



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL POLVO  
ATOMIZADO EMPLEADO PARA LA FABRICACIÓN DE GRES  
ROJO (MONOQUEMA-REVESTIMIENTO DE PISOS  
CERÁMICOS) EN LA EMPRESA C.A. ECUATORIANA DE  
CERÁMICA.**

**Trabajo de titulación**

**Tipo: Proyecto de investigación**

Para optar por el título de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: ORTEGA BETANCOURTH OSCAR OSWALDO**

**TUTORA: ING. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA**

**Riobamba – Ecuador**

**2018**

**© 2018, Ortega Betancourth Oscar Oswaldo**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Investigación: EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL POLVO ATOMIZADO EMPLEADO PARA LA FABRICACIÓN DE GRES ROJO (MONOQUEMA-REVESTIMIENTO DE PISOS CERÁMICOS) EN LA EMPRESA C.A. ECUATORIANA DE CERÁMICA, de responsabilidad del señor Oscar Oswaldo Ortega Betancourth, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada a su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Mayra Zambrano

**DIRECTOR DE TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

Ing. Mabel Parada

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Yo, Oscar Oswaldo Ortega Betancourth, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

OSCAR OSWALDO ORTEGA BETANCOURTH

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, OSCAR OSWALDO ORTEGA BETANCOURTH, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 2 de marzo del 2018

Oscar Oswaldo Ortega Betancourth

085004411-6

## **DEDICATORIA**

Esta tesis es dedicada a Dios quién que con su inmensa misericordia y gracia me acompañó en cada etapa desde la experimentación, el análisis de resultados y culminación.

Dedico también esta tesis a mi familia que con su apoyo me dan fuerzas y motivación para seguir a delante.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios quién es la roca sobre la cual está cimentada mi vida y que con su palabra da a mi vida esperanza, sabiduría, fe, mansedumbre y templanza.

A mis Padres, Narciso Oswaldo Ortega Montaña y Neyda Maritza Betancourth Ayoví, quienes son mi apoyo, mis pilares y los instrumentos que Dios puso en mi vida para hacer de mi un hombre valioso.

A mis hermanas Maryury Ortega Betancourth y Neyda Ortega Betancourth, quienes con su ejemplo me han demostrado que puedo hacer lo que me proponga siguiendo los pasos de Dios.

A mi tutora la Ingeniera Mayra Zambrano, quien con suma paciencia dirigió y estuvo al tanto de los pormenores en la ejecución de mi tesis

A mi colaboradora la Ingeniera Mabel Parada quién de forma desinteresada y gustosa me brindo sus conocimientos para redactar el escrito de mi tesis muy exitosamente.

A mi amiga la Ingeniera Tanya Cárdenas quién de forma muy amable y desinteresada estuvo allí para ayudarme con todos los trámites a cumplir para legalizar mi trabajo de titulación.

A la empresa C. A. Ecuatoriana de Cerámica, quién en calidad de representante, el Ingeniero Marco Núñez, se medió la oportunidad de llevar a cabo mi proyecto de investigación facilitándome todas las herramientas necesarias.

A la Ingeniera María Díaz quién de forma desinteresa creyó en mí y me dio la oportunidad de realizar mi trabajo de titulación bajo su tutoría en la empresa C. A. Ecuatoriana de Cerámica.

A las Ingenieras Mayra Hernández, Nathy Chávez y al Ingeniero Jorge Valverde, quienes con sus sabios consejos me permitieron culminar de forma exitosa la etapa de experimentación de mi tesis.

A los auditores de calidad, supervisores, operadores del atomizador, molineros, preñeros, personal de limpieza y demás personas que dentro de la empresa C. A. Ecuatoriana de Cerámica, me brindaron su apoyo incondicional en la ejecución de los experimentos de mi tesis.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
RESUMEN.....	xxv
ABSTRACT.....	xxvi
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I	
<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Antecedentes de la Investigación .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Marco conceptual.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1. Proceso de Atomización .....</b>	<b>6</b>
<i>1.2.1. Atomizador.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.2. Balanza analítica.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.3. Barbotina y sus parámetros de calidad.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.4. Bomba</i> 13	
<i>1.2.5. Bomba PPB (potencia de pistones).....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.6. Crómetro.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.7. Características y almacenamiento del polvo atomizado .....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.8. Descripción de los principales dispositivos del atomizador .....</i>	<i>20</i>
<i>1.2.9. Microscopio digital USB de 100X 1.3 MP .....</i>	<i>25</i>
<i>1.2.1. Molienda .....</i>	<i>26</i>
<i>1.2.2. Molino .....</i>	<i>26</i>
<i>1.2.3. Molino de bolas .....</i>	<i>26</i>
<i>1.2.4. Parámetro de humedad .....</i>	<i>27</i>
<i>1.2.5. Parámetro de nivel .....</i>	<i>27</i>
<i>1.2.6. Prensa .....</i>	<i>28</i>
<i>1.2.7. Prensado .....</i>	<i>28</i>
<i>1.2.8. Principal defecto a relacionar con el polvo atomizado .....</i>	<i>28</i>
<i>1.2.9. Tamiz vibratorio .....</i>	<i>29</i>



## CAPÍTULO II

<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	30
<b>2.1. Hipótesis</b> .....	30
<b>2.1.1. Hipótesis General</b> .....	30
<b>2.1.2. Hipótesis Específicas</b> .....	30
<b>2.2. Identificación de variables</b> .....	31
<b>2.2.1. Variables Dependientes</b> .....	31
<b>2.2.2. Variables Independientes</b> .....	31
<b>2.3. Operacionalización de variables</b> .....	32
<b>2.4. Matriz de consistencia</b> .....	35
<b>2.5. Tipo y Diseño de Investigación</b> .....	38
<b>2.5.1. Inductivo</b> .....	38
<b>2.5.2. Deductivo</b> .....	39
<b>2.5.3. Experimental</b> .....	39
<b>2.5.4. Unidad de análisis</b> .....	39
<b>2.5.5. Población de Estudio</b> .....	40
<b>2.5.6. Tamaño de Muestra</b> .....	41
<b>2.6. Selección de Muestra</b> .....	49
<b>2.6.1. Descarga del polvo atomizado a los silos, salida de los silos, recorrido del polvo a las prensas 2000 y 4900, y polvos finos para elaboración de barbotina.</b> .....	50
<b>2.6.2. Barbotina tomada directamente de la cisterna central para los análisis de plasticidad.</b> .....	51
<b>2.7. Técnicas de recolección de datos</b> .....	51

