los productos un mejor empaquetamiento de las partículas internas del material, con escasa sensibilidad a los procesos de secado y la poca probable aparición de fisuras durante dicha etapa, se puede concluir que aplicar el proceso de molienda en húmedo para una empresa regional puede generar costos muy altos a corto plazo por la reconversión del proceso de preparación, pero incrementará a medio y largo plazo el valor comercial de sus productos, pues se observaron mejoras.[6]

**Barbotina:** siendo el semielaborado del proceso de molienda se da de la siguiente manera: Las arcillas se introducen total o parcialmente en trituradoras, y posteriormente se le añade agua. Esta composición se moltura en molinos de bolas. A la suspensión resultante (barbotina) se le elimina parte del agua que contiene, hasta alcanzar el contenido en humedad. La materia prima utilizada puede verse afectada por muchos cambios, por ello constantemente se debe hacer análisis del comportamiento que llevan día a día ya que estos pueden aumentar o disminuir alterando el producto final, por ello este análisis se realizó con el propósito de hacer el seguimiento a las barbotinas cerámicas antes de ingresar al atomizador, se plantea un análisis de las propiedades reológicas de la barbotina (viscosidad, densidad, Gallenkamp[7]. Además de realizar un análisis para determinar el porcentaje de humedad y residuo presente para la barbotina.

**Toma de condiciones de barbotina:** Las suspensiones cerámicas son sistemas complejos en los que la fase sólida, las partículas, pueden interaccionar entre sí o interaccionar con las moléculas del medio de dispersión o con las sustancias empleadas como aditivos de procesamiento.[8]Esto hace que, en general, las suspensiones cerámicas se comporten como fluidos complejos con una estabilidad limitada en el tiempo. Esto dificulta en muchos casos la medida experimental del comportamiento reológico y la interpretación de los resultados obtenidos. Finalmente, una condición básica para garantizar una buena impresión, es que el fluido se comporte como un fluido newtoniano. [9]El objetivo de estas mediciones es el conocimiento de las condiciones básicas dentro de los parámetros que rigen la formación de pared de los cuerpos cerámicos y que sirvan para evaluar los ajustes con defloculantes para el establecimiento de la condición final de la barbotina.[10] Las mediciones son de las condiciones de la suspensión la más importantes densidad, viscosidad y residuo.

Densidad: La densidad resultante depende fundamentalmente del caudal de agua, y su valor repercute en la productividad del molino, en la viscosidad de la barbotina, y en su residuo, el contenido de agua de la barbotina puede mantenerse bajo control midiendo periódicamente la densidad de la barbotina con un recipiente de volumen conocido como el picnómetro.[11] El Picnómetro es un Instrumento para determinar de forma rápida, el peso específico de líquidos, esmaltes, barbotinas etc. Estructura construida en acero inoxidable completa de vaso y tapa con un peso total tarado de 200 g y una capacidad de 100 cc, para la densidad determinada por el picnómetro la empresa tiene en norma que está entre 167 g/cc a 167.5 g/cc.[12]

Viscosidad: Es el parámetro más importante en la caracterización reológica de una sustancia. Una baja viscosidad puede provocar la sedimentación de la barbotina, una excesiva finura del polvo tras el atomizado yes, además, un indicador de un exceso de agua en la molienda.[13], la viscosidad tiene diferentes formas de medición en la las suspensiones cerámicas a continuación se evidencia equipos comunes en el sector cerámico:

Copa Ford: Uno de los equipos es la copa Ford que corresponden al tiempo de vaciado de la copa Ford de 100 cc con boquilla de  $\varnothing$  4 mm. Se utiliza principalmente para los esmaltes y engobes. Sin embargo, para barbotina indica que la viscosidad ideal deberá estar en aproximadamente 25 seg.[12]

Gallenkamp: ayuda a evidenciar y parametrizar la reología de la barbotina, el cual también es conocido como viscosímetro de torsión universal, es uno de los instrumentos más utilizados en el campo de la cerámica para medir rápidamente suspensiones, viscosidad y tixotropía. [14] Accionado manualmente y con sistema de elevación de la copa de muestra, comprende un cable con torsión vertical, un disco montado en una escala graduada y un cilindro suspendido debajo de la escala. Durante la prueba, el disco gira 360°C en sentido de las manecillas del reloj y luego se libera, el efecto de frenado de la muestra en la parte exterior del cilindro se utiliza para medir la viscosidad. El valor de tixotropía se determina haciendo una segunda medida después de 3 minutos (donde la muestra permaneció en una condición estática), y calculando la diferencia con respecto a la primera medida. [12]

Brookfield: el viscosímetro industrial que va desde que se introdujo por primera vez en 1985. Brookfield ha seguido desarrollando mejoras para proporcionar el mejor control de

calidad, además de ser un viscosímetro dirigido por un torque determina la tixotropía de las suspensiones cerámicas, para la barbotina la cual tiene parámetros de reológicos entre 120-220 cP, maneja aguja de torque 62, debido a que esta entre 0 a 500 cP, cuando aumenta el número de aguja, menor será el peso del péndulo, es decir aplica mayor fuerza rotacional que permite determinar mayores viscosidades debido a que el esfuerzo de cizalla que realiza el torque en contacto con la suspensión es mayor, por eso la aguja debe ser más liviana y eso indica que la velocidad de espesamiento es mayor en la suspensión. Determinando la viscosidad mínima alcanzada y el respectivo consumo de defloculante. [15]

**Residuo:** El residual de un lavado de barbotina y/o pasta indica la cantidad de gruesos presente en esta, esto proporciona un factor de medición del porcentaje de plástica, no plástica o pseudoplástica, siendo así mismo el punto de partida para una formulación de pasta eficaz, debido a que esta variable repercute en la compresibilidad de cada una de las materias primas a utilizar. En la barbotina se estima una norma para el retenido en tamice *Tyler 230* debido a que esto repercute en el tamaño de partícula al momento del secado por atomización. Para la pasta cerámica se mide la norma de porcentajes de retenido en tamices *Tyler* por la misma metodología de lavado de materia prima, debido a que el producto terminado se denota ya sea por exceso de retenido que genera una compresibilidad menor dando lugar a la no realización de la desgasificación y calcinado los compuestos orgánicos internos en el conformado cerámico final. [16]

**Humedad:** La humedad determina, junto con la presión máxima de compactación, la densidad aparente del soporte que, como se verá posteriormente, es una de las variables más importantes de todo el proceso productivo. La relación cuantitativa entre densidad, presión de prensado y humedad es el conocido diagrama de compactación.[17]

**Atomizador:** El proceso de secado por atomización es una operación unitaria que interviene en numerosas aplicaciones industriales. Es un proceso industrial de alta complejidad en el que se producen fenómenos de atomización de chorros, fenómenos de transporte de materia y energía entre las gotas y el aire, interacciones entre las gotas y la pared del atomizador, etc. Las primeras investigaciones sobre el proceso de secado por atomización se remontan a principios de los años 50. La relación entre las condiciones de operación y las características del polvo atomizado se estudiaron para líquidos puros y

suspensiones de tipo alimentario. A partir de los años 80 estos estudios se extendieron al uso de materiales utilizados en la industria cerámica. En estos estudios se obtuvieron correlaciones que relacionaban las propiedades de las suspensiones (contenido en sólidos, temperatura y presencia de aditivos) con las propiedades finales del polvo atomizado obtenido (morfología, micro estructura, densidad, resistencia mecánica y fluidez) [18]

Las condiciones de operación, cuando la suspensión es llevada hasta una boquilla atomizadora, esta suspensión atomizada es secada por una corriente de aire y a su vez calentada y el material cae en forma de gotas por la cámara perdiendo la humedad restante durante el vuelo, finalmente las partículas son recolectadas.[19], el atomizador para realizar el proceso correspondiente depende de la entrada de la suspensión cerámica (barbotina) para dar el semielaborado de polvo cerámico, sin embargo el equipo se controla por medio de parámetros de trabajo, Estudios anteriores se han centrado en el efecto de las condiciones del proceso de secado por pulverización, como el diseño del atomizador, la temperatura de secado, Etc. Así, la característica principal del polvo secado por pulverización es tener una forma externa que es esférica.[20]

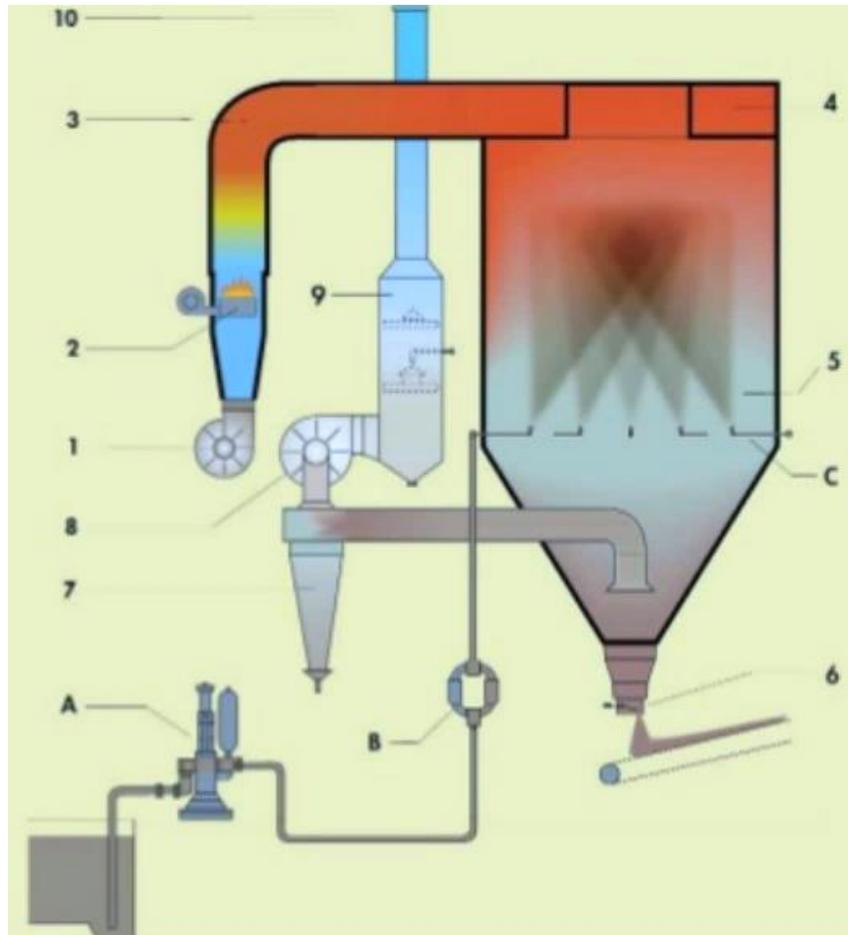


Ilustración 2 Proceso de secado por atomización.<sup>[21]</sup>

El proceso de secado por atomización va evidenciado en la *Ilustración 2* y describe el siguiente proceso: El electroventilador de presurización (1) empuja el aire a través del quemador (2) que lo calienta. A lo largo de una tubería (3) de acero aislada térmicamente el aire viene en el distribuidor anular (4) que lo pone en rotación dentro de la torre de secado (5). Aquí encuentra la barbotina que las bombas (A) han enviado a presión constante, a través de los filtros (B), en una serie de boquillas con orificio calibrado (C). Las boquillas ubicadas en lanzas radiales, pulverizan la mezcla de agua y tierra. El producto seco de esta forma cae en el fondo de la torre donde se descarga (6) en una cinta que lo transporta a los silos de almacenado. Los ciclones separadores (7) capturan el aire húmedo y abaten gran parte del polvo fino en suspensión. El ventilador principal (8) introduce el aire húmedo en el abatidor (9) que acaba el tratamiento de filtrado del polvo. El aire limpio se expulsa hacia el exterior a través de la chimenea (10). Todo el ciclo está controlado mediante un equipo electrónico.<sup>[21]</sup>

**Dinámica de formación:** En el secado por atomización la barbotina es pulverizada en finas gotas y entra en contacto con una corriente de aire caliente para obtener un producto sólido granular de bajo contenido en agua. El tiempo de contacto entre la suspensión pulverizada y el gas caliente es pequeño, por lo que se produce una evaporación violenta del agua que contiene cada gota. [22] La presión necesaria para bombear la suspensión hasta el pulverizador se aporta mediante una bomba de impulsión de pistones, la cual impone a la suspensión una velocidad de salida por el pulverizador, tal de vencer la viscosidad del fluido, para separarlo en diminutas gotas y dirigirlo hacia arriba [23]

**Temperatura:** La temperatura de la superficie de la gota aumenta rápidamente y la humedad de la superficie comienza a evaporarse tiene lugar en una superficie grande donde el tiempo del secado es bastante pequeño (1-10seg) y va acompañada de contracción. Si se forma una corteza externa, como es el caso de las lechadas dispersas, la contracción se detiene y al mismo tiempo aumenta la presión interna debido a la humedad. La temperatura del producto es baja aun cuando la temperatura del secador sea alta y el producto obtenido es un polvo con características de flujo libre y de granulación uniforme. [24]

las toberas tienen la función de convertir la energía de presión, proporcionada por la bomba de alta presión, en energía cinética en forma de película delgada, las toberas empleadas generalmente son del tipo llamado "caracol", donde un dispositivo en espiral imparte al fluido, bajo la acción de la presión aguas arriba, las boquillas están montadas en una serie de lanzas colocadas radialmente, no están vinculadas a la puerta de cierre éstas pueden girar en su eje y sobresalir más o menos dentro de la torre. De esta forma se puede regular la orientación de las boquillas según el tipo de barbotina a atomizar. Se pueden extraer las lanzas sin interrumpir la actividad del atomizador, los tamaños de los orificios de las boquillas varían de 0.25 a 0.4 mm de diámetro según la presión, la capacidad de operación y grado de atomización. Para presiones elevadas y cuando los sólidos están en suspensión, el orificio de la boquilla está sujeto a desgaste. [25]

Características de Polvo atomizado en el proceso de atomizado tiene como objetivo la evaporación parcial del agua contenida en la barbotina y a la formación de partículas esféricas, con una cavidad interior más o menos pronunciada; el grano contiene la

humedad residual necesaria para el prensado y, generalmente, esta se encuentra dentro de dicha cavidad.[12][26]

Fluencia y variaciones La distribución de tamaño de los gránulos (DTG) determina la fluidez del polvo, la cual incide en su comportamiento, fundamentalmente durante el llenado del alveolo de la prensa. Una adecuada fluidez del polvo conduce a un llenado homogéneo del alveolo de la prensa y a una distribución uniforme de la densidad aparente del soporte compactado; si la densidad aparente es uniforme, el comportamiento del soporte durante su procesado también lo será y, lo que es más importante la geometría del producto final será la adecuada, además La distribución granulométrica es una variable de suma importancia, dado que de ella va a depender el grado de empaquetamiento de las partículas y, por tanto, las propiedades físico-mecánicas de los cerámicos. [27]

**Granulometría:** El análisis granulométrico tiene por objeto separar los materiales complejos y heterogéneos, como los materiales arcillosos, individualizando sus componentes, de acuerdo a la diferenciación que estos presentan entre sí respecto a las dimensiones de las partículas.[27]

Tamizado: El método principal es el tamizado donde la prueba consiste esencialmente en hacer pasar la muestra a través de una serie de tamices de magnitud de malla gradualmente decreciente y determinar el residuo de cada tamiz. El diámetro medio de estos residuos define la composición granulométrica. Los aparatos para este análisis se componen de tamices sobrepuestos en escala decreciente, provistos de un moto-vibrador. Al final de la operación recogen los residuos sobre las diversas telas, se pesan y se expresan en tanto por ciento Los tamices se designan normalmente con  $N = n^\circ$  de mallas por cm, o bien, por la luz de malla, es decir, la distancia que separa dos hilos, en realidad, coexisten diferentes escalas, por lo que los resultados hay que expresarlos referidos a la escala utilizada, para evitar errores de interpretación. [28]

La granulometría óptima de los polvos atomizados es completamente análoga a la aconsejada para las otras producciones de baldosas. A modo de ejemplo, se presenta la distribución granulométrica de una composición habitual empleada en la producción. Los valores indicados deben ser interpretados con una cierta flexibilidad, ya que a cada uno de estos valores se asigna una tolerancia los granos que en su conjunto constituyen el polvo atomizado se sitúan entre 100 y 900 micras, con una distribución estadística muy pronunciada en el intervalo entre 425 y 180 micras. Sin embargo, la mayor concentración

de partículas se encuentra generalmente en el intervalo granulométrico entre 425 y 250 micras.[29]

Si pasamos ahora a la distribución granulométrica, es obvio que el objetivo de la conformación y la cocción de un semielaborado cerámico es la obtención de un producto en el cual se han activado y completado el mayor número posible de reacciones sólido-sólido; esto depende en gran medida de la superficie de contacto de las partículas, ya que cuanto mayor sea, más favorece el desarrollo con la temperatura, desde la sinterización, pasando por la reacción, hasta la fusión,[7][29]

El polvo atomizado es descargado sobre la cinta transportadora y llevado a los silos de almacenamiento, donde se conserva el material por un tiempo de 48 horas para compensar las diferencias de humedades que se pudieron haber generado durante su obtención. Sin embargo, el comportamiento reológico del polvo atomizado es tan complejo que no puede ser tratado como un líquido ni como un sólido. Esta dificultad en el manejo del material provoca una gran variabilidad en sus características, interrupciones durante la descarga, formación de bóvedas, creación de zonas muertas, entre otros efectos que inciden negativamente en las siguientes etapas.[30]

**Prensa:** El prensado es una operación de conformado basado en la compactación de un lecho de material granular (polvo de prensas) contenido en un molde rígido o flexible, mediante la aplicación de presión[31]. El paso de compactación en el proceso de producción de baldosas generalmente requiere polvos granulados con buena fluidez para ayudar al llenado de la cavidad de la matriz, y también la aplicación de presiones adecuadas. los granos de atomizado son huecos y al prensar se deforman plásticamente en lugar de únicamente desplazarse, contra lo que sucedería con gránulos macizos.[32]

# Capítulo 2: Metodología

Para el control de secado por atomización se toma en cuenta la metodología multi-etapa de procesos (cliente - proveedor), donde parte desde almacenamiento de materias primas, hasta la llegada a prensa, en la ilustración 3 muestra el proceso multi etapa.