## CAPÍTULO III

<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	57
<b>3.1. Resultados</b> .....	57
<b>3.1.1. Observación de las condiciones operacionales y de transporte del polvo atomizado</b> .....	57
<b>3.1.2. Determinación del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado en el llenado y descarga de los silos.</b> .....	65
<b>3.1.3. Evaluación de la pasta (barbotina) empleada en el proceso de atomización</b> .....	134

<b>3.1.4. Determinación final del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado en el llenado y descarga de los silos (formato 43 x43)</b> .....	143
<b>3.2. Prueba de hipótesis</b> .....	172
<b>3.2.1. Hipótesis 1</b> .....	172
<b>3.2.2. Hipótesis 2</b> .....	176
<b>3.2.3. Hipótesis 3</b> .....	193
<b>3.2.4. Hipótesis 4</b> .....	198
<b>3.2.5. Hipótesis 5</b> .....	201
<b>3.3. Discusión de resultados</b> .....	206

#### CAPÍTULO IV

<b>4. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO</b> .....	212
<b>4.1. Propuesta para la solución del problema</b> .....	212
<b>4.1.1. Plan de mejoras</b> .....	212
<b>4.2. Costos de implementación de la propuesta</b> .....	224

CONCLUSIONES .....	226
--------------------	-----

RECOMENDACIONES.....	228
----------------------	-----

#### BIBLIOGRAFÍA

#### ANEXOS

## ÍNDICE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 1-1</b> Antecedentes de la Investigación.....	5
<b>Tabla 2-1</b> Operacionalización de variables .....	32
<b>Tabla 2-2</b> Matriz de consistencia .....	35
<b>Tabla 2-3</b> Distribución de factores y niveles del diseño experimental.....	38
<b>Tabla 2-4</b> Distribución de los puntos de muestreo .....	42
<b>Tabla 2-5</b> Frecuencia de la toma de muestras en el llenado de los silos .....	44
<b>Tabla 2-6</b> Frecuencia de la toma de muestras en la descarga de los silos .....	45
<b>Tabla 2-7</b> Frecuencia de la toma de muestras en el recorrido de las prensas .....	45
<b>Tabla 2-8</b> Frecuencia de la toma de muestras en los ensayos de plasticidad .....	46
<b>Tabla 2-9</b> Frecuencia de la toma de muestras en el llenado de los silos .....	47
<b>Tabla 2-10</b> Frecuencia de la toma de muestras en la descarga de los silos .....	48
<b>Tabla 2-11</b> Frecuencia de la toma de muestras en el recorrido de las prensas .....	48
<b>Tabla 2-12</b> Frecuencia de la toma de muestras en los ensayos de barbotina con polvos finos ..	49
<b>Tabla 3-1</b> Condiciones operacionales y parámetros de calidad en la producción del polvo atomizado.....	57
<b>Tabla 3-2</b> Recorrido del polvo del atomizador al silo (día soleado) .....	60
<b>Tabla 3-3</b> Recorrido del polvo del atomizador al silo (día nublado).....	61
<b>Tabla 3-4</b> Recorrido del polvo atomizado de los silos a la prensa 2000 (día soleado) .....	63
<b>Tabla 3-5</b> Recorrido del polvo atomizado de los silos a la prensa 2000 (día nublado).....	63
<b>Tabla 3-6</b> Recorrido del polvo atomizado de los silos a la prensa 4900 (día soleado) .....	64
<b>Tabla 3-7</b> Recorrido del polvo atomizado de los silos a la prensa 4900 (día nublado).....	64

<b>Tabla 3-8</b> Resultados obtenidos para la estandarización del método de determinación de humedad. Ensayo # 1. Silo # 9.....	66
<b>Tabla 3-9</b> Resultados obtenidos para la estandarización del método de determinación de humedad. Ensayo # 2. Silo # 9.....	67
<b>Tabla 3-10</b> Resultados obtenidos para la estandarización del método de determinación de humedad. Ensayo # 3. Silo # 9.....	68
<b>Tabla 3-11</b> Resultados estadísticos de Correlación de Pearson para el ensayo 1. Silo #9 .....	69
<b>Tabla 3-12</b> Humedades vs temperatura de calefacción del llenado del silo # 9 para el ensayo 1 .....	71
<b>Tabla 3-13</b> Humedades vs temperatura de calefacción del llenado del silo # 9 para el ensayo 2 .....	72
<b>Tabla 3-14</b> Humedades vs temperatura de calefacción del llenado del silo # 9 para el ensayo 3 .....	72
<b>Tabla 3-15</b> Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para las humedades del llenado del silo # 9 vs temperatura de calefacción.....	73
<b>Tabla 3-16</b> Humedades vs temperatura de calefacción del llenado de los silos aleatorios para el silo 11 .....	76
<b>Tabla 3-17</b> Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para las humedades del llenado de los silos aleatorios (11, 12 y 4) vs temperatura de calefacción.....	77
<b>Tabla 3-18</b> Humedades de la descarga de los silos aleatorios para el silo # 11 vs porcentaje de fisura. ....	80
<b>Tabla 3-19</b> Humedades de la descarga de los silos aleatorios para el silo # 12 vs porcentaje de fisura. ....	81
<b>Tabla 3-20</b> Humedades de la descarga de los silos aleatorios para el silo # 4 vs porcentaje de fisura. ....	81
<b>Tabla 3-21</b> Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para las humedades de la descarga de los silos aleatorios (11, 12, 4) vs porcentaje de fisura. ....	82
<b>Tabla 3-22</b> Granulometría del llenado del silo # 9 para el ensayo 1, relacionada con los parámetros físico-químicos de la barbotina y las temperaturas de calefacción del atomizador. ....	85
<b>Tabla 3-23</b> Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de la malla 40, del silo # 9 de los ensayos 1, 2 y 3. ....	86
<b>Tabla 3-24</b> Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de la malla 60, del silo # 9 de los ensayos 1, 2 y 3. ....	90

<b>Tabla 3-25</b> Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de los finos, del silo # 9 de los ensayos 1, 2 y 3. ....	94
<b>Tabla 3-26</b> Granulometría del llenado del silo # 11, relacionada con los parámetros físico-químicos de la barbotina y las temperaturas de calefacción del atomizador.....	98
<b>Tabla 3-27</b> Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de la malla 40, del silos aleatorios de los silos 11, 12 y 4. ....	99
<b>Tabla 3-28</b> Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de la malla 60, del silos aleatorios de los silos 11, 12 y 4. ....	105
<b>Tabla 3-29</b> Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de los finos, del silos aleatorios de los silos 11, 12 y 4. ....	110
<b>Tabla 3-30</b> Granulometría del llenado del silo # 5 para el ensayo 1, relacionada con los parámetros de calidad y defectos presentes en el producto final. ....	116
<b>Tabla 3-31</b> Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para el porcentaje de fisura frente a la granulometría, del silo # 5 de los ensayos 1, 2 y 3. ....	117
<b>Tabla 3-32</b> Granulometría del llenado de los silos aleatorios para el silo 11, relacionada con los parámetros de calidad y defectos presentes en el producto final. ....	121
<b>Tabla 3-33</b> Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para el porcentaje de fisura frente a la granulometría, de los silos aleatorios para los silos 11, 12 y 4. ....	123
<b>Tabla 3-34</b> Morfología del llenado y descarga del silo # 5 para el ensayo 1, relacionada con los parámetros de calidad y defectos presentes en el producto final. ....	128
<b>Tabla 3-35</b> Morfología del llenado y descarga de los silos aleatorios para el silo 11, relacionada con los parámetros de calidad y defectos presentes en el producto final. ....	129
<b>Tabla 3-36</b> Resultados obtenidos para la determinación del rango de pérdida de humedad. Ensayo # 3. Silo # 5 .....	131
<b>Tabla 3-37</b> Resultados estadísticos del rango de pérdida de humedad. Silo # 5 .....	132
<b>Tabla 3-38</b> Resultados obtenidos para la determinación del rango de pérdida de humedad. Silos aleatorios. Silo # 11 .....	132
<b>Tabla 3-39</b> Resultados estadísticos del rango de pérdida de humedad. Silos aleatorios .....	133
<b>Tabla 3-40</b> Parámetros de calidad y plasticidad de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/C. ....	134
<b>Tabla 3-41</b> Estadísticos descriptivos de los parámetros de calidad de la barbotina. MQ-2016-7/C. Con defloculante .....	137

<b>Tabla 3-42</b> Estadísticos descriptivos de los parámetros de calidad de la barbotina. MQ-2016-7/C. Sin defloculante.....	138
<b>Tabla 3-43</b> Parámetros de calidad y plasticidad de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/D....	139
<b>Tabla 3-44</b> Estadísticos descriptivos de los parámetros de calidad de la barbotina. MQ-2016-7/D. Con defloculante .....	142
<b>Tabla 3-45</b> Estadísticos descriptivos de los parámetros de calidad de la barbotina. MQ-2016-7/D. Sin defloculante.....	142
<b>Tabla 3-46</b> Condiciones operacionales y parámetros de calidad en la producción del polvo atomizado.....	144
<b>Tabla 3-47</b> Humedades de llenado del silo # 5 vs temperaturas de calefacción. Ensayo final	145
<b>Tabla 3-48</b> Regresión lineal múltiple para la relación temperatura de calefacción vs humedad de llenado de los silos 5, 9 y 4. ....	146
<b>Tabla 3-49</b> Humedades de la descarga del silo # 5 para el ensayo final vs porcentaje de fisura. ....	148
<b>Tabla 3-50</b> Granulometría del llenado del silo # 5 para el ensayo final, relacionada con los parámetros físico-químicos de la barbotina y las temperaturas de calefacción del atomizador. ....	149
<b>Tabla 3-51</b> Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de la malla 40, de los silos 5, 9 y 4 del ensayo final.....	150
<b>Tabla 3-52</b> Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de la malla 60, de los silos 5, 9 y 4 del ensayo final.....	155
<b>Tabla 3-53</b> Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de los finos, de los silos 5, 9 y 4 del ensayo final.....	159
<b>Tabla 3-54</b> Granulometría del llenado del silo # 5 para el ensayo final, relacionada con los parámetros de calidad y defectos presentes en el producto final. ....	164
<b>Tabla 3-55</b> Morfología del llenado y descarga del silo # 5 para el ensayo final, relacionada con los parámetros de calidad y defectos presentes en el producto final.....	166
<b>Tabla 3-56</b> Resultados obtenidos para la determinación del rango de pérdida de humedad. Ensayo final .....	167
<b>Tabla 3-57</b> Resultados estadísticos de la determinación de la pérdida de humedad de los silos 5, 9 y 4. Ensayo final.....	169
<b>Tabla 3-58</b> Humedades en el recorrido del polvo atomizado hacia la prensa 2000. Ensayo final .....	170

<b>Tabla 3-59</b> Resultados estadísticos del rango de pérdida de humedad. Prensa 2000.....	171
<b>Tabla 3-60</b> Humedades en el recorrido del polvo atomizado hacia la prensa 4900. Ensayo final .....	171
<b>Tabla 3-61</b> Resultados estadísticos del rango de pérdida de humedad. Prensa 4900.....	172
<b>Tabla 3-62</b> Comparación entre los métodos de determinación de humedad.....	173
<b>Tabla 3-63</b> Resumen de resultados de los porcentajes de correlación de Pearson para la estandarización del método de determinación de humedad del polvo atomizado. ....	174
<b>Tabla 3-64</b> Resultados obtenidos para la estandarización del método de determinación de humedad. Ensayo # 1. Silo # 9.....	175
<b>Tabla 3-65</b> Resumen de resultados estadísticos para la relación entre la variable humedad de llenado de los silos y la temperatura de calefacción. ....	177
<b>Tabla 3-66</b> Resumen de resultados estadísticos para la relación entre la variable porcentaje fisura y la humedad en la descarga de los silos.....	178
<b>Tabla 3-67</b> Relación del porcentaje de fisura en el producto final con los porcentajes de humedad en la descarga del silo # 5. Ensayos 1, 2 y 3. ....	180
<b>Tabla 3-68</b> Relación del porcentaje de fisura en el producto final con los porcentajes de humedad en la descarga de los silos aleatorios (11, 12 y 4). ....	180
<b>Tabla 3-69</b> Resumen de resultados. Relación entre la granulometría de la malla 40 con respecto a la temperatura-viscosidad- presión. Para los silos 5, 9 y silos aleatorios.....	181
<b>Tabla 3-70</b> Resumen de resultados. Relación entre la granulometría de la malla 60 con respecto a la temperatura-viscosidad- presión. Para los silos 5, 9 y silos aleatorios.....	182
<b>Tabla 3-71</b> Resumen de resultados. Relación entre la granulometría de la malla 40 con respecto a la temperatura-viscosidad- presión. Para los silos 5, 9 y silos aleatorios.....	184
<b>Tabla 3-72</b> Relación de la granulometría correspondiente a la malla 40 y valores de temperatura, viscosidad y presión de bombeo del silo # 5. Ensayos 1, 2 y 3.....	186
<b>Tabla 3-73</b> Relación de la granulometría correspondiente a la malla 40 y valores de temperatura, viscosidad y presión de bombeo de los silos aleatorios. ....	186
<b>Tabla 3-74</b> Relación de la granulometría correspondiente a la malla 60 y valores de temperatura, viscosidad y presión de bombeo del silo # 5. Ensayos 1, 2 y 3.....	186
<b>Tabla 3-75</b> Resumen de resultados de la relación entre la granulometría de las mallas 40, 60 y finos con respecto al porcentaje de fisura que presenta el producto final.....	187