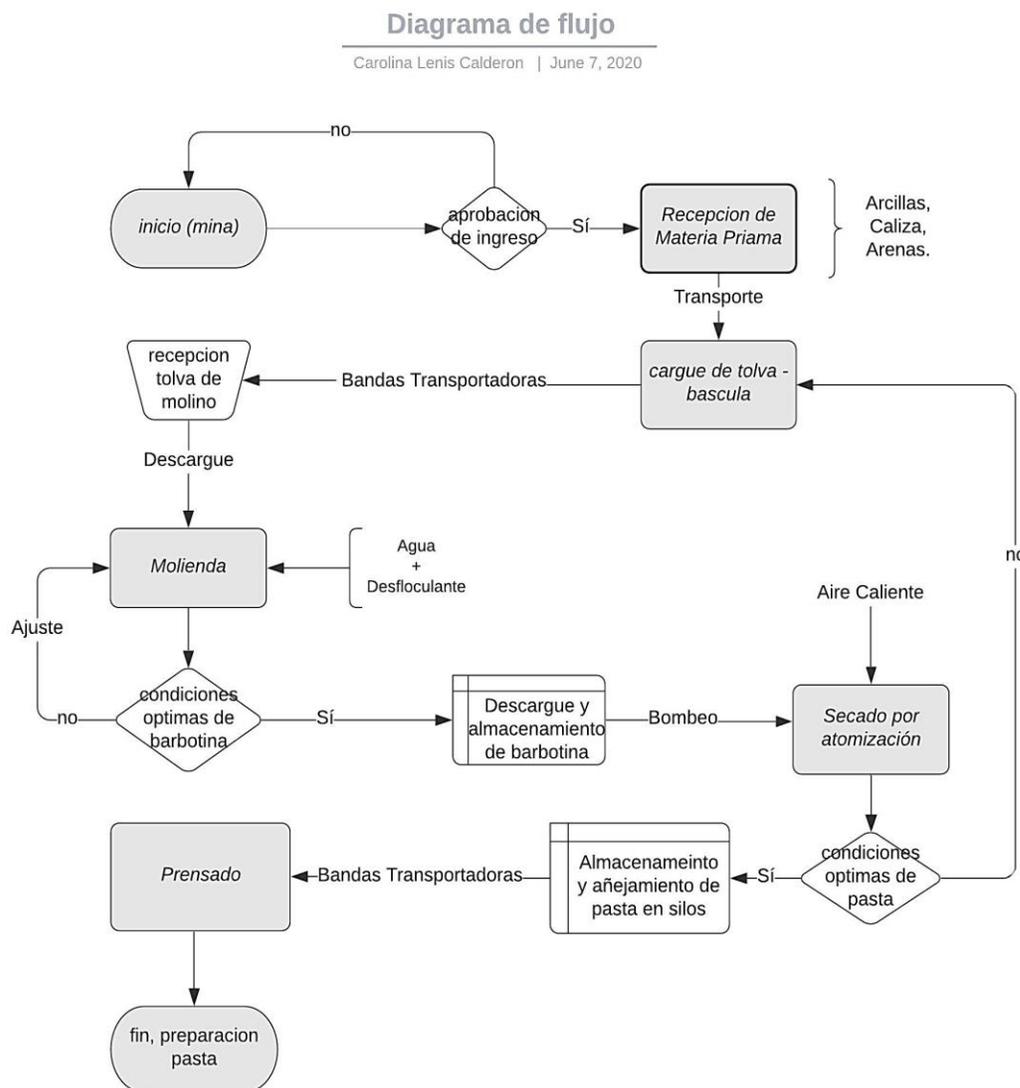


Ilustración 3 Diagrama de flujo del área preparación pasta

En la Ilustración 3 se evidencia que la salida de proceso de alistamiento de materia prima es el proveedor del siguiente proceso que es la tolva bascula, a su vez este se convierte en cliente durante el cargue de materias primas según la formulación para pasta. Así mismo pasa con molienda en el equipo MDT340 SACMI que es dependiente de la carga

que se provee de la tolva bascula, debido a que allí se estima la carga de agua, el tiempo de molienda, para llegar a una uniformidad de las variables (densidad, viscosidad, residual) de la barbotina en cada molienda. La barbotina, pasa a proveer el equipo de atomización ATM90 el cual depende de las condiciones de ingreso de la barbotina para el control del equipo, por ello a la pasta cerámica se toman condiciones de evaluación y/o calidad (humedad y granulometría) y con base en la evaluación de condiciones de ajustan parámetros de, presión, temperatura, etc., del equipo con el fin de que se provea de pasta a las prensas que produzcan piezas conformadas con excelentes propiedades físicas.

### **Conocer el proceso de planta, partiendo desde alistamiento de materias primas hasta prensado**

Para el proceso cerámico se parte desde la exploración y explotación de la materia prima, una vez sea aprobado los requerimientos y condiciones óptimas para ingreso a la planta se realiza el traslado desde la mina a los patios de almacenamiento de materia prima. Entre las materias primas geológicas que se utilizan encontramos las arcillas, arenas, caliza y feldespato. La materia prima tiene una formulación que deben balancear sus comportamientos individuales para la pasta cerámica, las arcillas plásticas son de mayor porcentaje entre la formulación de pasta, pero aun así es necesario el contenido de arena, debido a que brinda a la pasta cerámica mejores propiedades mecánicas. En la formulación de pasta se comprende agregar roturas, las cuales son daños de producción que no llegan a ser producto terminado, así que se aprovecha en la reutilización para mitigar desperdicios.

Una vez esté lista la formulación de pasta cerámica desarrollada por el área de innovación cerámica se procede a hacer los respectivos cargues a tolva-bascula cumpliendo con la ficha técnica, una vez cumplido el peso requerido se empieza a llevar por medio de unas bandas la materia prima, para almacenarlas en las tolvas de los molinos, los cargues de los molinos se realizando acuerdo a una cantidad de materia prima, más agua, y defloculante. Los molinos *MDT340 SACMI*, trabajan a revoluciones y tiempo de molienda estándar, una vez termine la molienda se realiza la toma de condiciones del molino verificando que las condiciones de densidad, viscosidad, residuo, estén en norma, de acuerdo a la ficha técnica de la planta, cuando cumple se descarga el molino a las cisternas de almacenamiento, si no cumple las condiciones es necesario realizar ajustes de agua o tiempo a el molino para que la variable salida de norma se estandarice, estando el

semielaborado barbotina listo y almacenado en las cisternas, se transporta la suspensión a través de vibro tamiz, para remover impurezas y ajustar el residuo de la suspensión, luego de pasar el vibro tamiz pasa la suspensión a las cisternas de alimentación del equipo atomizador, siendo bombeado, pasado por el filtro y convirtiendo la suspensión en pasta cerámica por secado de aspersion, además de la suspensión el atomizador está en función de las boquillas instaladas en las toberas de aspersion, debido a que estas deben estar con un cambio, cada 90 horas debido a la capacidad del proceso por desgaste, además de la distribución que estas manejan al interior de la cámara de secado. Una vez aprobada la pasta cerámica por granulometría y humedad, se transporta por medio de bandas y canjilones, dejando a su paso perdidas dispersión del material, se almacena en silos y dejándose añejar, cuando la pasta cumple su tiempo se pasa a consumo de prensa, es decir esta sale del silo y se es transportada por bandas hasta un vibro tamiz, los cuales generan otro rechazo, después se es llevado a las tolvas de prensas para ser compactada.

#### **Procedimientos para el control en el almacenamiento e ingreso de materia primas a la tolva bascula.**

La variable más influyente en materia prima es la humedad debido a que presenta alteración de la formulación de pasta cerámica afectando directamente la barbotina y a su paso el proceso de elaboración de la pieza. En los patios de almacenamiento de materias primas se clasifican las arcillas según su procedencia y cantidad, al momento de ingreso de lote se realiza el respectivo muestreo a las materias primas que aportan humedad al proceso, como son los diferentes tipos de arcillas, además de la caliza, feldespatos y rotura. Para ello se realiza por la metodología del cuarteo que consiste en:

- Tomar 2 muestras por cada 3 viajes de ingreso de material, luego eso se lleva a homogenizar y realizar cuarteos, hasta obtener una muestra de  $\pm 1$ kg, para verificar su cantidad de ingreso en base seca.

Una vez cuantificado el ingreso se lleva el control de los lotes ingresados, verificando el consumo de la tolva bascula, la cual se rige de la ficha técnica de formulación de materia prima para pasta, es decir se realiza una formulación de pasta desarrollada por el área de innovación cerámica, la cual indica el porcentaje de participación en (kg) de materia prima. Por ende, la variable a realizar seguimiento es la humedad de las materias primas, ya que, al descontarla de la cantidad ingresada en húmedo, indica su cantidad en seco.

**Control de lotes de consumo:** Se realizó a lotes de consumo como las arcillas debido a la gran cantidad de ingreso y el corto tiempo de consumo se realizó el control por medio de balance de masa. (*Entra – Sale = Consume*). Se implementó el control de las cantidades debido a que la variación de humedades en las arcillas no es muy significativa, por ello el total de lo ingresado en seco se divide en la cantidad consumida por día la cual se estima por el número de cargues promedio en el día, conociendo la participación de cada arcilla debido a la formulación de pasta. el número de cargues promedio podía para así estimar cuanto tiempo dura, para cuantos cargues alcanza y minimizar el riesgo de desbalancear la fórmula de pasta cerámica, ya que desbalancear la fórmula de pasta se ve reflejado en las propiedades mecánicas de la pieza conformada estos datos se verificaron y se realizó la trazabilidad de estos, según las herramientas utilizadas en la planta.

- Se recolecto la información por medio de la plataforma (Synergy)
- Se recolecto la información registrada al diario por el controlador lógico programable de (PLC) de la tolva-bascula
- Se recolecto la información registrada manualmente en las bitácoras de control

La trazabilidad se evidencia en la

TORRE FUERTE (TF)							
REGISTRO		BITACORA		PLC		SINERGY	
Lote	Ingreso	Consumo	Diferencia	Consumo	Diferencia	Consumo	Diferencia
128505	844,092	828,009	16,083	912,854	-68,762	771,324	75,15
128755	1335,304	1252,629	82,675	1202,978	132,326	1287,892	47,086
129020	738,764	736,008	2,756	707,595	31,169	707,595	31,169
129129	1403,293	1443,708	-40,415	1450,573	-47,28	1401,512	0
CR FRENTE 1 (CRF1)							
REGISTRO		BITACORA		PLC		SINERGY	
Lote	Ingreso	Consumo	Diferencia	Consumo	Diferencia	Consumo	Diferencia
128296	925,034	854,8029	70,2311	1181138	-256,104	920,007	0
128447	950,474	553,3164	397,1576	489339	461,135	900,632	47,885
128526	865,392	805,1463	60,2457	713226	152,166	801,951	47,948
129328	904,847	833,5215	71,3255	858746	46,101	858,75	46,043
CR FRENTE 2 (CRF2)							
REGISTRO		BITACORA		PLC		SINERGY	
Lote	Ingreso	Consumo	Diferencia	Consumo	Diferencia	Consumo	Diferencia
125422	841,253	779,688	61,565	750696	90,557	826,51	14,927

128621	977,891	969,612	8,279	955462	22,429	947,348	17,869
128701	1054,135	1014,594	39,541	1283854	-229,719	1040,13	10,6
128845	909,901	899,64	10,261	597213	312,688	816,053	98,469
129137	868,675	829,668	39,007	836074	32,601	831,083	38,394

Anexos (A) donde la diferencia señalada en roja es una descompensación de fórmula de pasta, los valores señalados con (-) indica que hubo un consumo de más, es decir se consumió más material en menos tiempo, desajustando así mismo el inventario. Los valores positivos (+) indican que se consumió menos de lo que debía dejando material perdido. De este diagnóstico preliminar se evidencia el desperdicio en patios de materia prima.

Para evitar la descompensación de fórmula de pasta y el desperdicio, se realizó control a los lotes, de la siguiente manera

**Verificación de actividades:** se verifico que las actividades establecidas se cumplieran, se reforzo con capacitaciones (carpamiento, muestreo, manejo de muestra, toma de humedades, etc.) hacia los operarios para seguir acorde el instructivo de las técnicas de manejo de patio, para mitigar desperdicio y alteraciones en el proceso que afecten la pieza.

**Muestreo:** se realizó los muestreo correspondientes de consumo, que correspondan a los cargues del turno del operario, para que el sistema(PLC) registre el consumo en tiempo real, para materiales no arcillosos como caliza feldespato, rotura cocida, siendo materiales a granel y de mayor variedad de humedad y lotes de poco cambio debido a su baja participación en la fórmula de pasta cerámica, se implementó el muestreo por "ladrón" consiste en extraer la muestra a través de un tubo véase en la ilustración 4. Donde este saque desde la capa interior y superficial para hacer una estimación adecuada de la humedad y no se presenten variaciones y desperdicios de material.



Ilustración 4 "Ladrón" de materia prima a granel no arcillosa

**Niveles de consumo:** para los lotes de rápido consumo como lo son las arcillas se tomó niveles iniciales (sección de patio vacío) y niveles finales (después del consumo de material), de manera que el nivel se mantuviese fijo, es decir, si el nivel aumentaba indica que se hubo un consumo de más que no es de material arcilloso, es de material

desconocido (suelo), y viceversa cuando marca menos indica que hay material compacto que se está desaprovechando.

Con estos controles implementados se verifica que la fórmula para pasta cerámica no sea descompensada, y las características de la molienda se encuentren dentro de los parámetros estándar, para que no presente variaciones en los parámetros de control de cada molino.

### **Seguimiento preliminar de las condiciones de operación en la molienda (tiempo, proporciones de cargue)**

Con el fin de obtener un diagnóstico de la productividad y eficiencia del proceso de molienda con respecto a la barbotina fabricada y los parámetros de calidad establecidos, se realizó un seguimiento preliminar a los aspectos que involucran el cargue de material por parte de los técnicos de molinos, observando atentamente características como: tiempos de cargue, secuencia de cargue de materias primas, defloculante y agua. En consecuencia, dicho seguimiento fue respaldado con la información obtenida post-molienda, teniendo en cuenta los parámetros de calidad (viscosidad, densidad y residuo), con el fin de vislumbrar eventualmente las posibles causas de problemas en calidad de la barbotina y, posibles causas de problemas en la operación de la molienda misma (aglomeraciones).

En principio el protocolo de cargue del material al molino está sujeto principalmente al criterio del técnico encargado de hacer el cargue, además de una que otra recomendación en los procedimientos. No se especifica, ni se limita de forma concreta la metodología de cargue. En consecuencia, a pesar de que en las metodologías del proceso de molienda se especifica las proporciones de cargue (materia prima, agua y defloculante) así como el tiempo de molienda, mediante el seguimiento en la metodología de cargue se pudo observar que:

- Los técnicos asignan el tiempo de molienda según la trazabilidad del comportamiento del residuo del molino a cargar. Para una cantidad de 21 Toneladas de materia prima cargada el tiempo varía de 1 h con 55 min, hasta 2 horas con 20 minutos dependiendo de factores como la cantidad de bolas en el molino, revoluciones por minuto (RPM) y el mismo criterio del técnico sujeto a su experiencia.
- Al igual que el tiempo, la cantidad de agua está condicionada por la trazabilidad del

comportamiento de la barbotina, para este caso se tiene en cuenta la densidad de la barbotina. Para 21 toneladas de material cargado la cantidad de agua.

- La cantidad de defloculante cargado al molino se programa por medio de un sistema de suministro controlado remotamente. En este sentido los técnicos son responsables únicamente de la forma en la que se distribuye o suministra el defloculante al molino. Cabe resaltar que la cantidad de defloculante repercute de forma directa

### **Seguimiento preliminar de las condiciones de la barbotina para la molienda (viscosidad, densidad, residuo).**

Con el propósito de conocer el proceso de molienda y sus parámetros de control (establecidos por el sistema de gestión de calidad interno de la empresa) se realiza un diagnóstico preliminar realizando las mediciones del parámetro de viscosidad en caída libre, la densidad de la barbotina y el residuo de gruesos presentes en esta, los Gráfico 7, Gráfico 8, Gráfico 9 representan el comportamiento de las condiciones por cada molino, en el histograma se evidencia si la molienda está en el rango óptimo de la variable entre su límite inferior y superior.

### **Viscosidad**

Con el fin de parametrizar las condiciones reológicas de la barbotina, se realizó la medición de un parámetro de viscosidad utilizado ampliamente en la industria de coloides y suspensiones, que consiste en medir el tiempo (s) de caída libre de la barbotina, cual está contenida (100mL) en un recipiente de medición, mejor conocido como *Copa Ford*, el cual tiene dimensiones específicas y en su parte inferior contiene un agujero de 4mm de diámetro por donde se drena la barbotina hasta que el hilo de representa el flujo constante de la barbotina empiece a ser intermitente. La medición se hizo por triplicado para cada molino y los valores reportados son la media de cada medición como se evidencia en la Gráfico 7

### **Residuo**

Para la medición del residuo se toma una muestra de 100 mL de barbotina de cada molino y se tamiza en malla 230 con ayuda de agua hasta que el agua puesta en contacto con sólidos retenidos en la malla, no se tiña por efecto de estos. Cuidadosamente se traslada los sólidos retenidos a un crisol donde posteriormente se pondrán a secar por alrededor de 20 min. Una vez secado el retenido se pesan dichos sólidos junto con el crisol en una balanza digital (0,01 gr de error), se tara la balanza con el peso arrojado y se retira el crisol

que contiene los sólidos, estos se desechan cuidadosamente en los recipientes adecuados y se limpia el crisol rigurosamente, se coloca nuevamente en la balanza y el valor arrojado por esta será (por diferencia de pesos) el peso en gramos de residuo de la barbotina. Esta medición se realiza por triplicado durante 15 días. Reportando en la Gráfico 8 la media de los valores para cada molino.

### **Densidad**

se toma una muestra de 1 L de barbotina de cada molino se homogeniza rigurosamente por durante 2 minutos y se procede a llenar el picnómetro de 200 g de peso y 100 mL de volumen, previamente tarado en la balanza digital. Una vez lleno y debidamente tapado el picnómetro se lava cuidadosamente su superficie externa con el fin de limpiar los rastros de barbotina que pudieran afectar el peso de esta. Se pesa el picnómetro limpio y seco y el valor que arroje la balanza digital será el peso de 100 mL de barbotina. La densidad (g/L) de la barbotina será el cociente entre el peso en gramos de la barbotina y 0,1L, correspondiente al volumen del picnómetro en litros. en la Gráfico 9 se reporta el comportamiento diagnóstico.

### **Control y verificación detallada a los cargues de molienda junto con sus aditivos.**

Con el propósito de estudiar a fondo la influencia de la molienda en la calidad de la barbotina, se realizó el seguimiento de la molienda en cada molino, tomando atenta nota de todos los factores que influyen en el proceso.

**NOTA:** Debido a algunos problemas en el proceso de molienda donde se generaban aglomeraciones, las cuales alteraban la calidad de la barbotina; se planteó enfocar esta parte del estudio en dar solución a dicho problema, con el fin de optimizar la producción del proceso y en consecuencia de la calidad de la barbotina, ya que esto último es de principal interés para este proyecto, debido a que influye en el proceso subsiguiente: Atomización, proceso en el que se centra el estudio.

Para dar solución inmediata a los problemas de generación de aglomeraciones se planteó probar el comportamiento de la molienda agregando 3 diferentes aditivos (Tripolifosfato (TPF), Texilan y Reovis)

# molino	Cant. Agua(Lts)	Defloc/Adit (Kg)	Ton. MP
5	9900	83/5	21
2	10000	83/5	21
4	9900	83/5	21
1	9900	83/5	21
3	9700	83/5	21
5	10000	83/5	21
2	9900	83/5	21
1	9900	83/5	21

Tabla 1 *Parámetros que se especifican a priori en el proceso de molienda.*

En la Tabla 1 Se presentan un ejemplo de las distintas configuraciones de la molienda. Determinando como variables independientes: la cantidad de materia prima (MP) cargada (Toneladas), el número de molino, cantidad de defloculante (Kg) y cantidad de agua (L). debido a que el comportamiento reológico de la barbotina está fuertemente influenciado por el defloculante y el aditivo se diseña una columna donde se representa la proporción de ambo como una relación (Defloc/Adit).

**Control y verificación de las condiciones de la barbotina para la molienda de cada configuración de cargue (viscosidad, densidad, residuo).**

Dentro de las condiciones reológicas se midieron: el parámetro de viscosidad en caída libre con la copa Ford y los grados Gallenkamp en un viscosímetro de esta escala de medición. En esta última medición es indispensable la toma de 3 medidas, debido a que estas representan el comportamiento tixotrópico de la barbotina en un estado estático a lo largo del tiempo. Además, se determinó el porcentaje de solido seco de la barbotina (SS).

molino	Cant. Agua	Desflo/Adit	Ton. MP	SS	7/11/2019						
					DENSIDAD	RESIDUO	VISCOSIDAD	Gallenkamp			AGLOMERACION
								1	2	3	
1	10300	75/6	20	63,92	1678	10,5	16,3	346	339	335	SI
2	10300	65/7	20		1689	10,7	17	341	334	327	SI
3	10100	75/5	20		1671	10	16,11	345	338	334	NO
5	10100	75/5	20	64,4	1682	9,8	18,45	334	324	314	NO
4	10300	70/7	20	63,77	1679	10,7	16,36	435	345	345	SI
1	10500	70/7	20	64,23	1684	10,6	16,58	342	337	332	NO

Tabla 2 *Datos recopilados del seguimiento al proceso de molienda agregando Reovis como aditivo.*

molino	Cant. Agua	Desflo/Adit	Ton. MP	SS	DENSIDAD	8/11/2019		Gallenkamp			AGLOMERACION	TEXILAN
						RESIDUO	VISCOCIDAD	1	2	3		
2	10300	70/5	20		1678	9,2	16,43	342	340	340		SI
3	10500	70/7	20	63,41	1681	10,5	16	348	347	345		NO
1	10400	70/5	20	64,62	1683	10,4	16,36	344	341	339		SI
1	10700	70/5	20	63,32	1678	10,2	15	346	345	345		SI
2	10500	70/5	20	64,7	1683	10,8	15	342	340	338		SI
4	10400	75/5	20	63,52	1687	10,5	15	347	347	347		NO
3	10500	65/4	20	63,95	1683	10,1	16,04	342	338	334		NO
4	10600	70/5	20		1683	10,3	15	347	347	347		NO

Tabla 3 Datos recopilados del seguimiento al proceso de molienda agregando Texilan como aditivo.

molino	Cant. Agua	Desflo/Adit	Ton. MP	SS	DENSIDAD	13/11/2019		VISCOCIDAD	Gallenkamp			AGLOMERACION
						R325	RESIDUO		1	2	3	
2	10600	70/2	20	63,34	1681	9,2	15,3	16	342	339	337	SI
5	10600	70/2	20	64,29	1678	10,5	16,6	17,38	334	327	321	NO
3	10600	70/2	20	-	1670	10,4		15	345	345	345	SI
1	10600	70/2	20	64,13	1683	10,2	17	19,52	318	293	282	NO
2	10600	65/3	20	64,59	1685	10,8		18	343	334	326	NO
1	10600	70/2	20	63,74		10,5	16,9		342	331	328	NO
4	10400	70/2	20	64,11	1683	10,1	17,2	17	339	331	323	SI
2	10600	70/2	20	64,23		10,3	15,8		341	332	326	SI

Tabla 4 Datos recopilados del seguimiento al proceso de molienda agregando TPF como aditivo.

Se recolecto datos diarios por cada molino producido en el día se halló cada una de las variables evidenciadas en la Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4. Para hacer un estimado del comportamiento con cada uno de los aditivos utilizados, verificando, presencia de aglomeraciones, además de la dispersión de datos, su comportamiento reológico.

**Molienda a escala laboratorio para la determinación de características de cargue que puedan influir de forma significativa en la calidad de la barbotina.**

Luego de haber realizado el seguimiento al proceso de molienda en la planta de producción se vislumbraron varios factores que podrían influir de forma significativa en la formación de aglomeraciones y así mismo en la calidad de la barbotina; por ello se procedió a realizar moliendas a diferentes configuraciones de cargue tales como indica la Tabla 5, aplicando como aditivo el TPF.

AGLOMERACIÓN	MOLINO	AGUA	DESFLUC.	TPF	DENSIDAD	VISCOCIDAD	VIS (Cp)	Torque	Temp.
NO	1 (134/0)	248 M.	3,2	--	1687	17	118,5 127 133	23,7 25,4 26,6	35,9 35,7 35,6
NO	2 (70/4)	248 M.	1,67	0,096	1695	18	193,5 271	48,7 54,2	35 35,2
SI	3 (70/0)	248 A.	1,67	--	1697	--	2790 3920	27,9 39,2	36,1 35,5
NO	4 (70/0)	248 M.	1,67	--	1690	18	223 356	44,5 71,2	34,8 34,6
NO	5 (134/4)	248 M.	3,2	0,096	1680	18	107 108	21,4 21,4	35,3 35,1
SI	6 (60/0)	248 A.	1,43	--	--	--	3270	32,7	35,3
NO	7 (60/0)	248 M.	1,43	--	1694	22	790 1088	39,5 54,4	35 34,7
SI	8 (60/4)	248 A.	1,43	0,096	1686	--	740 1830	7,4 18,3	34,4 34,1
NO	9 (90/0)	248 M.	2,14	--	1683	17	131,5 146 155	26,3 29,2 31	35,7 34,8 34,7
SI	10 (90/0)	248 A.	2,14	--	1684	--	790 1930	6,9 19,2	34,2 34
NO	11 (70/0)	248 M.	1,67	--	1692	26	352 616	17,6 30,8	35,7 35,4
NO	12 (90/4)	248 M.	2,14	0,096	1676	16	103 128,5 147	20,6 25,7 29,5	35,6 35,3 34,9
NO	13 ( 97/0)	248 A+Cal	2,32	--	1688	28	734 1064	36,7 50,2	37,4 60
NO	14(85/0)	248 M	2,02	--	1686	17	190 283	39,5 56,6	33,9 33,6
NO	15(85/0)	248 M	2,02	--	1686	17	164 213	32,9 42,6	31,8 31,3

Tabla 5 Datos de los molinos realizados a nivel de laboratorio.

Los colores representan la aptitud del proceso donde verde, es una molienda sobresaliente (sin aglomeración y con buen comportamiento reológico), el azul es una molienda aceptable (sin aglomeración, pero con preocupante comportamiento reológico) y el rojo es una molienda deficiente (con aglomeración y con preocupante comportamiento reológico). La viscosidad se midió con ayuda del viscosímetro Brookfield, tomando tres valores, tal y como se realizó anteriormente con el viscosímetro graduado en escala Gallenkamp. La cantidad de agua (g) y de defloculante (g) es una interpolación de la carga que se realiza a nivel industrial, llevándolo a escala laboratorio. Las letras junto a la cantidad de agua representan el origen de esta (M: tanque de molinos; A: tanque de Abatidor)

**Toma de condiciones de las cisternas de almacenamiento, pretamizado.**

Con el propósito de garantizar la calidad de la barbotina desde que sale del molino hasta

que se inyecta al atomizador, se realizan las mediciones de las condiciones de la barbotina desde el momento en que se destapa el molino hasta las cisternas que sirven de alimentación al atomizador y en los subprocesos intermedios.

Teniendo en cuenta los procedimientos establecidos por el sistema de gestión de calidad interna de la empresa, se realizan las mediciones de las condiciones de los molinos y las cisternas en donde estos descargan, según corresponda. Los molinos 4 y 5 descargan en las cisternas 5 y 6 por temas de distribución espacial de equipos y tuberías en la planta. Cada medición de las 3 condiciones se hace por triplicado en diferente tiempo en el día correspondiente a las pruebas (A, B, C) en inicio, medio y fin de turno laboral respectivamente.

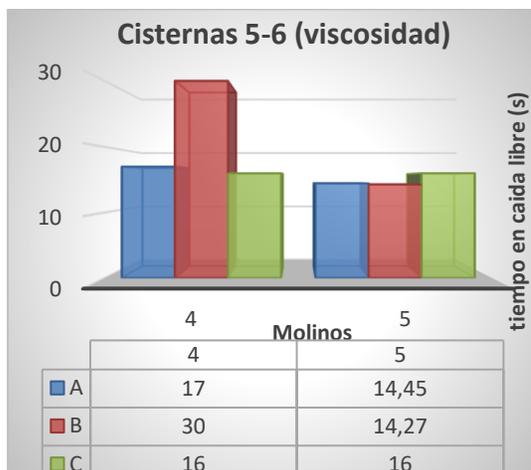


Ilustración 5 Grafica que representa las condiciones de viscosidad de los molinos descargados en las cisternas 5 y 6.

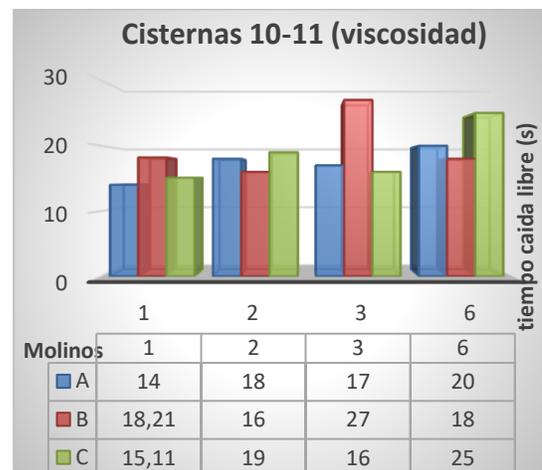


Ilustración 6 Grafica que representa las condiciones de viscosidad de los molinos descargados en las cisternas 10 y 11.

En concordancia con lo descrito en el párrafo anterior, cabe resaltar que los molinos 1,2,3 y 6 descargan en las cisternas 10 y 11.



Ilustración 7 Grafica que representa las condiciones de residuo de los molinos descargados en las cisternas 5 y 6.

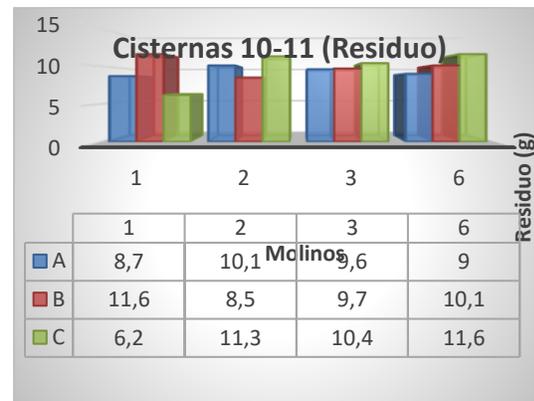


Ilustración 8 Grafica que representa las condiciones de residuo de los molinos descargados en las cisternas 10 y 11.

**Toma de condiciones de barbotina que entra y sale del proceso de tamizado**

Se realizo seguimiento de transporte de barbotina, la cual después de ser descargada en las cisternas de almacenamiento, se pasan por vibro tamiz para eliminar impurezas y trazos de residuo fuera de la norma establecida por empresa.

	ENTRADA VT			SALIDA VT	
Solido Secos (%)	63,8	Gallenkamp	Solido Secos (%)	63,6	Gallenkamp
Densid. (g/cm^3)	1680	340	Densid. (g/cm^3)	1679	342
Viscosidad (seg)	16,7	332	Viscosidad (seg)	16,18	337
Residuo (g)	9,6	328	Residuo (g)	8,8	334

Tabla 6 Condiciones de la barbotina que entra y sale de vibrotamices.

Se toman condiciones a la entrada y salida del vibro tamiz, para realizar el diagnostico de variación, entre las condiciones de la barbotina, determinando a su vez el rechazo generado, cuantificando la perdida de material que puede verse afectado por diversos factores como son la descompensación de fórmula de pasta en los materiales no plásticos que no se disuelven el agua, o por condiciones de molienda.

Se toma esta condición a diario, 2 veces en un turno normal (9h), para realizar la trazabilidad del comportamiento de la barbotina según las características expuestas de las cantidades tipo de ingreso a molino. La pérdida de material de material se cuantifico mediante balance de masa (Entra – Sale = Acumula), además se verifico por medio de niveles de cisterna, es decir, en un determinado tiempo cuanto baja el nivel de barbotina en una cisterna de almacenamiento, post-molienda, y viceversa cuanto aumenta el nivel en una cisterna de almacenamiento de barbotina tamizada.

**Análisis del proceso de secado por atomización para la producción de pasta cerámica.**

La manera más precisa de determinar a variaciones que presenta el equipo es conocerlo de manera teórica y práctica por ello se realiza el estudio de cada uno de los controles que se deben hacer para el funcionamiento y cada uno de los parámetros medibles de forma dependiente (granulometría, humedad) e independiente (diámetro por boquilla, cantidad de lanzas, presión y apertura de compuertas) para la regulación de la producción y hacer clasificación de cómo se manejó para mayores eficiencias de pasta cerámica.

Con el seguimiento de manejo del atomizador realizado por los operarios autorizados, modificando parámetros se conocen las variables del proceso y de qué manera afectan la pasta atomizada (ver

*Tabla 7 Variables del proceso de secador por atomización)*

PARAMETRO	TAMAÑO DE PARTICULA	HUMEDAD	PASTA PRODUCIDA
 Diámetro de boquillas			
 Distribución de boquilla por lanza			
 Cantidad de aire en el proceso			
 Temperatura de entrada			

	Temperatura de salida			
	Presión de bombeo			
	%Agua en la Barbotina			
	Densidad de la barbotina			
	Viscosidad de la barbotina			
	Número de boquillas			

*Tabla 7 Variables del proceso de secador por atomización*

la pasta cerámica se ve afectada por muchas variables de entrada al proceso, sin embargo, los parámetros que determinan la aptitud del proceso es la granulometría y humedad por ello, a la pasta cerámica atomizada se le hace seguimiento de estos dos parámetros. Para definir el comportamiento, se realizó el seguimiento a la pasta cerámica desde la salida del atomizador, su transporte en bandas y cangilones, almacenamiento en silos, y llegada a prensa.

**Realizar el estudio de las variables del proceso que afectan de forma directa e indirecta la producción de la pasta cerámica, en función del tiempo y/o en función de las otras variables del proceso según corresponda (granulometría, humedad y distribución de lanza)**

Como se esclarece en el inciso 0 el ATE 90 se ve afectado por diversas variables, las cuales afecta la pasta cerámica, por ello se implementa un rango de trabajo de las variables que afectan de forma directa el proceso tales como, la presión de bombeo, la cantidad suministrada de aire caliente por aperturas de compuerta, la temperatura de entrada del aire caliente, la distribución de toberas y el número de toberas de nebulización habilitadas para ello, el diámetro de las boquillas; así respectivamente se define un rango de operación del atomizador según los requerimientos de producción. Teniendo en cuenta las

intermitencias del equipo por factores externos (mantenimiento, lavado, alto inventario). Cuando se presentan las situaciones mencionadas el equipo queda inactivo, por ello cuando se retoma la producción debe regularse de manera más eficaz y rápida, para mitigar desperdicio del semielaborado, por ello cuando entra a producción después de estar inactivo, se inicia con 6-7 lanzas, dos bombas de émbolos (PPB) a presión entre 20-21 bar. Compuertas con menos (%) de apertura, por debajo de 76%, para menos succión y poder mantener la granulometría y humedad en norma.

Además de la evaluación de la granulometría y humedad en el periodo de producción durante un cambio de boquillas, a mitad de desgaste y final de horas de las boquillas, lo primordial es la producción, satisfacer la necesidad del inventario de consumo por los sistemas de alimentación a prensado. Por ello se analiza el flujo masico de polvo atomizado.

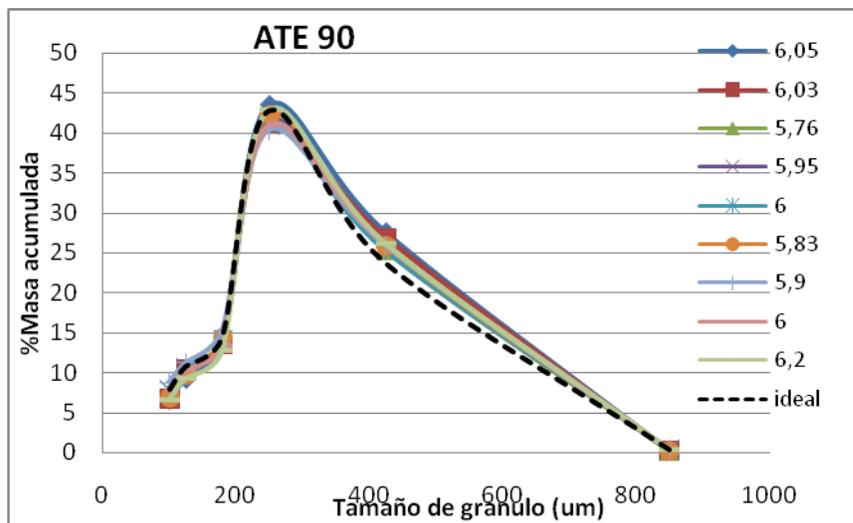


Gráfico 1 Comportamiento pasta atomizada del ATE90, según su tamaño de partícula a diferente humedad.

**Incidencia de la presión de entrada de barbotina en la producción de pasta cerámica atomizada.**

se toma en cuenta el ciclo de 90 horas de producción para el cambio de boquillas, el cambio se realiza mientras el equipo sigue operando, es decir, se modifican parámetros de bombeo y temperatura debido a que, baja la producción. El cambio de boquillas y realiza cada 90 horas debido a que las placas de boquilla tienden a desgastarse aumentando el

área de trabajo por boquilla, generando aliteración en las condiciones de la pasta (granulometría, humedad) y el flujo de producción.

Con el propósito de registrar el desgaste por boquilla, se realizaron mediciones del área de trabajo de estas, en diferentes tiempos, dos mediciones en el turno, diariamente hasta culminar el ciclo de 90 horas, se remueve una lanza con dos toberas, con boquillas de 3,5mm y 4,0mm. Se registra su diámetro con un pie de rey y el área de trabajo por boquilla para estimar el flujo de pasta producido por boquilla.

ATE 90 BOQUILLA	
DIAMETRO	AREA
mm	mm <sup>2</sup>
3,45	9,35
3,50	9,62
3,55	9,90
3,60	10,18
3,65	10,46
3,70	10,75
4,00	12,57
4,05	12,88
4,10	13,20
4,15	13,53
4,20	13,85
4,25	14,19

Tabla 8 Área de trabajo de boquillas de 3,5mm y 4mm para un ciclo de trabajo de 90 horas

Cuando la barbotina esta con condiciones óptimas al ingreso del atomizador, se bombea a 22,3 bar para 11 lanzas que generan un flujo masico de 17 Ton/h, cuando se remueve una lanza, se genera mayor caudal para las demás lanzas, descontrolando la granulometría, arrojando mayor tamaño de granulo, ósea mayor humedad, lo que indica que se presentan derrumbes de pasta cerámica aglomerada, que al pasar por el vibro tamiz, será rechazo (perdida de semielaborado).

#### **Incidencias de la distribución de inyección de barbotina en la cámara de secado del atomizador, para la producción de pasta cerámica**

La característica que establece la corriente de aire caliente, es una pasta seca, debido a que, a mayor calor, que entre en contacto con la suspensión en aspersion, con el mismo tiempo de residencia efectuara una evaporación más rápida de agua, es decir, el mismo ciclo de secado a mayor temperatura, removerá más agua dejando la pasta cerámica seca,

sin embargo, si se aumenta el área de trabajo en la cámara de secado (aumentando barbotina) se compensa el aumento de parámetro, y se aumenta el flujo masico de pasta, produciendo mayor cantidad para abastecer en inventario de pasta a la planta.