<b>Tabla 3-76</b> Relación de la granulometría a las mallas 40, 60 y finos y valores de fisura del silo # 5. Ensayos 1, 2 y 3. ....	189
<b>Tabla 3-77</b> Relación de la granulometría a las mallas 40, 60 y finos y valores de fisura de los silos aleatorios. Ensayos 11, 12 y 4.....	189
<b>Tabla 3-78</b> Morfología del silo # 11 con mayor porcentaje de fisura en el producto terminado .....	191
<b>Tabla 3-79</b> Condiciones operacionales y parámetros de calidad en la producción del polvo atomizado. ....	193
<b>Tabla 3-80</b> Resultados de los porcentajes de humedad de llenado frente a los valores de temperaturas para los silos 5, 9 y 4. Ensayo final. ....	194
<b>Tabla 3-81</b> Resultados de los porcentajes de humedad de descarga frente a los valores de fisura para los silos 5, 9 y 4. Ensayo final.....	195
<b>Tabla 3-82</b> Granulometría de las mallas 40, 60 y finos del llenado de los silos 5, 9 y 4. ....	196
<b>Tabla 3-83</b> Granulometría de las mallas 40, 60 y finos de descarga de los silos 5, 9 y 4. Ensayo final. ....	196
<b>Tabla 3-84</b> Morfología del silo # 9 relacionado con la calidad y defecto de fisura del producto final .....	197
<b>Tabla 3-85</b> Morfología del silo # 5 relacionado con la calidad y defecto de fisura del producto final. ....	198
<b>Tabla 3-86</b> Comparación entre las condiciones iniciales y finales del polvo atomizado.....	199
<b>Tabla 3-87</b> Parámetros de calidad y plasticidad de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/D....	205
<b>Tabla 3-88</b> Parámetros de calidad y plasticidad de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/C. ....	206
<b>Tabla 3-89</b> Mejoras en los valores de las variables de interés a mejoras para eliminar los porcentajes de fisura en el producto final. ....	209
<b>Tabla 4-1</b> Coordenadas geográficas .....	212
<b>Tabla 4-2</b> Equivalencias porcentuales para calidad estándar generada por fisuras.....	214
<b>Tabla 4-3</b> Equivalencias de producción (m <sup>2</sup> /diaria), para calidad estándar generada por fisuras (formato 40x40). ....	215
<b>Tabla 4-4</b> Costos de producción diaria (formato 40x40). ....	215
<b>Tabla 4-5</b> Equivalencias de producción (m <sup>2</sup> /año), para calidad estándar generada por fisuras (formato 40x40). ....	215



<b>Tabla 4-6</b> Costos de producción para 4 meses (formato 40x40).....	216
<b>Tabla 4-7</b> Equivalencias de producción (m <sup>2</sup> /diaria), para calidad estándar generada por fisura (formato 43x43). .....	216
<b>Tabla 4-8</b> Costos de producción diaria (formato 43x43). .....	216
<b>Tabla 4-9</b> Equivalencias de producción (m <sup>2</sup> /4meses), para calidad estándar generada por fisuras (formato 40x40). .....	217
<b>Tabla 4-10</b> Costos de producción para 4 meses (formato 43x43). .....	217
<b>Tabla 4-11</b> Plan de mantenimiento para el proceso de atomización. C. A. Ecuatoriana de Cerámica .....	219
<b>Tabla 4-12</b> Readecuación a las líneas de transporte del polvo atomizado del atomizador a los silos y de los silos a las prensas 2000 y 4900. ....	221
<b>Tabla 4-13</b> Costos de producción e ingresos de venta, del producto final por año para los formatos 43x43 y 40x40.....	224
<b>Tabla 4-14</b> Costos de producción, pérdidas por fisuras y ganancias por producción sin fisura.....	225

## ÍNDICE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1-1</b> Esquema de un atomizador .....	6
<b>Figura 1-2</b> Balanza analítica .....	7
<b>Figura 1-3</b> Picnómetro .....	10
<b>Figura 1-4</b> Cuchara para determinar el número de golpes. Plasticidad.....	12
<b>Figura 1-5</b> Viscosímetro de Saybolt.....	13
<b>Figura 1-6</b> Bomba PPB .....	14
<b>Figura 1-7</b> Crómetro .....	15
<b>Figura 1-8</b> Lámpara para determinación de humedad.....	17
<b>Figura 1-9</b> Posible distribución granulométrica de una pasta atomizada y aspectos morfológicos de los granos para diferentes dimensiones .....	16
<b>Figura 1-10</b> Esquema de la formación de los granos atomizados .....	18
<b>Figura 1-11</b> Microfotografía de los granos atomizados .....	18
<b>Figura 1-12</b> Silos rectangulares.....	20
<b>Figura 1-13</b> Filtros de la barbotina.....	21
<b>Figura 1-14</b> Representación de los diferentes componentes de una tobera.....	22
<b>Figura 1-15</b> Lanzas para secado por pulverización de barbotina. ....	22
<b>Figura 1-16</b> Esquematización de los ciclones separadores para la eliminación de polvos finos	23
<b>Figura 1-17</b> Esquematización de los torbellinos de aire caliente que se forman en el distribuidor .....	24
<b>Figura 1-18</b> Modelo de la distribución de la trayectoria de las partículas en el interior del atomizador.....	24
<b>Figura 1-19</b> Ventosas para enfriamiento de polvo atomizado .....	25