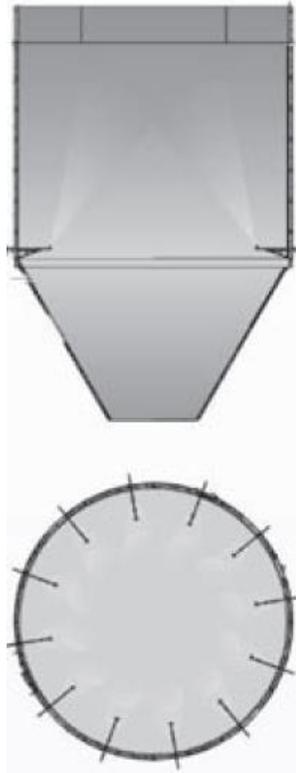


Ilustración 9 *Diseño de distribución de atomización por lanzas.*

Los parámetros de manejo del atomizador es la temperatura de entrada , la cual es una variable a regular por medio de ventiladores y compuertas, reguladoras de la depresión del equipo, al igual que el ingreso de la barbotina que entra a una presión estimada para que sus gotas al entrar en contacto con la corriente de aire caliente se determine de un tamaño en su mayoría entre 250-425  $\mu\text{m}$ , por ello se analiza las toberas y su selección de diámetro de boquillas nebulizadoras, en la Ilustración 9 *Diseño de distribución de atomización por lanzas.* Ilustración 9 se evidencia que lanzas son individuales en estas se puede montar uno o más toberas nebulizadoras, de manera que se puede aumentar el caudal de barbotina, para aumentar la producción, también van generando cambios notables en la humedad y la granulometría, por el método de análisis de sensibilidad se realizó estimaciones de trabajo del equipo, analizando el cambio de una variable con

respecto a otra manipulada (ej. flujo de producción contra abertura de válvula); y se logró establecer los rangos óptimos de trabajo implementando un trabajo de aumento de capacidad de proceso. En el anexo C se evidencia el contraste entre la distribución anterior y la implementación por el análisis de sensibilidad.

### **Análisis de flujo masico según el tiempo de producción, dentro de las 90 horas de boquillas de producción de polvo cerámico.**

Para la determinación de los flujos masicos, se realiza las mediciones directamente desde el cono de salida del atomizador. Por medio de un técnico autorizado y certificado para el uso de un montacarga, al montacarga se le instalo con un big bag, y se posiciona debajo de la boca de atomizador, en el instante que se ingrese el big bag, a él el flujo masico de polvo cerámico, se contabiliza el tiempo en 2 min, cuando trascurra el tiempo, se retira y se pesa, se descuenta el peso del big bag, ese es el flujo masico de la salida del polvo atomizado. Mientras el diámetro de boquilla aumenta, también su producción, por tanto, mientras aumenta el tiempo, aumenta su flujo masico. Con el fin de registrar datos más exactos de producción en el atomizador se realizaron las mediciones de flujo en los ciclones de finos del atomizador.

Se realizo el ensayo durante el ciclo de 90 hrs, en tiempo (0, 24, 48, 70), se comparó la implementación de operatividad con la trazabilidad de granulometría, humedad y producción, registrada antes del ensayo. Además, para verificar cambios significativos se tomó el mismo registro suspendiendo la metodología operación a alta producción, para verificar el cambio presente durante el ensayo, ver análisis Gráfico 32 en anexo (C)

### **Trasporte y almacenamiento**

Se realizo un seguimiento a la pasta desde cuando sale del atomizador hasta cuando llega a las prensas, es decir directamente de la salida del ATE 90 (A), luego de la banda que presentas fino sin tamizarse (B), seguidamente en la banda tamizada que se dirige a los silos (D), se toma un muestra del silo que esté cumpliendo la función de cargue y descargue al mismo tiempo, que solo se esté llenando con la pasta de ATE 90 que fue el silo 15, entonces la muestra del silo 15 (D), la cual se dirigió a prensas con el sistema uno también se analizó (E).

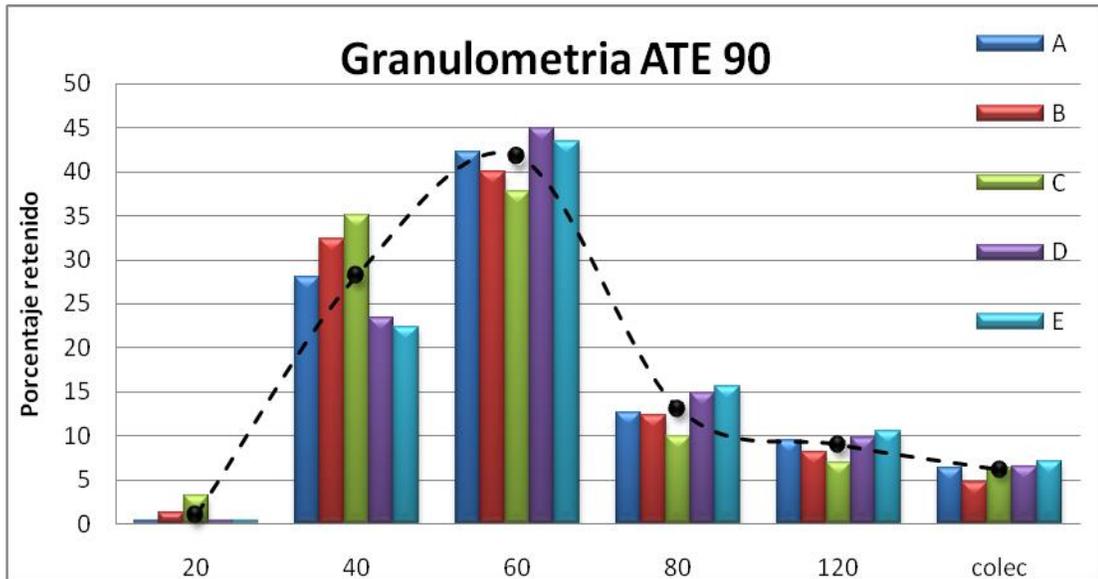


Gráfico 2 Comportamiento granulométrico durante el traslado a prensa

Una vez obtenida todas las muestra de pasta se procede a hacer el análisis granulométrico, que consiste en la torre de tamices *Tyler*, que se ubica sobre la balanza y se pesan 100 gramos de la muestra, para trabajar en base 100% los retenidos que estén en las mallas, una vez pesada la muestra se lleva a el equipo rotador (*ROTAP*) sobre su eje X, y Y, además se deja 180 revoluciones por minuto, luego se va pesando el residuo por malla y analizando el % de masa retenido por el tamaño de partícula para cada malla de partícula se lee según las micras del tamiz expuestos en la Tabla 9. Esto se realizó para cada una de las muestras descritas anteriormente, previamente al procedimiento se tomaron las humedades de cada uno de estos en la balanza termogravimétrica (*Moisture Analyzer*).

Abertura(μm)	MallaTylers
850	20
425	40
250	60
180	80
125	12
100	colc

Tabla 9 Escala de tamices estándar *Tyler*, para el rotap.

### **Análisis de propiedades (contracción, punto de quiebre y absorción) de las piezas prensada a diferentes humedades y granulometrías.**

Las propiedades físico cerámicas, están directamente ligadas a la granulometría y humedad, debido que los gránulos deben llenar una cavidad (molde) al momento de ser prensado, teniendo en cuenta una humedad en un rango cerrado de variabilidad para el momento de aplicar la fuerza para compactar, el bizcocho no se reduzca (perdida por contracción) o se expanda, por ello es esencial, mantener las variables en norma, para que las piezas cerámicas sean uniformes.

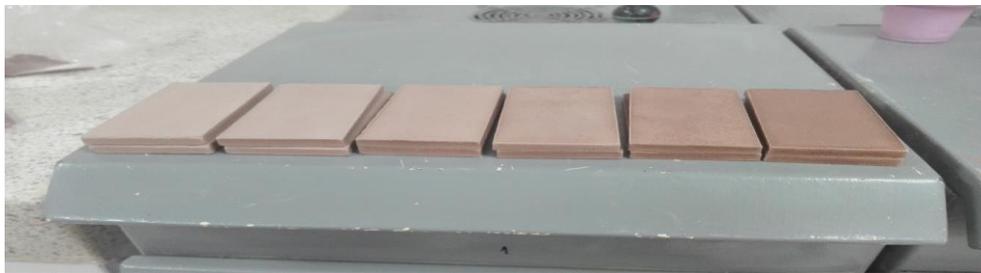


Ilustración 10 Probetas cerámicas con humedad ascendente de izquierda a derecha

Por ello se realizó el análisis físico cerámico a diferentes granulometrías y humedades para verificar como afectan a las propiedades mecánicas (resistencia mecánica, contracción, absorción, calcinación) de la pieza conformada, realizando baldosas prensada a 250 bar a escala de laboratorio con una humedad residual entre 4-9% y un tamaño de gránulo entre 100-900  $\mu\text{m}$ , en la Ilustración 10 se evidencia en la tonalidad la humedad, además se aprecia que entre más tono oscuro, menor tamaño, es decir mayor compactación.

### **Análisis de posibles factores de desperdicio de pasta**

A medida que se desarrolló los incisos anteriores descritos, en cada uno de los tres procesos, Alistamiento de materias primas, molienda y atomización de evidencia una pérdida de material en cada uno de estos, donde para continuar con el proceso de estandarizar el atomizador, se señalan y se cuantifican la perdía de material debido a que

está perdida genera desbalance en el proceso.

**Focos de desperdicio en Patios de almacenamiento:** se registra que las pérdidas de material pasan por descuidos de descargue, transporte a tolva bascula, por factores ambientales como cambio climático, debido a que cuando llueve se moja material el cual no se recupera al 100%. cuando hay tiempo soleado acompañado de viento, el material se dispersa ocasionando perdida por dicho arrastre de las corrientes de aire. Otro factor es el muestreo de forma correcta, también influye la toma de humedad que indica la descompensación de formulación de pasta cerámica.

En el anexo A se evidencia el desperdicio presente en patios de materia prima y como se mitigo con la intervención del trabajo para optimizar la molienda y la calidad de la barbotina de forma controlada para la entrada del atomizador.

**Focos de desperdicio molienda:** debido a el transporte entre mangueras y tuberías se presenta desperdicio por derrames, por malas condiciones de molino, rechazo de tamizado de barbotina. En el anexo A se presenta la cuantificación de pérdidas de semielaborado por proceso de molienda.

**Focos de desperdicio Atomización:** El polvo cerámico tiende a ser liviano, y debe ser transportado por bandas y cangilones, sin embargo, el primer factor de desperdicio, presente es a la salida del atomizador. mientras se regula el equipo se presenta derrumbes es decir turrone de barbotina. Esta pasta recién producida cae entre bandas y se dirige a un vibro tamiz el cual presenta un flujo de rechazo, los demás factores son puntos de caída o desalineación entre bandas, además de transporte por cangilones para llegar al silo de almacenamiento, durante el trayecto se pierde polvo cerámico el cual se analizó y en su mayoría son un tamaño de granulo diminuto. en el anexo (A) se encuentra el factor de desperdicio, a partir de consumo por prensa.

# **Capítulo 3: Resultados y Análisis**

## **PATIOS DE ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA**

**Seguimiento de lotes:** Para los materiales arcillosos (ver anexo A), debido a que se implementó capacitaciones de muestreo, se realizaron verificaciones actividades para el ingreso a la tolva bascula, llevando cierres de lotes a cero cuantificándolo por medio de toma de niveles para con el fin de mantener el inventario y se cumpla la cantidad correspondiente para cada cargue. Se logro llevar las plataformas de registro de información a tener la variación de datos. Estando al tanto de inicio y fin de consumo.

En las tablas 17, 18, y 19 del anexo A. se representan los porcentajes de desperdicio de las arcillas de mayor proporción en la fórmula de carga que maneja la empresa para la fabricación de baldosas cerámicas. Representan los porcentajes de desperdicio de las tres arcillas en un diagnostico preliminar para evidenciar el estado inicial del área, contrastando los datos de las tres fuentes (PLC, Bitácora, SYNERGY) de información de inventario (tabla 17); los porcentajes de desperdicio asociados a las tres arcillas una vez se implementó la metodología propuesta para el control y mitigación de desperdicio, utilizando el mismo formato de la tabla 17 para reportar la información (tabla 18); Y los costos asociados a los desperdicios de las tres arcillas, contrastando los costos asociados al diagnóstico preliminar realizado y los costos asociados al desperdicio en la implementación de la metodología de control y mitigación de desperdicio que se propuso (tabla 19). Dicho esto, se observa la reducción de los porcentajes de desperdicio de forma significativa una vez se implementó la metodología planteada en el proyecto y así mismo el impacto en los costos asociados a este rubro. Cabe resaltar que los porcentajes de desperdicio negativos que se registran en la tabla 18, se asocian al hecho de que el consumo fue mayor que el ingreso, es decir hubieron lotes en los que se consumió material de más con respecto a lo que se ingresó; Esta peculiaridad es consistente con el hecho de que en la toma de niveles se registró información que indicaba que los niveles de los patios bajaban entre los consumos de lotes, es decir, parte del suelo de los patios se consumió en el momento en que se realizaban las nivelaciones para la toma de niveles.

**Reporte de humedades:** para materiales no pastico, de poca participación en la formulación de pasta, debido a que se manejan a granel, se implementó el muestreo por inyección de “ladrón”, en los Gráfico 3Gráfico 4Gráfico 5se compara las humedades por muestreo selección de muestra con pala por parte del técnico operativo encargado (H.Tec)

vs la humedad tomada por muestreo con “ladrón” por parte del equipo encargado de probar la metodología (H.IQ) Se presenta la variación entre ambos métodos, pala y ladrón.

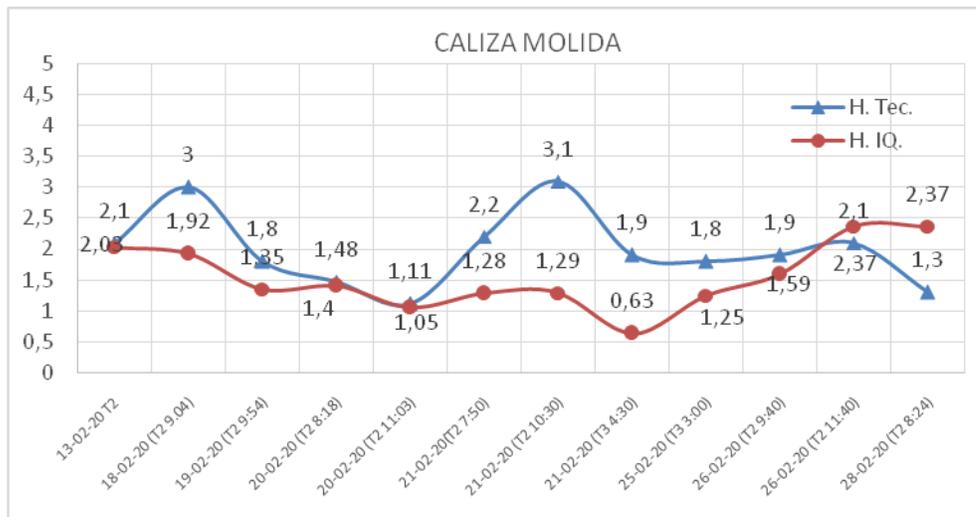


Gráfico 3 Variación con el tiempo de humedad de Caliza Molida. Método Pala (H.Tec) Vs Método ladrón (H.IQ)

En el Gráfico 3 se observó que los datos son dispersos en ambos casos, sin embargo se recalca que las muestras son tomadas en el mismo momento con diferentes métodos lo que debería indicar que hay similitud entre los puntos, lo cual se evidencia lo contrario, debido a que la caliza es un polvillo (tamaño de grano fino), y debido a esto el material es muy liviano, fácil de compactar, además que está expuesto a pérdidas por dispersión, por ello los técnicos de patios, rocían agua a la superficie con el fin de que no se disperse en el ambiente, sin embargo la capa superficial es más húmeda por ello con el método de pala se registró frecuencia que es más húmeda, mientras con el método de inyección de ladrón, abarca la capa superior, llega hasta un punto central de la pila. Siendo una humedad más representativa.

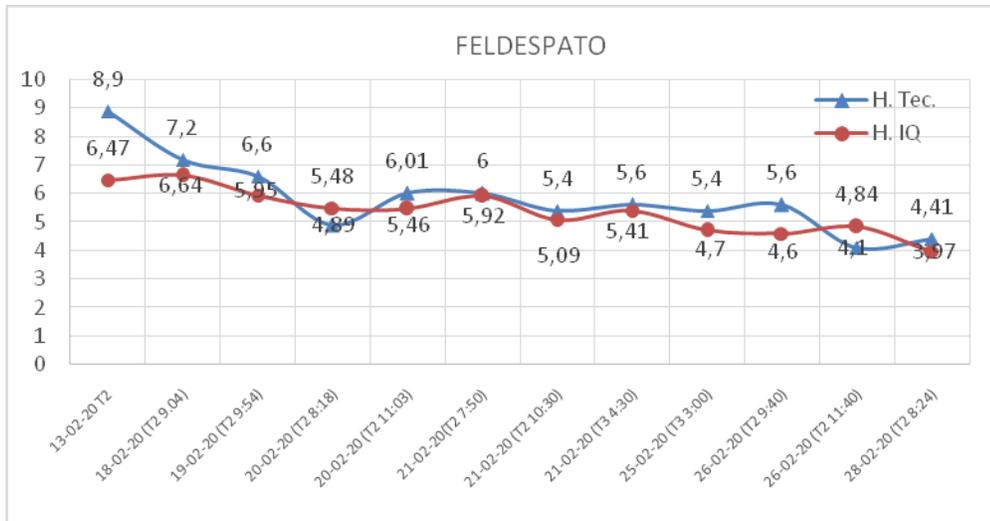


Gráfico 4 Variación con el tiempo de humedad del Feldespato. Método Pala (H.Tec) Vs Método ladrón (H.IQ)

El Gráfico 4 representa la variación de humedad del feldespato, recolectados por el mismo tiempo, pero por diferentes métodos, el feldespato es de tamaño de partícula más grueso, por ello no se presenta tanta variación entre los métodos, aunque según la aplicación es más práctico realizar el muestreo por inyección de ratón debido a que se distribuye menor la muestra, y se reduce el tiempo de muestreo, aprovechado para realizar a las demás materias primas que presenta la formulación de pasta

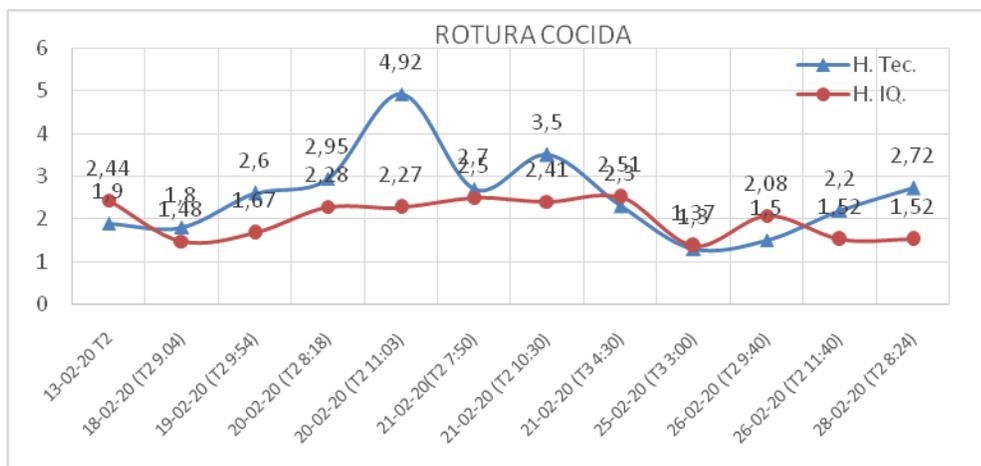
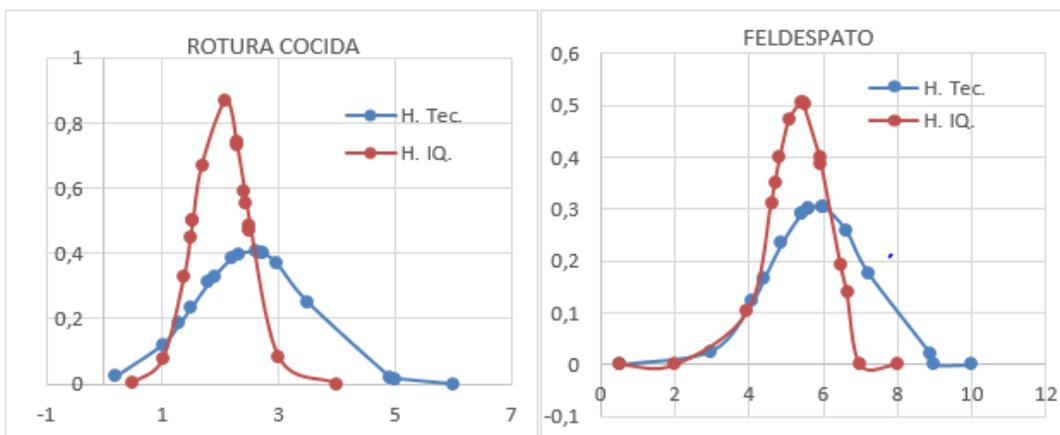


Gráfico 5 Variación con el tiempo de humedad de Rotura cocida. Método Pala (H.Tec) Vs Método ladrón (H.IQ)

La variación de la rotura cocida (material recuperado durante el proceso cerámico) se evidencia en el Gráfico 5. esta es sometida a un proceso previo de trituración, donde el tamaño de grano es pequeño, así que por mitigación de desperdicio también se rocía agua

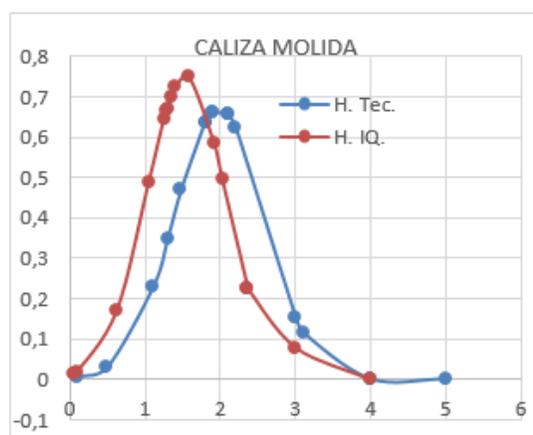
a el material para evitar la dispersión en el ambiente y por ello por método de pala presenta picos de humedad alta y baja, a diferencia que el ladrón es más constante.

Las muestras se tomaron diariamente, en cada turno se tomaron 3 muestreos en diferente horario, pero en cada muestra se hace con ambos métodos, con el fin de observar cómo varia la humedad con el tiempo de consumo, el los Gráfico 3, Gráfico 4, Gráfico 5 correspondientes a la variación de la humedad con el tiempo se destaca que con el método de ladrón la humedad se presenta ms uniforme a medida que avanza las jornadas, mientras en el muestreo por pala se presentan más irregularidades. Sé realiza la distribución de datos para verificación del comportamiento de la humedad por ambos métodos.



[A]

[B]



[C]

Gráfico 6 Distribución de Humedad evaluada por dos métodos, Método de Pala (H.TEC) vs Método de inyección de ladrón (H.IQ), [A] Distribución de Rotura Cocida, [B] Distribución de feldespatos y [C] Distribución de Caliza Molida.

La campana gauss referente a la metodología de inyección de ladrón, en las tres materias primas presentes en la formulación de pasta, es más cerrada, es decir los valores de la dispersión son más acotados por tanto la humedad se mantiene más controlada evitando que se descompense la formulación de pasta cerámica. Porque una lectura de humedad residual errónea se refleja en la cantidad que se deba cargar, en la tolva bascula y luego sea procesada en molienda se generara más reajuste de molienda por tanto se genera más rechazo (desperdicio).

	RCO TEC	RCO IQ	FS TEC	FS IQ	CLZ TEC	CLZ IQ
Promedio %(H)	2,533	2,004	5,843	5,378	1,983	1,544
Desviación	0,980	0,454	1,291	0,789	0,597	0,531
Coef. variación.	2,584	4,415	4,527	6,817	3,321	2,908

Tabla 10 Datos promedio, desviación y coef. de variación para materiales no plástico. rotura cocida, feldespatos y caliza, evaluados por el método de pala vs método de inyección de ladrón.

En la tabla 11 se presenta el coeficiente de variación de la rotura cocida (RCO), el feldespatos (FS) y la caliza (CLZ) donde el método ladrón se presenta con el indicativo (IQ) y el método de pala se clasifica con (TEC), se presenta que la desviación es menor en la técnica IQ lo cual la hace más confiable.

**PROCESO DE MOLIENDA**

**Revisión preliminar de parámetros de calidad**

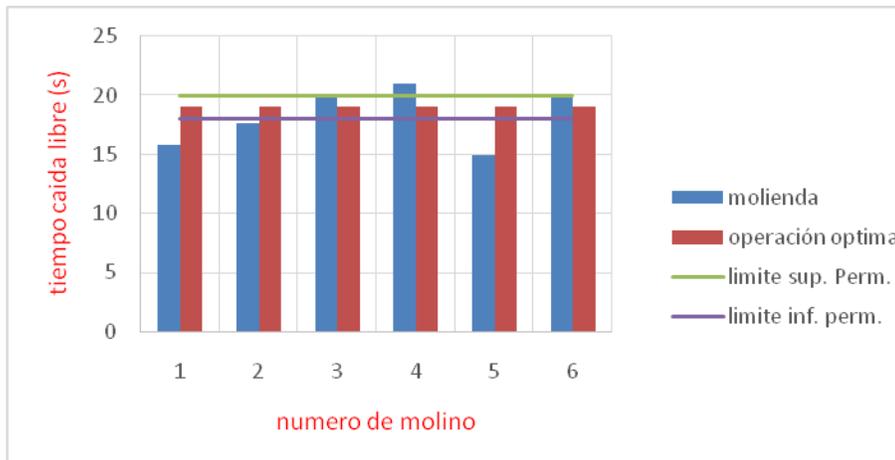


Gráfico 7 Representación del parámetro de viscosidad de la barbotina medido con el tiempo (s) en caída libre vs el número de molino. Se trazan los límites superior e inferior en la figura, establecidos por el sistema de gestión de calidad interno.

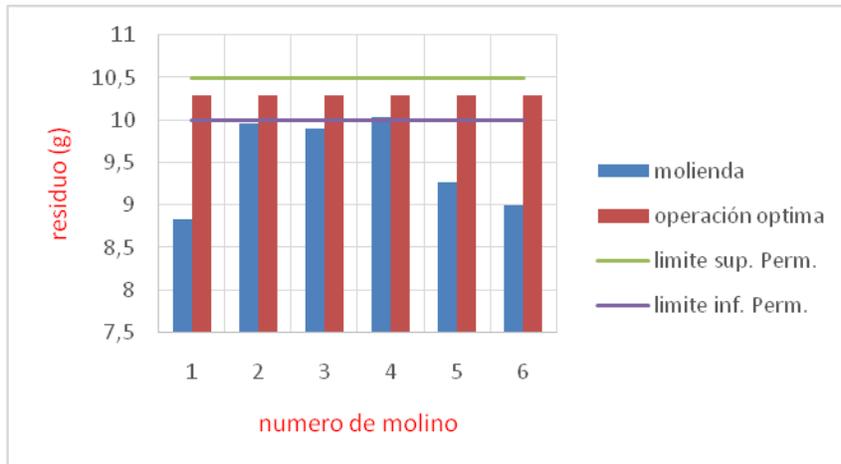


Gráfico 8 Representación del retenido en malla 230 de la barbotina vs el número de molino. Se trazan los límites superior e inferior en la figura, establecidos por el sistema de gestión de calidad interno de la empresa.

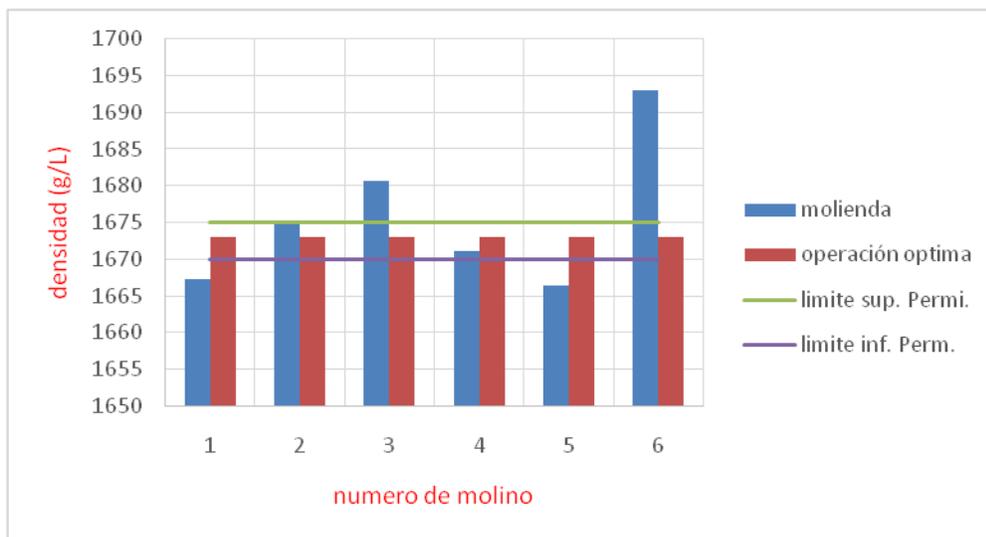


Gráfico 9 Grafica que representa la densidad en (g/L) de la barbotina vs el número del molino. Se trazan los límites superior e inferior en la figura, establecidos por el sistema de gestión de calidad interno de la empresa.

En los Gráfico 4, Gráfico 5 y Gráfico 6 se obtuvo datos a partir del seguimiento realizado al proceso de molienda, lo cual diagnostica el estado en el que se encuentra el proceso en cuanto a productividad y estabilidad en los parámetros de calidad (densidad, viscosidad y residuo). A partir de estos datos se pudo observar la variación de estos parámetros de molino a molino afectando la uniformidad de la barbotina que se almacena en las cisternas y por ende alteraciones en las características de la barbotina que se bombea al atomizador, repercutiendo en la calidad de la pasta (distribución de tamaño de partícula, humedad y retenido en malla 230) e incluso en la producción misma de pasta en el equipo. Estas variaciones son producto de diferentes metodologías de cargue y operación de los molinos por parte de los técnicos encargados, debido a que las metodologías aplicadas en la operación de los molinos están sujetas a su criterio y experiencia. Cabe resaltar que en muchos casos estas alteraciones son producidas principalmente por inconvenientes en el cargue de la materia prima en la tolva-bascula. Ya sea por cambios en las formulaciones de pasta, en los lotes de materia prima y peso de material cargado.

**Análisis de la variabilidad de los parámetros de calidad de la barbotina en la molienda**

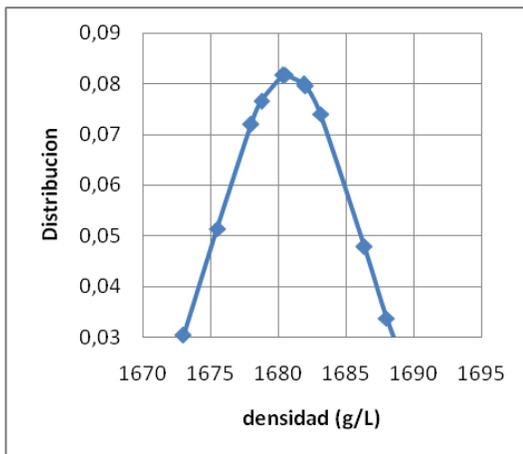


Gráfico 10 Distribución de gauss para la densidad en la molienda.

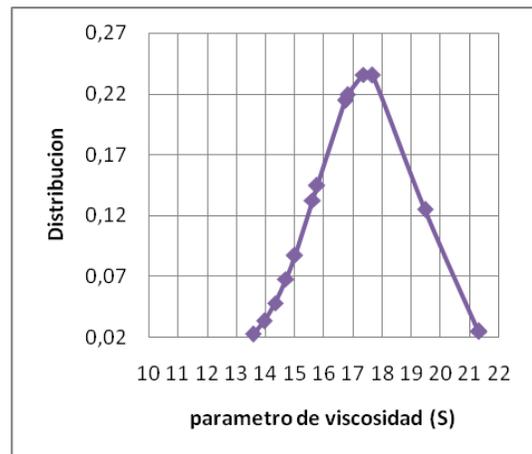


Gráfico 11 Distribución de gauss para el parámetro de viscosidad en la molienda.

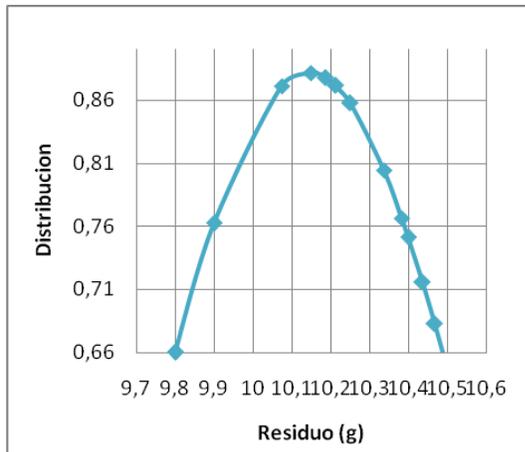


Gráfico 12 Distribución de gauss para el residuo en la molienda.

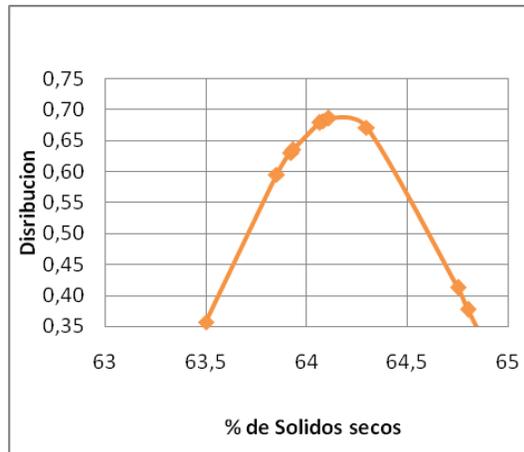


Gráfico 13 Distribución de gauss para la solidos secos en la molienda.

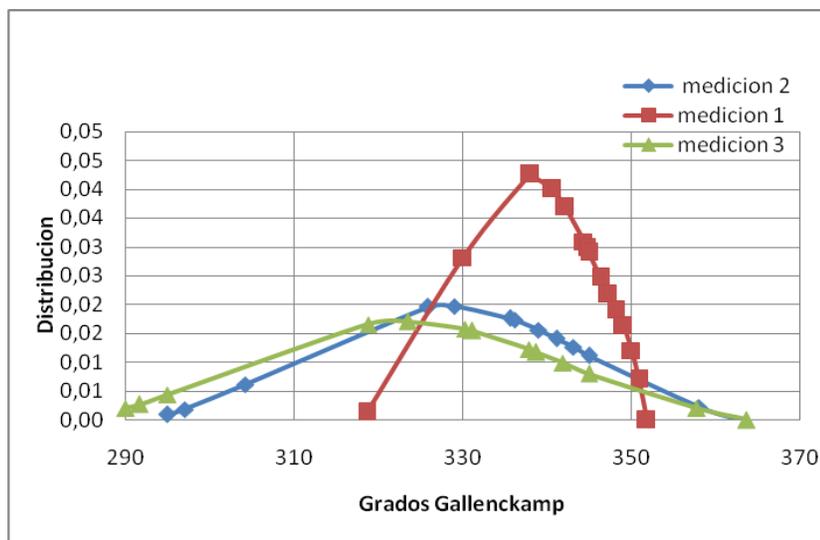


Gráfico 14 Distribución de gauss para la densidad en la molienda

Al realizar el seguimiento de las condiciones de calidad de la barbotina en el proceso de molienda, teniendo en cuenta las características de cargue del molino, de lo cual se obtuvo una significativa cantidad de información con la cual se realizó la distribución de datos del proceso representados en una gráfica gaussiana (

Gráfico 10, Gráfico 11, Gráfico 12, Gráfico 13 y Gráfico 14). En la graficas de porcentaje de solido seco y densidad se observa una distribución dispersa de los datos, lo que indica una variación importante en las condiciones de densidad y porcentaje de solidos secos entre la molturación de un molino y otro. Además, se observa que en estas dos graficas el

rango de datos es también significativamente amplio, evidenciando la variación entre los datos. Así mismo este comportamiento se repite en las mediciones de viscosidad en grados Gallenckamp representada en la Gráfico 14 con especialmente en las mediciones 2 y 3 las cuales indican el comportamiento tixotrópico de la suspensión. (ver anexo B)

**Influencia del pH del agua en la calidad de la molienda.**

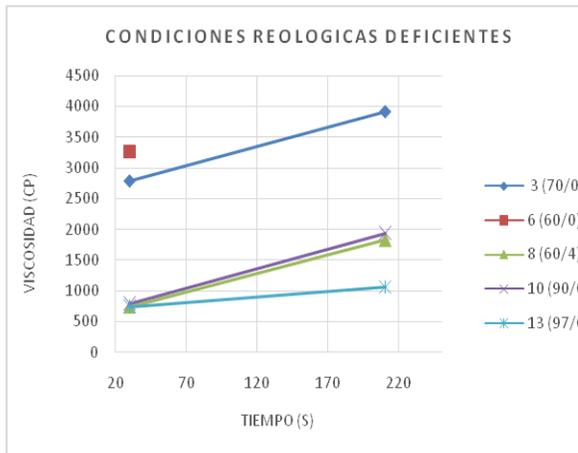


Gráfico 15 Moliendas realizadas con agua del abatidor (pH= 3)

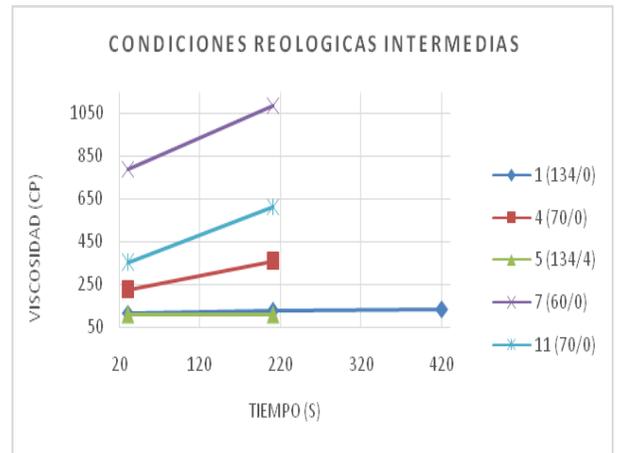


Gráfico 16 Molinos realizados con agua de los molinos (pH= 11)

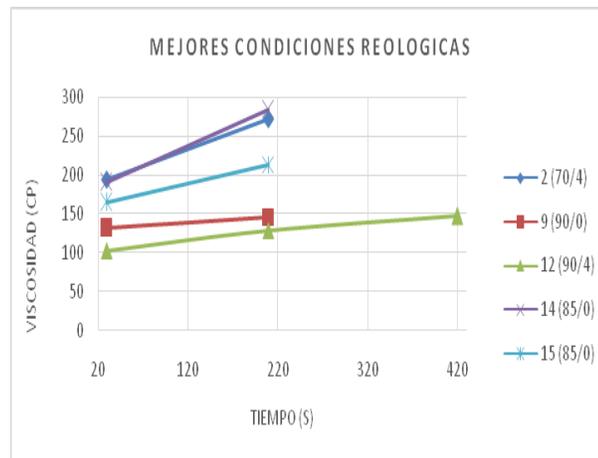


Gráfico 17 Moliendas realizadas con agua de los molinos (pH= 11)

Una vez observado y analizado la información concerniente a los parámetros de calidad que describen el proceso de molienda y se planteara el desarrollo moliendas con diferentes cargas a nivel de laboratorio, se encontró la significativa influencia del pH del agua en el desarrollo de la molienda y principalmente en los parámetros de calidad de la molienda.