<b>Figura 1-20</b> Microscopio Digital USB.....	26
<b>Figura 1-21</b> Molinos de bolas con agitadores .....	27
<b>Figura 1-22</b> Prensa para elaborar placas de contracción y absorción .....	28
<b>Figura 1-23</b> Cerámica con fisura.....	29
<b>Figura 1-24</b> Torre vibratoria de tamices .....	29
<b>Figura 2-1</b> Recipiente empleado para toma de muestra .....	50
<b>Figura 2-2</b> Toma de muestra para el polvo atomizado y fino .....	50
<b>Figura 2-3</b> Toma de muestra para barbotina .....	51
<b>Figura 3-1</b> Morfología óptima del grano atomizado en el llenado y descarga de los silos.....	190
<b>Figura 3-2</b> Empaquetado y prensado óptimo del polvo atomizado con un grano óptimo.....	191
<b>Figura 3-3</b> Empaquetado y prensado ineficiente del polvo atomizado con un grano si oquedad en el centro.....	192
<b>Figura 3-4</b> Cerámica con fisura.....	192
<b>Figura 4-1</b> Localización de la empresa .....	212
<b>Figura 4-2</b> Recipiente para toma de muestra para el polvo atomizado y fino.....	223
<b>Figura 4-3</b> Toma de muestra para el polvo atomizado y fino .....	223

## ÍNDICE GRÁFICOS

	<b>Página</b>
<b>Gráfico 3-1</b> Estandarización del método de humedad. Ensayo # 1. Silo # 9 .....	66
<b>Gráfico 3-2</b> Estandarización del método de humedad. Ensayo # 2. Silo # 9 .....	67
<b>Gráfico 3-3</b> Estandarización del método de humedad. Ensayo # 3. Silo # 9 .....	68
<b>Gráfico 3-4</b> Humedad promedio vs temperatura. Ensayo 1. Silo # 9.....	71
<b>Gráfico 3-5</b> Humedad promedio vs temperatura. Ensayo 2. Silo # 9.....	72
<b>Gráfico 3-6</b> Humedad promedio vs temperatura. Ensayo 3. Silo # 9.....	73
<b>Gráfico 3-7</b> Humedad promedio vs temperatura de calefacción. Silo # 9.....	75
<b>Gráfico 3-8</b> Humedad promedio vs temperatura. Silo # 11. Silos aleatorios .....	76
<b>Gráfico 3-9</b> Humedad promedio vs temperatura de calefacción. Silos aleatorios 11, 12 y 4.....	78
<b>Gráfico 3-10</b> Regresión de fisura relacionada con las humedades de descarga para los silos aleatorios (11, 12 y 4). .....	83
<b>Gráfico 3-11</b> Relación entre la granulometría en el llenado del silo # 9 para el ensayo 1 y la norma de granulometría. ....	86
<b>Gráfico 3-12</b> Regresión parcial de la malla 40 con respecto a la temperatura (tabla 3-23), en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 9. ....	88
<b>Gráfico 3-13</b> Regresión parcial de la malla 40 con respecto a la viscosidad (tabla 3-23), en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 9. ....	88
<b>Gráfico 3-14</b> Regresión parcial de la malla 60 con respecto a la temperatura (tabla 3-24), en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 9. ....	92
<b>Gráfico 3-15</b> Regresión parcial de la malla 60 con respecto a la viscosidad (tabla 3-24), en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 9. ....	92
<b>Gráfico 3-16</b> Regresión parcial de los finos con respecto a la temperatura (tabla 3-25), en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 9 .....	96
<b>Gráfico 3-17</b> Regresión parcial de los finos con respecto a la viscosidad (tabla 3-25), en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 9. ....	96

<b>Gráfico 3-18</b> Relación entre la granulometría en el llenado del silo # 11 y la norma de granulometría. ....	99
<b>Gráfico 3-19</b> Regresión parcial de la malla 40 con respecto a la temperatura (tabla 3-27), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.....	101
<b>Gráfico 3-20</b> Regresión parcial de la malla 40 con respecto al número de silos (tabla 3-27), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.....	102
<b>Gráfico 3-21</b> Regresión parcial de la malla 40 con respecto a la viscosidad (tabla 3-27), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.....	102
<b>Gráfico 3-22</b> Regresión parcial de la malla 60 con respecto a la temperatura (tabla 3-28), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.....	107
<b>Gráfico 3-23</b> Regresión parcial de la malla 60 con respecto al número de silos (tabla 3-28), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.....	107
<b>Gráfico 3-24</b> Regresión parcial de la malla 60 con respecto a la viscosidad (tabla 3-28), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.....	108
<b>Gráfico 3-25</b> Regresión parcial de los finos con respecto a la temperatura (tabla 3-29), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.....	112
<b>Gráfico 3-26</b> Regresión parcial de los finos con respecto al número de silos (tabla 3-29), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.....	113
<b>Gráfico 3-27</b> Regresión parcial de los finos con respecto a la viscosidad (tabla 3-29), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.....	113
<b>Gráfico 3-28</b> Relación entre la granulometría en la descarga del silo # 5 para el ensayo 1 y la norma de granulometría. ....	116
<b>Gráfico 3-29</b> Regresión de la fisura con respecto a la granulometría de la malla 40, en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 5. ....	118
<b>Gráfico 3-30</b> Regresión de la fisura con respecto a la granulometría de la malla 60, en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 5. ....	119
<b>Gráfico 3-31</b> Regresión de la fisura con respecto a la granulometría de los finos, en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 5. ....	119
<b>Gráfico 3-32</b> Relación entre la granulometría en la descarga de los silos aleatorios para el silo # 11 y la norma de granulometría. ....	122
<b>Gráfico 3-33</b> Regresión de la fisura con respecto a la granulometría de la malla 40, en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.....	124

<b>Gráfico 3-34</b> Regresión de la fisura con respecto a la granulometría de la malla 60, en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.....	125
<b>Gráfico 3-35</b> Regresión de la fisura con respecto a la granulometría de los finos, en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios. ....	125
<b>Gráfico 3-36</b> Rango de pérdida de humedad en el llenado y descarga del silo # 5 para el ensayo3. ....	131
<b>Gráfico 3-37</b> Rango de pérdida de humedad en el llenado y descarga de los silos aleatorios para el silo # 11.....	133
<b>Gráfico 3-38</b> Relación entre los valores del índice de plasticidad y contracción de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/C. ....	135
<b>Gráfico 3-39</b> Relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en húmedo de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/C8.....	136
<b>Gráfico 3-40</b> Relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en seco de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/C. ....	136
<b>Gráfico 3-41</b> Relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en cocido de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/C.....	137
<b>Gráfico 3-42</b> Relación entre los valores del índice de plasticidad y contracción de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/D. ....	140
<b>Gráfico 3-43</b> Relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en húmedo de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/D. ....	140
<b>Gráfico 3-44</b> Relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en seco de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/D. ....	141
<b>Gráfico 3-45</b> Relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en cocido de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/D. ....	141
<b>Gráfico 3-46</b> Humedad promedio en el llenado del silo # 5 vs temperatura de calefacción ....	145
<b>Gráfico 3-47</b> Regresión de humedad promedio vs temperatura de calefacción. Silos 5,9, y 4.	147
<b>Gráfico 3-48</b> Relación entre la granulometría en el llenado del silo # 5 para el ensayo final y la norma de granulometría .....	150
<b>Gráfico 3-49</b> Regresión parcial de la malla 40 con respecto a la temperatura (tabla 3-51), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4. ....	152
<b>Gráfico 3-50</b> Regresión parcial de la malla 40 con respecto a la presión de bombeo (tabla 3-51), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4. ....	152

<b>Gráfico 3-51</b> Regresión parcial de la malla 40 con respecto al número de silo (tabla 3-51), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4. ....	153
<b>Gráfico 3-52</b> Regresión parcial de la malla 60 con respecto a la temperatura (tabla 3-52), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4. ....	156
<b>Gráfico 3-53</b> Regresión parcial de la malla 60 con respecto a la presión de bombeo (tabla 3-52), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4. ....	157
<b>Gráfico 3-54</b> Regresión parcial de la malla 60 con respecto al número de silo (tabla 3-52), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4. ....	157
<b>Gráfico 3-55</b> Regresión parcial de los finos con respecto a la temperatura (tabla 3-53), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4. ....	161
<b>Gráfico 3-56</b> Regresión parcial de los finos con respecto a la presión de bombeo (tabla 3-53), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4. ....	161
<b>Gráfico 3-57</b> Regresión parcial de los finos con respecto al número de silo (tabla 3-53), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4. ....	162
<b>Gráfico 3-58</b> Relación entre la granulometría en la descarga del silo # 5 para el ensayo final y la norma de granulometría. ....	165
<b>Gráfico 3-59</b> Rango de pérdida de humedad en el llenado y descarga del silo # 5 para el ensayo final. ....	168
<b>Gráfico 3-60</b> Rango de pérdida de humedad en el llenado y descarga del silo # 9 para el ensayo final. ....	168
<b>Gráfico 3-61</b> Rango de pérdida de humedad en el llenado y descarga del silo # 9 para el ensayo final. ....	169
<b>Gráfico 3-62</b> Estandarización del método de humedad. Ensayo # 1. Silo # 9. ....	176

## SIMBOLOGÍA

Abs.	absorción
cm	centímetros
e	espesor de la probeta
g	gramos
Hi	hipótesis alternativa
Ho	hipótesis nula
Kg	kilogramos
L	distancia entre apoyos
mm	milímetros
MOR	módulo de rotura
N	newtons
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
P	carga promedio
$\rho$	densidad
Dfe	Defloculante
MQ	Monoquema
BM	Banda de transporte monoquema
BMF	Banda de transporte polvos finos
EEM	Entrada elevador monoquema
SEM	Salida elevador monoquema
TVM	Vibrotamiz
L	Lámpara
S	Segundos Saybolt
USB	Universal Serial Bus
Min	Minutos
%	Porcentaje



## RESUMEN

Se evaluó las condiciones de secado del polvo atomizado empleado en la fabricación de Gres Rojo (Monoquema-Revestimiento de Pisos Cerámicos) en la empresa C.A. Ecuatoriana de Cerámica. Por lo cual inicio evaluando las condiciones de secado del polvo atomizado empleado para la fabricación del producto antes mencionado. Dicha evaluación se llevó a cabo bajo un diseño experimental de tipo trifactorial de tres niveles con tres repeticiones, que consistió en el análisis de las variables operacionales, de transporte y parámetros de calidad (humedad, granulometría y morfología) del polvo atomizado, desde la producción del mismo en el atomizador, pasando por su almacenamiento en los silos 5, 9 y tres silos aleatorios (11, 12 y 4), hasta la descarga de los silos antes mencionados las prensas. Todas las variables involucradas en la experimentación, se evaluaron mediante el método de regresión lineal múltiple, siendo estas relacionadas con el porcentaje de fisura que presente en el producto final (Gres rojo-Monoquema-revestimiento de pisos cerámicos brillante, formato 43x43), que fue fabricado con el polvo atomizado de cada silo estudiado, con el objetivo de conocer la causa para el parecimiento de dicho defecto superficial (fisura). Se detectó que la causa para el origen de fisura es la incorrecta geomorfología del grano atomizado, para lo cual se implementaron cambios en el proceso de atomización y se sugirió un plan de mejoras que asegura la eliminación de fisuras en el producto final. Para lo cual se sugiere a C. A. Ecuatoriana de Cerámica implementar el plan de mejoras sugerido para así aumentar la calidad de exportación del producto en cuestión y generar un margen de ganancias elevado en su venta.

**Palabras clave:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <SECADO POR ATOMIZACIÓN>, <HUMEDAD>, <GRANULOMETRÍA>, <MORFOLOGÍA DEL GRANO ATOMIZADO>, <FISURAS>.