En concordancia se analizó la reología de las barbotinas a diferentes pH, así como la variabilidad de las condiciones de calidad.

Con ayuda de las gráficas que correlacionan las variables, se observa la fuerte influencia de los aditivos en el pH, mostrando una relación directa entre sí y alterándose notablemente frente al pH del agua utilizada. Se observa además la influencia del pH en el comportamiento reológico de la barbotina obtenida, debido a que barbotinas preparadas con pH alto, presentan comportamientos muy fluidos, en contraste barbotinas preparadas con pH bajo o con tendencia acida, repercute en directamente en una mayor resistencia de la barbotina a fluir. Esto se comprobó con ayuda del viscosímetro digital Brookfield y el parámetro de viscosidad en caída libre. Se muestra cierta variabilidad en los parámetros de calidad entre algunas moliendas realizadas con similares proporciones de cargues debido a que los molinos, si bien trabajan con similares condiciones de operación, están sujetas a cambios y/o alteraciones según sea el criterio de los técnicos o los ingenieros a cargo. (Ver anexo B condiciones de barbotina con diferente pH)

## PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACION

### Condiciones de trabajo de equipo

El Ate 90 se trabaja con 11 lanzas, 12 boquillas, dejando inhabilitada la lanza 7, con equipo de trabajo se logró aumentar la capacidad de proceso utilizando 12 lanzas con 15 boquillas es decir 3 lanzas con doble tobera en el anexo C, representa la distribución, que permitió mayor capacidad de proceso.

A continuación, se evidencia la comparación de antes de implementación de condiciones de trabajo, condiciones durante el ensayo, post ensayo para verificar como varia la pasta en cada uno de los tres escenarios

COMPUERTAS			
	ANTES	ENSAYO	POST ENSAYO
M6 (%)	---	94-95	75
M2 (%)	---	69-71	70
AP29 (A)	--	165	149
AP34A (mbar)	(-1,4--2,1)	(-2,1 - -2,3)	(-1,9 - -2,5)
AP34B (mbar)	---	(-1,9 - -2,1)	-2,2

TEMPERATURAS (°C)			
	ANTES	ENSAYO	ACTUAL
BT11	83-94	88-90	84 - 93
BT12	330-363	350-360	304-369
BT13	440-512	507-512	480-524
BT23	---	515-522	509

Tabla 11 Parámetros de control de atomización.

En la Tabla 11 representa los parámetros de control del ATE 90, respecto a compuertas temperaturas del sistema, donde (M6) apertura de compuerta de ventilador principal, M2 porcentaje de quemador, AP29 amperios de ventilador, AP34 (A, B) depresión en la compuerta de la chapa, BT23 entrada de aire caliente, BT13 temperatura en el distribuidor de aire, BT12, temperatura de chapa. Los parámetros evidencian como cambio durante el ensayo, para dejar la producción, con granulometría y humedad requeridas los cuales se ven reflejados en los Gráfico 18, Gráfico 19.

BOMBAS				BOMBAS		
	%EFICIENCIA				CICLOS/MIN	
	ANTES	ENSAYO	EXISTENTE		ENSAYO	EXISTENTE
M13	45-72	80	48	M13	13	11
M23	---	70	42	M23	9,5	17
M33	48-69	50	46	M33	13	10,5

Tabla 12 control de bombas de barbotina, pre ensayo, ensayo, post ensayo de metodología de control

PRESION	ANTES	ENSAYO (+/- 0,2)	ACTUAL
	21,1 - 23,4	26	22 - 23,6

Tabla 13 Control de Presión de barbotina, pre ensayo, ensayo, post ensayo de metodología de control.

M13, M23 y M33 corresponde a las bombas de embolo (PPB) de barbotina, la eficiencia a la que se someten para el caudal de barbotina óptimo para la producción, en la Tabla 14 se evidencia la variación de la presión durante el proceso.

**Producción del equipo**

En el diagnostico preliminar se registró que el equipo producía 17Ton/h trabajando a condiciones iniciales reportadas como se mencionó anteriormente en las tablas (12, 13 y 14), con 11 lanzas en un ciclo de 90 horas. Al implementar la metodología de control de parameros óptimos para el aumento de capacidad de proceso se aumenta la producción y se mantiene elevado el inventario de pasta cerámica como se evidencia en la tabla 15

Di. BQ	No. BQ	ENSAYO		EXISTENTE		HORAS PRODUCCION
		TN/H	TN/DIA	TN/H	TN/DIA	
3,50	3	3,14	75,32	2,96	71,06	6 HORAS
4,00	12	16,40	393,64	15,47	371,38	
<b>Di. BQ</b>	<b>No. BQ</b>	<b>19,54</b>	<b>468,96</b>	<b>18,44</b>	<b>442,44</b>	70 HORAS
3,50	3	3,31	79,36	3,18	76,32	
4,00	12	17,28	414,80	16,62	398,88	
		<b>20,59</b>	<b>494,16</b>	<b>19,80</b>	<b>475,20</b>	

Tabla 14 *Flujo masico de pasta atomizada durante el proceso de control de variables para mayor capacidad de proceso*

En la tabla 15 se representa el ensayo, como 12 lanzas, 15 boquillas. Donde Di. BQ corresponde a el diámetro de la boquilla, No. BQ el número existente de boquillas en la cámara de secado, la producción para boquillas de diámetro de 3,5mm y 4mm, y su sumatoria el flujo masico final se realizó para el ciclo de trabajo de 90 horas.

En ambos se evidencia que la producción aumenta en función del tiempo, durante el ensayo se logró incrementar la capacidad de proceso de producción aumentando el flujo masico un 20% del inicio de ensayo, llegando a producir 21 Ton/h, cuando se desajustan los parámetros como el caso de control “existente” que trabaja a 12 lanzas 15 boquillas y los parámetros reportados anteriormente para el caso de “existente” el flujo masico se reduce 5% en comparación con el ensayo de control de variables.

**Condiciones de producción de ATE 90 (humedad – granulometría)**

La muestra de pasta atomizada, se tomó en diferente tiempo durante ciclo de 90 horas se le realizó la prueba de humedad residual, granulometría y se registró de igual manera para los 3 eventos expuestos, en las los gráficos 9 y 10. Se presenta el comportamiento frente a cada uno realizando la comparación de datos, según su dispersión, teniendo encuentra que el proceso se favorece entre más constante sean su condiciones de salida, debido a que en prensado, se aplica los parámetros de forma automática a la pasta de alimentación por ello se requiere constancia en entrada se pasta a prensado, para un semielaborado con mismas eficiencia de propiedades mecánicas las cuales se determina por los procedimientos físico cerámicos.

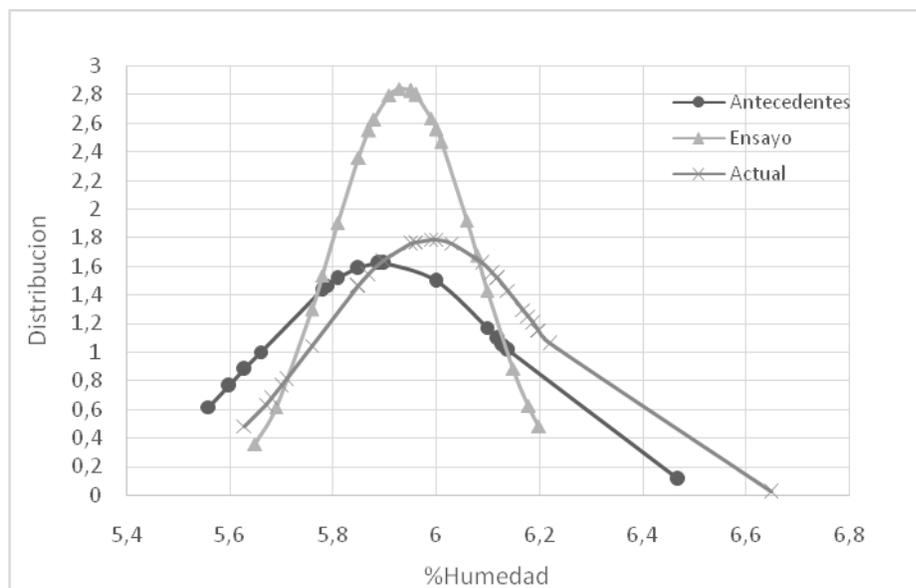


Gráfico 18 Distribución de gaus de la humedad durante el proceso control de atomización.

El comportamiento de la humedad, durante el ensayo se refleja en el Grafico 9, donde se realizó la comparación de distribución de datos entre, el ensayo, su antecedente y su mismo caudal a diferentes condiciones de trabajo “actual”, para la misma capacidad de proceso. La humedad representada en el ensayo presenta una campana definida, es decir los rangos de humedad son más cerrados, teniendo una pasta cerámica más constante respecto a la humedad, lo cual se reflejará en las propiedades físico cerámicas (contracción, absorción. Perdidas por fuego).

Se realizó la trazabilidad de datos durante la ejecución de tres diferentes formas de manejar parámetros operacionales del atomizador, a el producto (pasta cerámica) se recolecto diario en múltiples ocasiones, a las muestras se les toma la granulometría de 100g para observar el comportamiento de la distribución del retino en cada malla, de tamices *Tyler*.

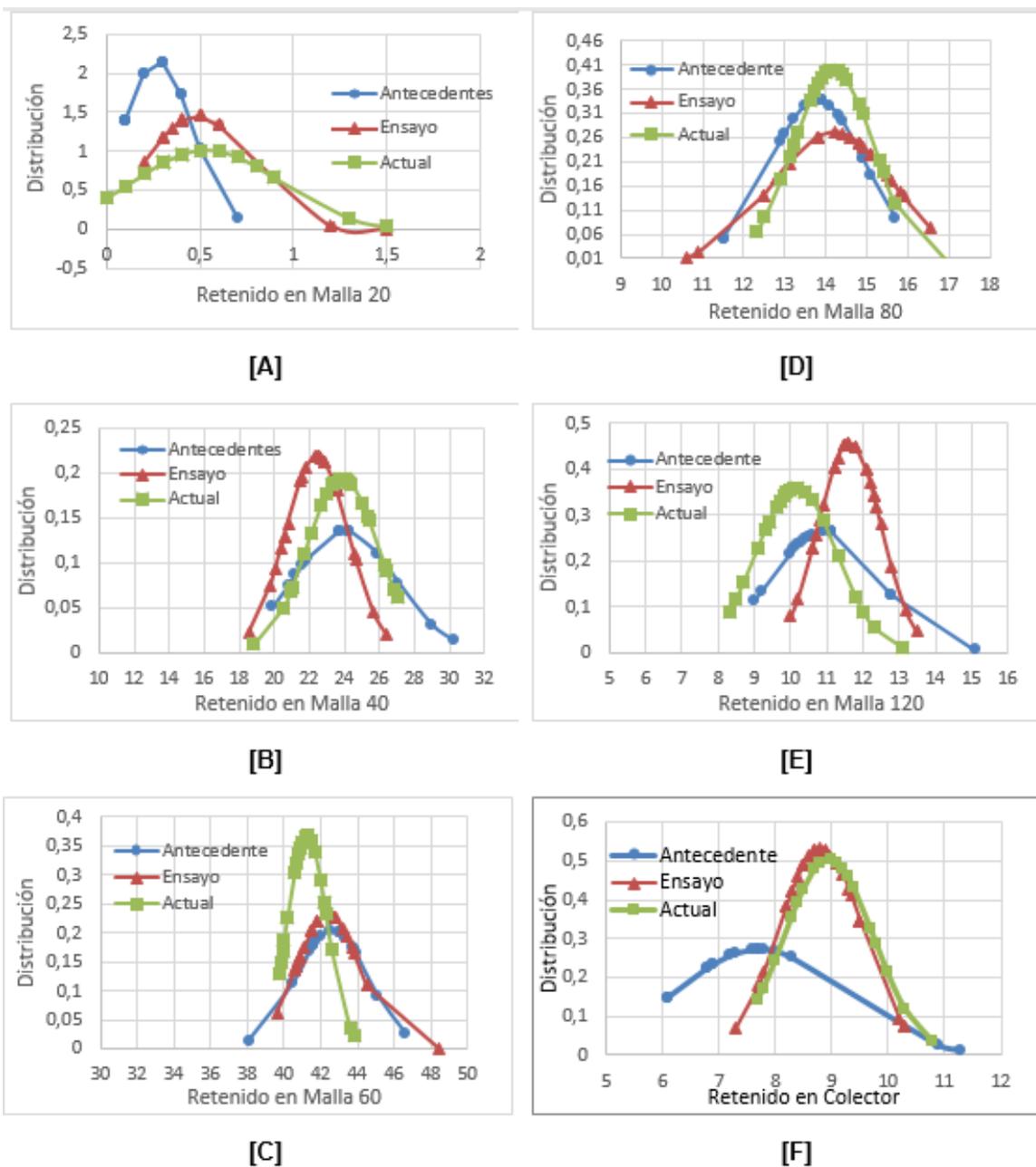


Gráfico 19 Comparación de distribución granulométrica entre "Antecedentes", durante el control "Ensayo" y existente "Actual"

La pasta atomizada presento granulometría con mayor distribución entre mallas con la implementación de control de variables para el aumento de capacidad de proceso productivo “Ensayo” debido a que su entre toma de granulometrías los datos reportados presentan menos variación por ello su distribución es más cerrada la campana de gauss es más definida en comparación este su antecedentes y modificación de variables del método. En la gráfica 10 se presenta la distribución por malla clasificado las de la siguiente manera [A]representa la distribución del retenido en la malla 20, [B]representa la distribución de retenido en la malla 40, [C]representa la distribución del retenido en la malla 60, [D]representa la distribución del retenido en la malla 80, [E]representa la distribución del retenido en la malla 120, [F]representa la distribución del retenido en la malla colector de torres de tamices.

### PROPIEDADES FÍSICO CERAMICAS

Según los ensayos a diferentes humedades y granulometría, se realizó el análisis físico cerámico para probetas (piezas conformadas para estudios de laboratorio) con humedades entre (4-9)%, el porcentaje de participación de tamaño de granulos también vario respecto a la cantidad de partículas gruesas, tamaño de granulo uniforme, y finos, donde la húmedas está directamente ligada a la granulometría, debido a que entre mayor humedad presente la pasta cerámica, es decir presenta mayor cantidad de tamaño de partículas gruesas, en su mayoría entre (850 -425)  $\mu\text{m}$ , y viceversa, a menor humedad el polvo cerámica es un tamaño de partícula fino el cual está presente entre (250 y 125)  $\mu\text{m}$ .

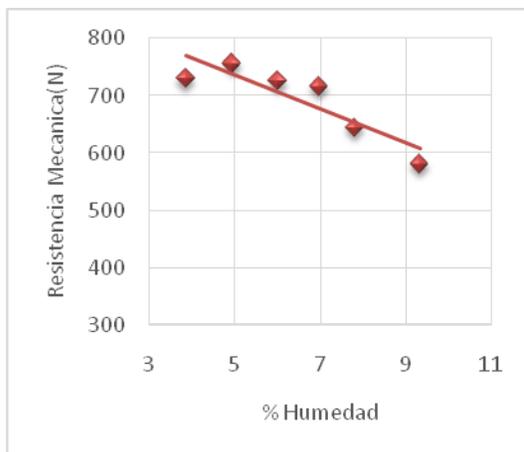


Gráfico 20 Variabilidad de la resistencia mecánica de la baldosa cocida respecto a la humedad de la pasta cerámica.

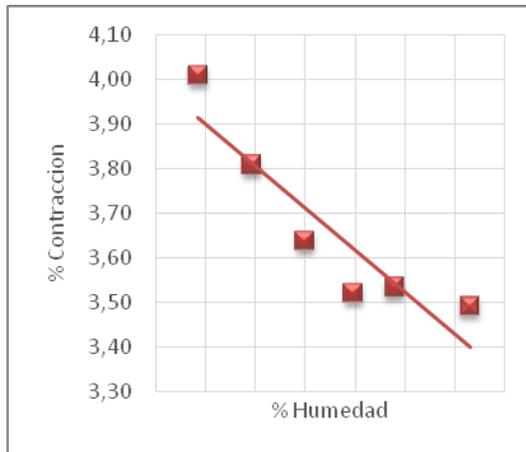


Gráfico 21 Variabilidad de la contracción de la baldosa respecto a la humedad de la pasta cerámica.

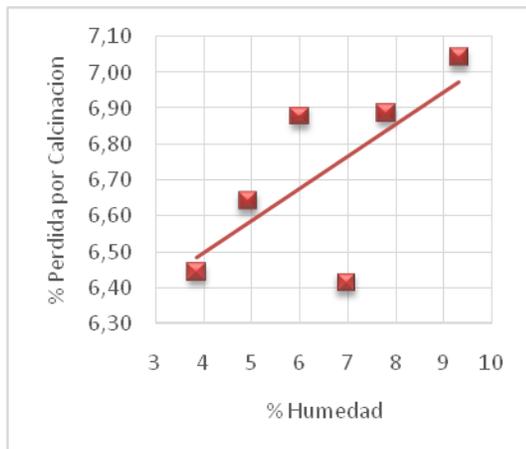


Gráfico 22 Variabilidad de la pérdida por calcinación de la baldosa respecto a la humedad de la pasta cerámica

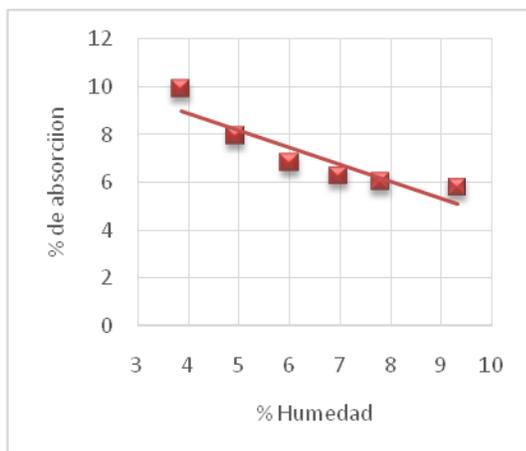


Gráfico 23 Variabilidad de la absorción de agua de la baldosa cocida respecto a la humedad de la pasta cerámica

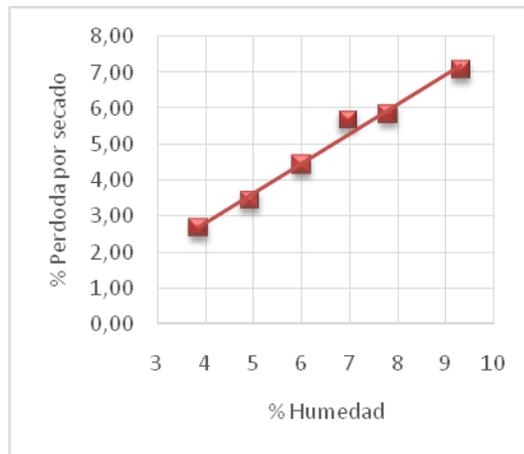


Gráfico 24 Variabilidad de la pérdida por secado de la baldosa húmeda respecto a la humedad de la pasta cerámica

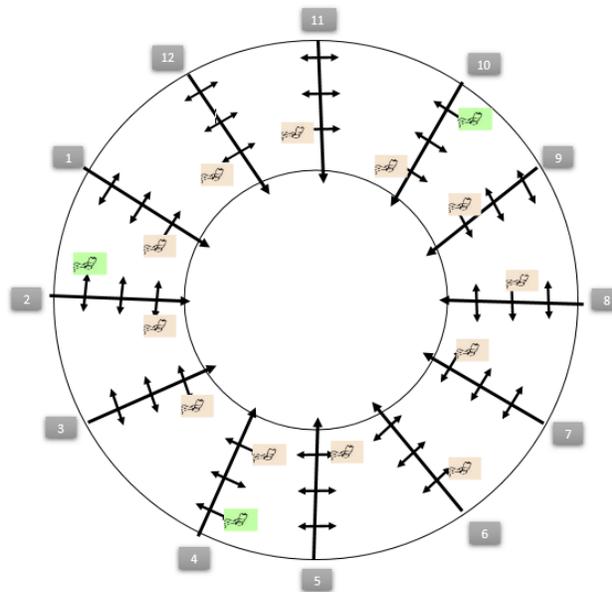
Como se observa en los anteriores gráficos la relación que presenta la humedad y granulometría respecto a las propiedades mecánicas de las probetas. En el Gráfico 20 Variabilidad de la resistencia mecánica de la baldosa cocida respecto a la humedad de la pasta cerámica. Se observa la tendencia de como a medida que aumenta la humedad, su resistencia mecánica es menor, es decir el punto de quiebre de baldosa requiere menos fuerza cuando su compactación fue con alta humedad, debido a que entre más húmedo más compacta, afectando el tamaño de la baldosa haciéndola más delgada, y menos pesada, porque al llenar la cavidad del molde quedan espacios intersticiales entre las partículas que se cerraran durante la compactación. Gráfico 21 Variabilidad de la contracción de la baldosa respecto a la humedad de la pasta cerámica. La contracción por cocción presenta tendencia a disminuir a medida que aumenta la humedad debido a que a mayor humedad más compactada esta la baldosa por tanto indica que no tiende a reducir más su tamaño ya que no presenta espacios intersticiales los cuales pueda depurar. Gráfico 22 Variabilidad de la perdida por calcinación de la baldosa respecto a la humedad de la pasta cerámica, se presenta que aumenta la perdida por calcinación, cuando aumenta la humedad al igual que el tamaño de granulo, esta condicione s más dependiente de la naturaleza de la materia prima. Gráfico 23 Variabilidad de la absorción de agua de la baldosa cocida respecto a la humedad de la pasta cerámica, indica linealidad debido a que entre más seca sea la pasta cuando sea compactada, y se sumerja en agua presentara mayor absorción y viceversa, entre mayor humedad menos absorción. Lo mismo indica el Gráfico 24 Variabilidad de la perdida por secado de la baldosa húmeda respecto a la humedad de la pasta cerámica pero de manera contraria entre mayor humedad más perdida por secado presenta y viceversa

# Conclusiones

- Con la implementación de la metodología propuesta de control y mitigación de desperdicios en patios de almacenamiento se encontró la forma de reducir drásticamente y de forma positiva los focos de desperdicio presentes en esta área, realizando procedimientos de seguimiento simples y prácticos que resultaron muy oportunos, alimentados también por el conocimiento y experiencia de los técnicos de almacenamiento en patios, quienes sin su receptividad y disposición positiva, permitieron los resultados positivos que se evidencian en este proyecto.
- Así mismo se evidencia la importante influencia de la toma de humedades ya que esta repercute directamente en las proporciones de cargue en la tolva bascula, ocasionando descompensaciones en la fórmula de pasta cerámica, ya sea por cargues que se realizan por encima del establecido o por debajo de este.
- Los molinos cumplen un papel fundamental en el proceso productivo cerámico, ya que da origen al primer material semielaborado que integra todas las materias primas y sus propiedades en un solo material, por lo que su eficiente operación repercutirá tanto de forma positiva como negativa en los procesos posteriores. Es por esto que la compañía diseña un sistema de producción eficiente de cliente proveedor, garantizando la calidad y eficiencia de los procesos en las diferentes áreas.
- Las características de la barbotina están sujetas a una serie de variables a tener en cuenta, asociadas tanto a la formulación de pasta, como al cargue y operación. Con este proyecto se pudo comprobar como una variable que se podría catalogar como discreta en el proceso cerámico, como es el pH, influye de forma sustancial en la eficiencia del proceso y la calidad de la barbotina.
- Para el aumento de capacidad de proceso se toma en cuenta el flujo masico a la salida del cono del atomizador, el cual indica la producción del atomizador; sin embargo, un aspecto importante a tener en cuenta es el flujo de salida de los ciclones los cuales distribuyen las partículas finas que se extraen por medio de succión del ventilador para regular la depresión de la cámara de secado. El flujo que se estimó en algunas mediciones fue de  $\pm 1$ Ton/h, lo que aumenta

considerablemente el flujo total de producción, esto representa un posible indicativo de la importancia en la manipulación de la compuerta con el fin de monitorear el comportamiento de humedad y granulometría, porque al tener mayor succión de finos, disminuye la humedad, aumenta la producción, pero afecta las propiedades mecánicas de la pieza conformada por el peso de esta.

- Durante el diagnóstico de operatividad del atomizador se encuentra que en la cámara de secado, en sección de las lanzas 7-9 se presenta empastamiento (adherencia de la pasta) sobre estas lanzas, por ello la lanza 7 se mantuvo inactiva debido a que presentaba aglomeraciones y constantes derrumbes, se presume que la tubería distribuidora de la suspensión cerámica genera cavitación en la sección de distribución de estas lanzas por lo que en estas se generaba un mayor caudal, por ende, durante el análisis de distribución de toberas del ensayo se formuló habilitar la lanza 7 para completar una producción de 12 lanzas, sin embargo, con el propósito de prevenir eventuales derrumbes de pasta aglomerada, se implementaron las boquillas dobles en los alrededores de estas lanzas así como se muestra en el



- Ilustración 12 (Anexo C)
- La densidad de la barbotina interviene en la producción de pasta debido a que densidades bajas, en una operatividad del equipo estándar, puede ocasionar que la pasta salga del atomizador con exceso de humedad, y probablemente el flujo

de producción disminuya también. Por otra parte, si la densidad es alta se puede presentar el caso contrario a lo anteriormente descrito, la humedad de la pasta baja y la producción se eleva, con un mayor flujo de producción de finos.

- Se logro aumentar la capacidad de proceso del atomizador aumentando la producción de pasta atomizada, además de obtener una pasta atomizada con características granulométricas y humeada equilibradas que se mantienen dentro de los rangos establecidos para los parámetros de calidad, cumpliéndole requerimiento normativo de la empresa de revestimiento cerámica,
- La humedad y granulometría son factores primordiales en el prensado de una baldosa debido a que los formatos de prensas son cavidades definidas la cual requieren un llenado uniforme para no presentar dispersiones altas en pesos de baldosa, por ello cuando una granulometría presenta gran cantidad de partículas gruesas el llenado de la cavidad de prensa requiere menos pasta debido a que quedan espacios intersticiales amplios ocupando el volumen de la cavidad, cuando es compactada su tamaño se reduce considerablemente, siendo la baldosa más delgada y menos pesada lo cual presenta mayor fragilidad durante el transporte y presente fractura, mientras que menor granulometría la humedad es más baja, debido a que el tamaño de granulo no presenta gran humedad, y al llevarse a consumo de prensa, requerirá más pasta cerámica para llenar la cavidad haciendo que los espacios intersticiales se llenen a mayor porcentaje y cuando sea compactada presente mayor peso, y al llevarse a un horno puede que se queme la materia orgánica interna debido a que por los espacios ser sellados no hubo forma de depurar, también al momento de transporte por el secadero puede presentarse desmoronamiento debido a la carencia de humectación para que se junten los gránulos cerámicos.

# Bibliografía

- [1] M. Gras Llopis, "ESTIMACIÓN ESTADÍSTICA, MODELADO Y ANÁLISIS DE LA TRANSMISIÓN Y COSTE DE LA VARIABILIDAD DE PROCESOS DE MULTI-ETAPA. APLICACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS," Universidad de JAUME, Castellon, 2010.
- [2] J. M. ; H. M. J. A. Mendez Hernandez, "OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA Y SECADO POR PULVERIZACIÓN EN," Universidad Industrial de Santander, Cucuta, Norte de Santander, 2007.
- [3] J. A. Heredia and M. Gras, "Cerámica y Vidrio Análisis y modelado de la transmisión de variabilidad dimensional en un proceso de producción de baldosas cerámicas," 2009.
- [4] E. Galán and P. Aparicio, "Materias primas para la industria cerámica INTRODUCCIÓN."
- [5] L. Sanchez Ascanio, " CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL HORNO # I- SITI -MODELO F1NH DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA CERÁMICA ITALIA S.A, DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER.," Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, 2015.

- 
- [6] M. P. Moreno Quintero, Y. A. Pabón Acevedo, L. Cely Illera, and J. Cely Niño, "Influence of wet milling on the structural and mechanical behavior of ceramic products formed by extruding clay at Zulia (North de Santander, Colombia)," *Bol. la Soc. Esp. Ceram. y Vidr.*, vol. 58, no. 5, pp. 190–198, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.bsecv.2019.01.001.
- [7] SACMI; Asociación Española de Técnicos Cerámicos, *Tecnología cerámica aplicada*, Volumen I. Castellón de la Plana: SACMI Ibérica, 2004.
- [8] R. Moreno Botella, *REOLOGIA DE SUSPENSIONES CERAMICAS*, Biblioteca. Madrid, España, 2005.
- [9] A. Cano Almena, "ESTUDIO REOLÓGICO DE PARTÍCULAS CERÁMICAS BASE CIRCONA PARA SU POSIBLE UTILIZACIÓN EN IMPRESIÓN 3D," Universidad Politecnica de Cataluña Barcelonatech, Barcelona, 2017.
- [10] F. J. Melendez Rodriguez, "DESARROLLO DE UNA BARBOTINA CERAMICA PARA VACIADO DE ALTA PRESION MEDIANTE EL USO DE LA DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD EN EL FILTRO BAROID ," Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, 2002.
- [11] R. A. C. P. I. R. J. Sanchis, "Problemas de control con medidas escasas en la industria de fabricación de azulejos.," *Conf. XXIX Jornadas Automática*, Oct. 2008.
- [12] SACMI; Asociación Española de Técnicos Cerámicos, *Tecnología cerámica aplicada*, vol. II. Castellón de la Plana: SACMI Ibérica, 2004.
- [13] A. R. Bansal, Narottam P., Boccaccini, *CERAMICS AND COMPOSITES PROCESSING METHODS*, The Americ. New Jersey: John Wily & Sons, 2012.
- [14] "VISCOSÍMETRO DE TORSIÓN TIPO GALLEKAMP," *labotronic*. [Online]. Available: [https://labotronic.es/sec\\_din/archivos/docs/export-3-51.pdf](https://labotronic.es/sec_din/archivos/docs/export-3-51.pdf). [Accessed: 06-Jun-2020].
- [15] H. X. Poirier Thierry, Baena José, Picardo Carlos, *Relevancia del factor materia prima en un proceso cerámico industrial: Un caso de estudio venezolano*, vol. 29, no. 3. La Universidad Central de Venezuela, 2014.
- [16] J. A. Dr. Reyes, "Cerámica Industrial: Producción de Pavimento y Revestimiento Cerámico."
- [17] J. G. Mallol Gasch, "CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN EN LA INDUSTRIA CERÁMICA. EVOLUCIÓN Y PERSPECTIVAS," Castellón, España, 2006.
- [18] R. Mondragón, J. E. Julia, A. Barba, and J. C. Jarque, "Cerámica y Vidrio El proceso de secado por atomización: formación de gránulos y cinética de secado

- de gotas Spray Drying Processing: granules production and drying kinetics of droplets,” *Julio-Agosto*, vol. 52, pp. 159–168, 2013, doi: 10.3989/cyv.212013.
- [19] I. Marino and Z. Buriticá, “Síntesis y caracterización de polvos cerámicos para sistemas de barrera térmica TBCs,” Medellín, 2015.
- [20] R. Soldati, C. Zanelli, G. Guarini, S. Fazio, M. C. Bignozzi, and M. Dondi, “Characteristics and rheological behaviour of spray-dried powders for porcelain stoneware slabs,” *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 38, no. 11, pp. 4118–4126, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2018.04.042.
- [21] Sociedad Anónima Cooperativa Mecánica Imola(SACMI), “ATM Series.”
- [22] W. Fuentes Castillo, “CONTROL Y OPTIMIZACIÓN DEL POLVO ATOMIZADO PARA LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS,” in *Universidad Simón Bolívar*, 2016, p. 9.
- [23] J. M. González Dávila, “Planta de preparación de polvo de prensas para la fabricación de platos de porcelana,” Castellón de la Plana, 2017.
- [24] G. Bertrand, P. Roy, C. Filiatre, and C. Coddet, “Spray-dried ceramic powders: A quantitative correlation between slurry characteristics and shapes of the granules,” *Chem. Eng. Sci.*, vol. 60, no. 1, pp. 95–102, Jan. 2005, doi: 10.1016/j.ces.2004.04.042.
- [25] E. German and Y. Hurtado, “DISEÑO DE UN SECADOR POR ATOMIZACIÓN A NIVEL PILOTO PARA JUGO CONCENTRADO DE TOMATE DE ARBOL UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN ALIMENTOS MANIZALES 2003.”
- [26] H. J. Alves, F. G. Melchades, and A. O. Boschi, “CASTELLÓN (ESPAÑA) GRANULOMETRÍA DEL POLVO ATOMIZADO: INFLUENCIA SOBRE LA MICROESTRUCTURA POROSA DE BALDOSAS DE GRES PORCELÁNICO PULIDAS.”
- [27] J. Darío, S. Amado, P. Yesid, M. Villafrades, and E. M. Cordoba tura, “CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS Y PREPARACIÓN DE PASTAS CERÁMICAS PARA LA FABRICACIÓN DE TEJAS Y LADRILLOS EN CHARACTERIZATION OF CLAYS AND PREPARATION OF CERAMIC PASTES FOR THE MANUFACTURE OF ROOFING TILES AND BRICKS IN THE REGION OF BARICHARA, SANTANDER ,” vol. 78, pp. 50–58, 2011.
- [28] J. Morales Güeto, *Tecnología de los materiales cerámicos*. Madrid: Comunidad de

- Madrid, 2005.
- [29] V. S. Di Prado, "From the interior to the surface. Paste and decoration analysis conducted on pottery from Loma de los Muertos site (Northeastern patagonia)," *Magallania (Punta. Arenas)*., vol. 41, no. 2, pp. 197–214, 2013, doi: 10.4067/S0718-22442013000200011.
- [30] W. L. McCabe, J. C. Smith, and P. Harriot, *OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA*, Séptima Ed. Interamericana: McGraw-Hill Interamericana, 2007.
- [31] S. J. G. Sousa and J. N. F. Holanda, "Compaction behavior of dry granulated red wall tile paste prepared using raw materials from Rio de Janeiro State," *Ceramica*, vol. 57, no. 341, pp. 50–55, Jan. 2011, doi: 10.1590/s0366-69132011000100007.
- [32] J. Serrano, J. M. Castellet, R. Bonaque, A. Poyatos, and F. Romero, "Prensado, con métodos de la cerámica plana, de piezas cerámicas curvas con especificaciones geométricas de elevada precisión," *Bol. la Soc. Esp. Ceram. y Vidr.*, vol. 51, no. 2, pp. 127–132, 2012, doi: 10.3989/cyv.182012.