## ABSTRACT

The drying conditions of the atomized powder used in the manufacture of Red Stoneware (Monoquema Ceramic Floor Coating) in C.A. Ecuatoriana de Cerámica. Therefore, I started by evaluating the drying conditions of the atomized powder used to manufacture the aforementioned product. This evaluation was carried out under a tri-factorial experimental design of three levels with three repetitions, which consisted in the analysis of the operational variables, transport and quality parameters (humidity, granulometry and morphology) of the atomized powder, from the production of the same in the atomizer, through its storage in the silos 5.9 and three random silos (11,12 and 4), until the discharge of the aforementioned silos the presses. All the variables involved in the experimentation were evaluated by means of the multiple linear regression method, being these related to the percentage of fissure present in the final product (Gres red-Monoquema-glossy ceramic floor covering, format 43x43), which was manufactured with the atomized powder of each silo studied, with the aim of knowing the cause for the appearance of said superficial defect (fissure). It was detected that the cause for the origin of the fissure is the incorrect geomorphological of the atomized grain, for which they implemented changes in the final process. For which it is suggested to C.A. Ecuatoriana de Cerámica implement the suggested improvement plan in order to increase the export quality of the product in question and generate a high profit margin in its sale.

**Keywords:** <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <ATOMIZATION DRYING>, <HUMIDITY>, <GRANULOMETRY>, <MORPHOLOGY OF THE ATOMIZED GRAIN>,> <FISSURES>.

# INTRODUCCIÓN

## **Identificación del problema.**

De acuerdo con la Sociedad Española de Cerámica y Vidrios, 2013; el proceso de secado por atomización es una operación básica cuyo principio radica en la transformación de una suspensión o disolución en un material seco particulado, mediante la pulverización del primero en un medio caliente y seco. Es gracias a este proceso, que se puede obtener un polvo atomizado (pasta) que después de varias operaciones se convierte en una pieza de cerámica en óptimas condiciones, en la que se emplean los últimos acabados para obtener así un Revestimiento Cerámico para pisos de alta calidad. (Mondragón , y otros, 2013)

El proyecto consiste en la evaluación de las condiciones del polvo atomizado empleado para la fabricación de gres rojo (Monoquema-revestimiento de pisos cerámicos) en la empresa C.A. Ecuatoriana de Cerámica; debido a que esta presenta problemas en lo que respecta a humedad, granulometría y morfología del grano del polvo atomizado los mismos que causan fallas en el producto terminado. Se procederá a realizar una evaluación del funcionamiento de todo el proceso de atomización y de las bandas que transportan el polvo atomizado haciendo hincapié en las condiciones en la que este se transporta para identificar las posibles fallas, posteriormente se analizarán los datos recabados para proceder a determinar un plan de mejoras que favorezca al mejoramiento del proceso. Estas mejoras deberán cumplir con los procedimientos establecidos por la empresa y acorde a los requerimientos de calidad del producto final (Monoquema-revestimiento de pisos cerámicos).

No obstante es relevante resaltar que la problemática presente en la empresa C.A. Ecuatoriana de Cerámica ubicada en la provincia de Chimborazo-Riobamba, es el apareamiento constante de fisura en la pieza cerámica (producto final), lo cual ralentiza la producción y disminuye la calidad del producto final (revestimiento para pisos cerámicos), para lo cual es imperativo realizar un estudio que permita implementar mejoras en las condiciones del polvo atomizado para mejorar la calidad y eficiencia del producto.

## **Justificación del proyecto**

C.A. Ecuatoriana de Cerámica es una empresa ecuatoriana que desde sus inicios (septiembre de 1960), ha mantenido un fiel compromiso por brindar productos de calidad, amigables con el medio ambiente y ofertando precios módicos para sus clientes. Sus primeras líneas de producción estuvieron encaminadas a producir Revestimientos Cerámicos de pared y piso en formatos pequeños. Hoy en día con el fin de mejorar la calidad de sus productos Ecuatoriana de Cerámica produce Porcelanato, Revestimientos cerámicos de pared y piso, Cenefas y Mosaicos. Siendo que los productos de pisos son los más solicitados debido a la elegancia, resistencia y finura de sus acabados.

La producción de Revestimientos para pisos cerámicos y otros productos en C.A. Ecuatoriana de Cerámica está regida a estándares y normas de calidad muy rigurosos, teniendo que esta empresa desde el año de 1994 cuenta con certificación ISO 9001. El Revestimiento para pisos cerámicos es un producto joven en esta empresa y como tal no se espera menos en cuanto a calidad y cantidad de producción. De este hecho la empresa se ha planteado realizar un estudio exhaustivo a toda la línea de producción de Cerámica, empezando por el mejoramiento del proceso de Atomización.

De acuerdo con La Sociedad Española de Cerámica y Vidrios, 2013; El proceso de secado por atomización es una operación básica que consiste en la transformación de una suspensión o disolución en un material seco particulado, mediante la atomización del primero en un medio caliente y seco.

Es gracias a este proceso, que se puede obtener una pieza de cerámica en óptimas condiciones, en la que se emplean los últimos acabados para obtener así un Revestimiento Cerámico para pisos de alta calidad.

El polvo atomizado es producido con una humedad de 7,8 - 8 %, misma que disminuye, teniendo como parámetros de salida un porcentaje de humedad del 7,4 - 7,8 %.

En este proceso no siempre se cumple con los parámetros de salida establecidos, ya que estos suelen variar por varias razones; condiciones de entrada de la barbotina, número de lanzas funcionales, número boquillas tapadas, condiciones del ambiente en el trayecto en que se transporta el polvo atomizado al silo y del silo a la prensa.

Por esta razón se requiere evaluar las condiciones del proceso de atomización para así mantener la humedad dentro del rango preestablecido, lo cual mejorará la producción. Este objetivo se llevará a cabo efectuando una evaluación de las variables que intervienen en el proceso y empleando mejoras en el mismo.

Es sumamente importante llevar a cabo este proyecto, debido a que si mejoramos las condiciones operacionales del proceso de atomización podremos mejorar el rendimiento de la producción de Revestimiento Cerámico para pisos, teniendo así que la empresa podrá ofrecer un producto de mayor calidad y cantidad a sus clientes, favoreciendo el crecimiento económico de la empresa y del país.

## **Objetivos del proyecto**

### ***Objetivo General***

- Evaluar las condiciones de secado del polvo atomizado empleado en la fabricación de Gres Rojo (Monoquema-Revestimiento de Pisos Cerámicos) en la empresa C.A. Ecuatoriana de Cerámica.