# Anexos

## ANEXO (A) DESPERDICIO EN AREA DE PREPARACION PASTA.

TORRE FUERTE (TF)							
REGISTRO		BITACORA		PLC		SINERGY	
Lote	Ingreso	Consumo	Diferencia	Consumo	Diferencia	Consumo	Diferencia
128505	844,092	828,009	16,083	912,854	-68,762	771,324	75,15
128755	1335,304	1252,629	82,675	1202,978	132,326	1287,892	47,086
129020	738,764	736,008	2,756	707,595	31,169	707,595	31,169
129129	1403,293	1443,708	-40,415	1450,573	-47,28	1401,512	0
CR FRENTE 1 (CRF1)							
REGISTRO		BITACORA		PLC		SINERGY	
Lote	Ingreso	Consumo	Diferencia	Consumo	Diferencia	Consumo	Diferencia
128296	925,034	854,8029	70,2311	1181138	-256,104	920,007	0
128447	950,474	553,3164	397,1576	489339	461,135	900,632	47,885
128526	865,392	805,1463	60,2457	713226	152,166	801,951	47,948
129328	904,847	833,5215	71,3255	858746	46,101	858,75	46,043
CR FRENTE 2 (CRF2)							
REGISTRO		BITACORA		PLC		SINERGY	
Lote	Ingreso	Consumo	Diferencia	Consumo	Diferencia	Consumo	Diferencia
125422	841,253	779,688	61,565	750696	90,557	826,51	14,927
128621	977,891	969,612	8,279	955462	22,429	947,348	17,869
128701	1054,135	1014,594	39,541	1283854	-229,719	1040,13	10,6
128845	909,901	899,64	10,261	597213	312,688	816,053	98,469
129137	868,675	829,668	39,007	836074	32,601	831,083	38,394

Tabla 15 Diagnostico preliminar estado de consumos de materias primas (enero 2020)

		Torre fuerte	CRF1	CRF2
<b>SYNERGY</b>	<b>% total</b>	<b>3,7</b>	<b>5,2</b>	<b>3,9</b>
<b>PLC</b>	<b>% total</b>	<b>1,1</b>	<b>11,1</b>	<b>4,9</b>
<b>BITACORA</b>	<b>% total</b>	<b>1,4</b>	<b>16,4</b>	<b>3,4</b>

Tabla 16 Porcentajes de desperdicio totales en el almacenamiento obtenido en las mediciones diagnosticas (antecedente-enero)

		Torre fuerte	CRF1	CRF2
<b>SYNERGY</b>	<b>% total</b>	<b>0,67</b>	<b>3,08</b>	<b>1,81</b>
<b>PLC</b>	<b>% total</b>	<b>-3,26</b>	<b>2,76</b>	<b>0,87</b>
<b>BITACORA</b>	<b>% total</b>	<b>-1,81</b>	<b>3,67</b>	<b>0,07</b>

Tabla 17 Porcentajes de desperdicio totales en el almacenamiento obtenido en las mediciones realizadas para conocer la respuesta de la metodología de control implementada.

		antecedentes		control actual	
		mensual	anual	mensual	anual
<b>SYNERGY</b>	<b>total</b>	<b>\$ 10.426.828</b>	<b>\$ 125.121.939</b>	<b>\$ 2.414.098</b>	<b>\$ 28.969.170</b>
<b>PLC</b>	<b>total</b>	<b>\$ 14.888.674</b>	<b>\$ 178.664.085</b>	<b>\$ 1.310.188</b>	<b>\$ 15.722.259</b>
<b>BITACORA</b>	<b>total</b>	<b>\$ 17.944.210</b>	<b>\$ 215.330.517</b>	<b>\$ 3.029.429</b>	<b>\$ 36.353.145</b>

Tabla 18 Costo por desperdicio por almacenamiento en patios antes y después de aplicar la metodología de control (Enero – Febrero)

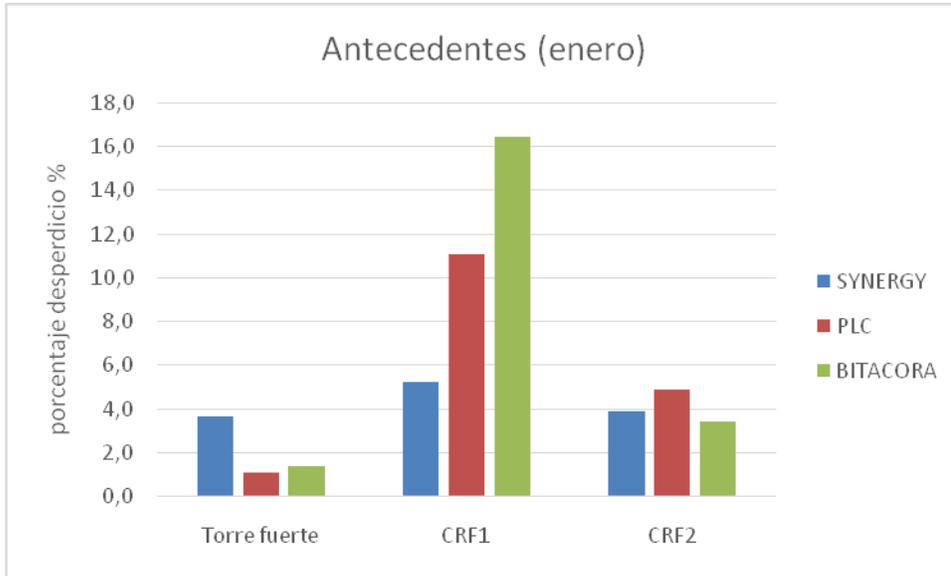


Gráfico 25 Porcentajes de desperdicio del mes de enero



Gráfico 26 Porcentajes de desperdicio mes de febrero

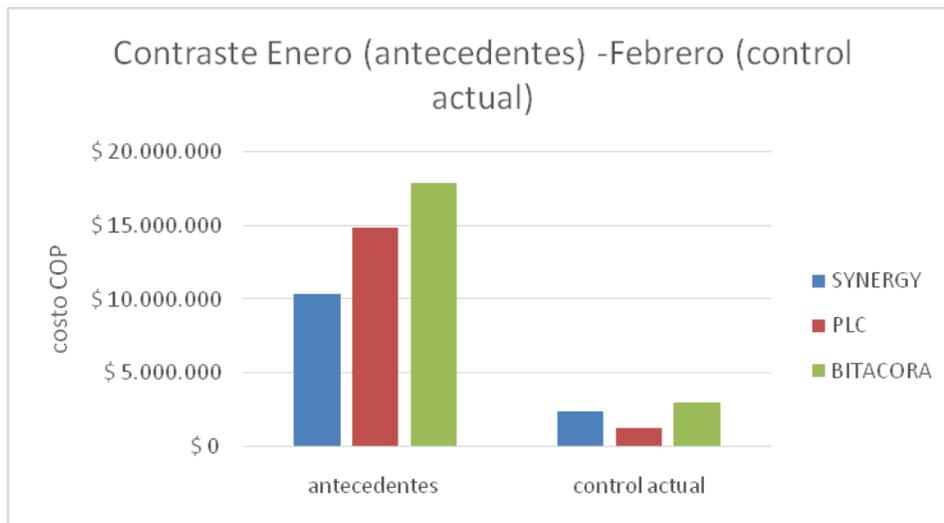


Gráfico 27 Contraste de costo de desperdicio entre mes de enero y febrero.

## ANEXO (B) GRAFICOS DE CONDICIONES DE BARBOTINA SEGÚN SU pH

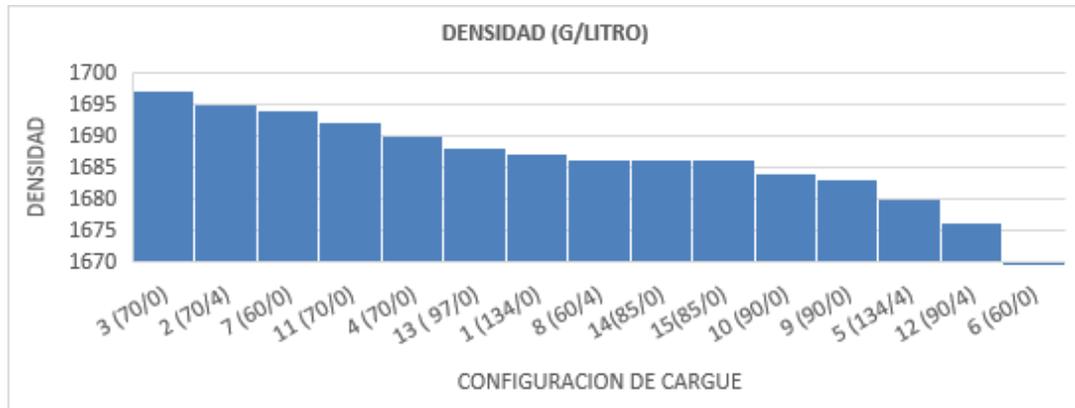


Gráfico 28 Densidad (g/L) de las moliendas realizadas. (3, 6, 8, 10, 13 con pH= 3. Agua de abatidor. Los demás se realizaron con agua de molinos pH= 11).

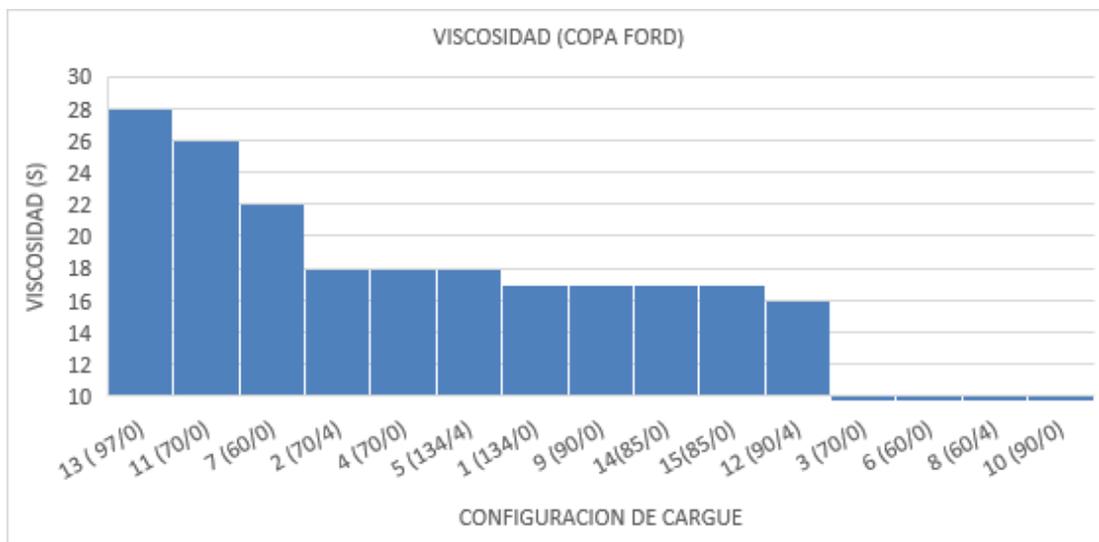


Gráfico 29 viscosidad (s) de las moliendas realizadas. (3, 6, 8, 10, 13 con pH= 3. Agua de abatidor. Los demás se realizaron con agua de molinos pH= 11).

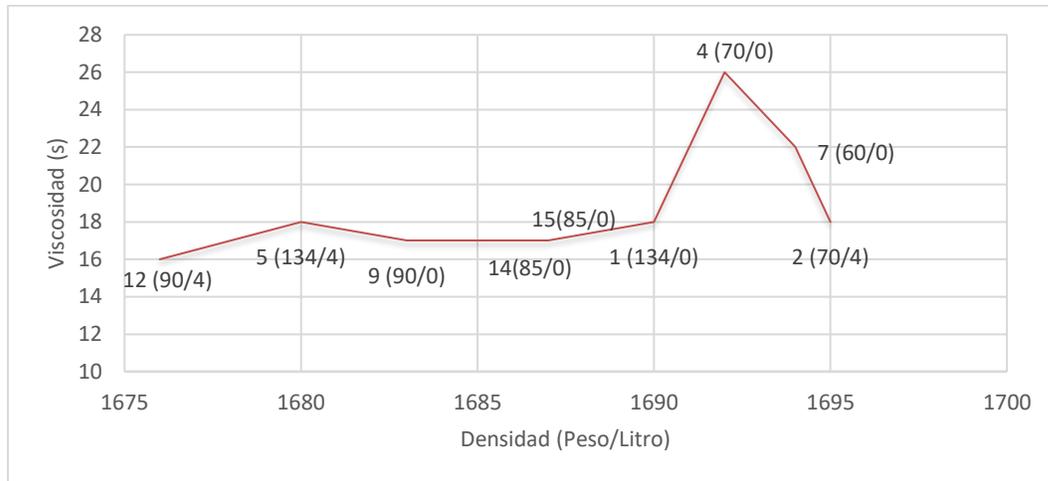


Gráfico 30 Relación Densidad (g/L) vs viscosidad (s) (moliendas realizadas con agua de molinos pH= 11). Ninguna de estas presentó aglomeración.

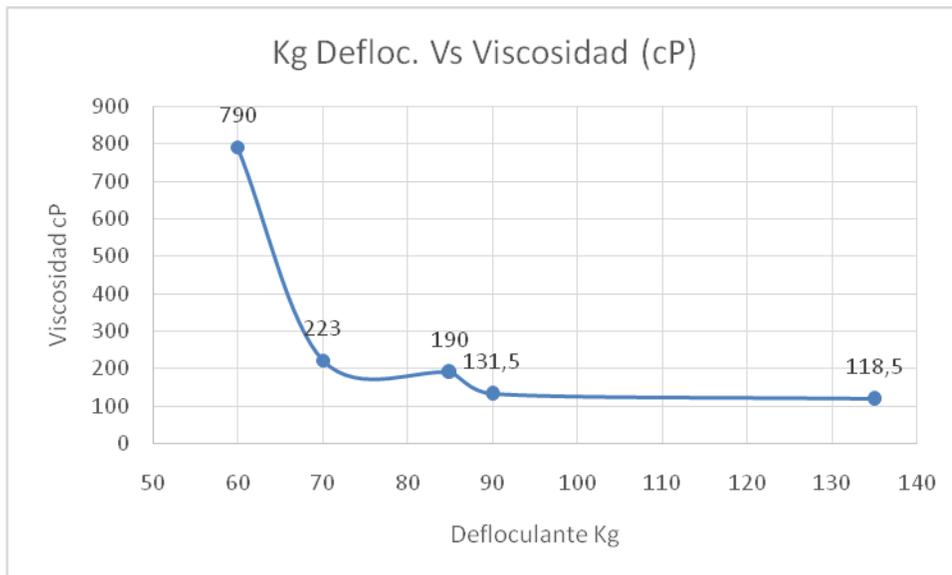


Gráfico 31 Relación Kg de defloculante vs viscosidad en cP medidos en el Brookfield.

**ANEXO (C) DIAGNOSTICO DEL PROCESO DE ATOMIZACION**

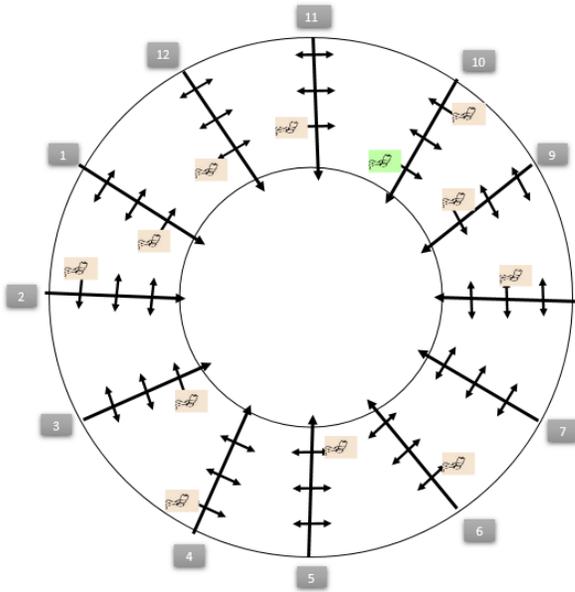


Ilustración 11 Distribución presente antes de implementación de control de parámetros del atomizador.

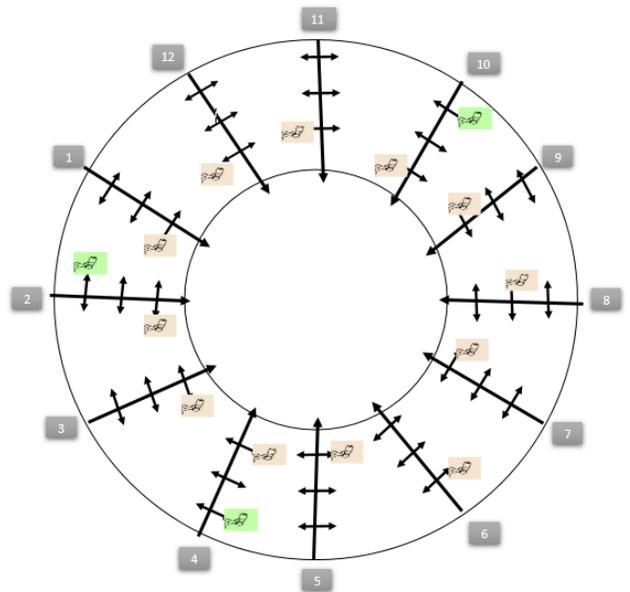


Ilustración 12 Distribución implementada por análisis de sensibilidad del comportamiento del equipo.

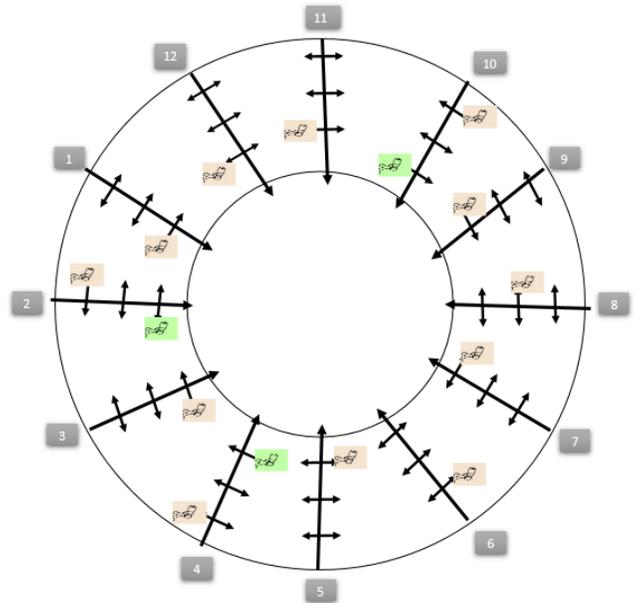


Ilustración 13 Distribución existente post ensayo, para verificar el comportamiento del equipo.

DIAMETRO BOQUILLA	AREA mm2	TN/H	No. BQ	AREA mm2
3,50	9,62	1,05	3	28,86
4,00	12,57	1,35	12	150,84
<b>TOTAL</b>	<b>22,19</b>	<b>2,40</b>	<b>15</b>	<b>179,70</b>

Tabla 19 área y flujo estimado de trabajo para boquillas de 3,5mm y 4mm

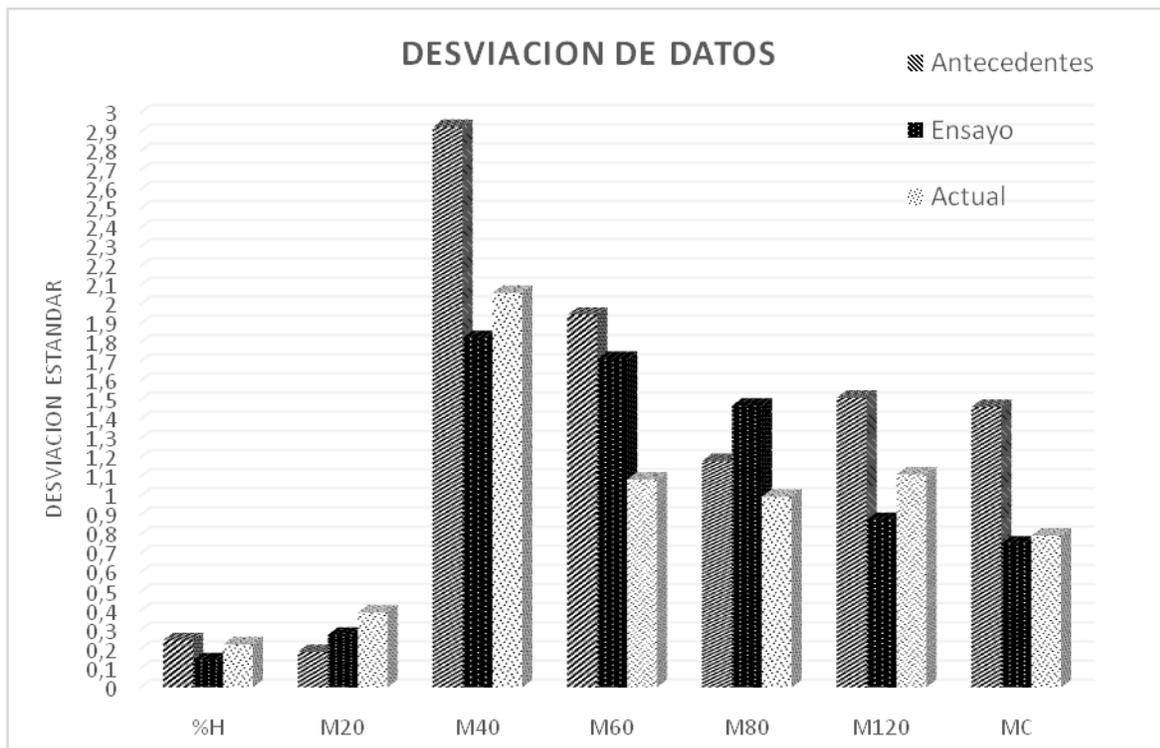


Gráfico 32 Comparación de desviación de datos de antecedentes, del ensayo y actualidad sin ensayo para la humedad y el retenido por malla.