### ***Objetivos Específicos***

- Estandarizar el método de determinación de la humedad del polvo atomizado.
- Efectuar un análisis de las variables que intervienen en el proceso de atomización para la producción de Gres Rojo (Monoquema-Revestimiento de Pisos Cerámicos).
- Implementar mejoras en las condiciones operacionales y de transporte del polvo atomizado desde el atomizador a la prensa.
- Comparar las condiciones finales del polvo atomizado antes y después de la implementación de mejoras
- Implementar el análisis de plasticidad y morfología como procedimientos propios de calidad para el polvo atomizado.

## **CAPITULO I**

### **1. MARCO TEÓRICO**

#### **1.1. Antecedentes de la Investigación**

Hace miles de años los hombres primitivos ya supieron hacer uso de arcilla, componente del suelo. Trabajaban con agua una pasta que era muy fácil de moldear, las necesidades les hicieron comprender que trabajando esta pasta lograban unos utensilios que utilizaban para uso doméstico, bien en forma de plato o de vasija. Estos utensilios, una vez sometidos al secado en el sol tenían una cierta consistencia. Se puede suponer que, por coincidencia, como pasa en la mayoría de casos, caería alguna pieza sobre el fuego, o como ya conocían el fuego, simplemente pusieron las piezas a cocer, para ver hasta qué punto serían resistentes al calor, proporcionándole a las piezas con este sistema, la dureza propia de la cerámica, con lo que inventaron la alfarería.

Más tarde a los utensilios de alfarería les impregnaban una cocción de hojas y cortezas dándole un tono de color y cierto grado de impermeabilidad, surgiendo así el primer vidriado vegetal de la historia. (Canillada Huerta, 2007)

Los primeros indicios acerca del uso y fabricación de cerámica fue proveniente de los países Irán y Palestina (VI a.C). Luego se verificaron en Egipto (3000 a.C) las cuales se extendieron por Creta, Mesopotamia, Grecia y Europa Occidental hasta China donde progreso a gran velocidad, mientras que la industria de la cerámica en Ecuador empezó desde el siglo XVII con la aparición de la porcelana mediante mínimas importaciones de tazas, botellas, platos y jarrones procedentes del continente Asiático. Posteriormente ocurrió un cambio en su utilización implementándose como material de construcción, por lo cual se dio la aparición de tejas y ladrillos. A partir de aquellos tiempos la industria de la cerámica se ha desarrollado hasta la actualidad, principalmente en el austro ecuatoriano, teniendo como referencia la ciudad de Cuenca. La tradición se debe a la creatividad por parte de los artesanos y la fascinante naturaleza con la que se cuenta en esta región del país, de la cual proviene la materia prima de alta calidad. (González Macías, y otros, 2017)

La fabricación de la cerámica ha sido una parte trascendental para el crecimiento de la economía austral, consistiendo hoy en día C.A Ecuatoriana de Cerámica, una de las empresas más

importante en la fabricación de cerámica a nivel nacional y de América Latina. (González Macías, y otros, 2017)

La empresa C.A Ecuatoriana de Cerámica tuvo sus inicios en el año 1996 en la ciudad de Cuenca con la participación mayoritaria del grupo Venezolano Vollmer y accionistas de Quito y Riobamba con un número de 593 trabajadores en el 2015. (González Macías, y otros, 2017)

C.A Ecuatoriana de Cerámica es una empresa que sigue innovando sus procesos de producción, por lo cual evaluación de los mismos es importante para asegurar la calidad en sus productos. En la actualidad se han llevado a cabo investigaciones acerca de la granulometría, condiciones de transporte y correcto funcionamiento de los equipos que producen un polvo atomizado para la elaboración de cerámicas tanto para paredes (azulejos) como para pisos, he aquí se detallan varios estudios en los cuales se basará la realización de esta investigación.

**Tabla 1-1** Antecedentes de la Investigación

<b>Nombre del Estudio</b>	<b>Tipo</b>	<b>Autor</b>	<b>Fecha</b>
Estudio de las variables del polvo atomizado y su influencia en la calidad de las baldosas prensadas	Tesis	Elizabeth Carolina Di Geronimo Camacho	2008
<b>Nombre del Estudio</b>	<b>Tipo</b>	<b>Autor</b>	<b>Fecha</b>
El proceso de secado por atomización: formación de gránulos y cinética de secado de gotas	Artículo	Rosa Mondragón, J. Enrique Julia, Antonio Barba, Juan Carlos Jarque	2013
<b>Nombre del Estudio</b>	<b>Tipo</b>	<b>Autor</b>	<b>Fecha</b>
Estudio del proceso de granulación como alternativa eficiente a la atomización en la fabricación de baldosas cerámicas	Tesis	Enric Barreda Fabregat	2015
<b>Nombre del Estudio</b>	<b>Tipo</b>	<b>Autor</b>	<b>Fecha</b>
Estudio de la operación de secado por atomización de polvos cerámicos a escala industrial, su control y automatización.	Artículo	F. Negre; J.C. Jarque; C. Feliu; J.E. Enrique	2015
<b>Nombre del Estudio</b>	<b>Tipo</b>	<b>Autor</b>	<b>Fecha</b>
Estudio de los factores de transmisión de la variabilidad dimensional en la fabricación de baldosas cerámicas	Artículo	J. V. Abellán Nebot , C. Vila Pastor, G. M. Bruscas Bellido, J. Serrano Mira	2016

**Fuente:** Webgrafía

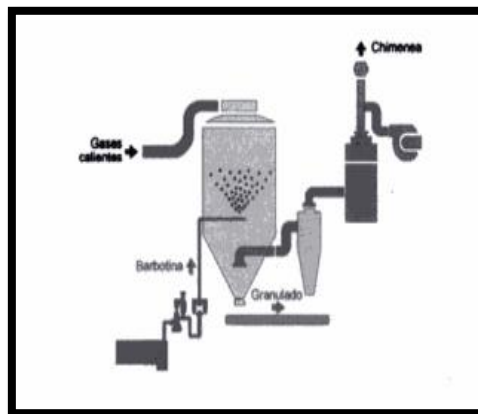
**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

## 1.2. Marco conceptual

### 1.2.1. *Proceso de Atomización*

La atomización es un proceso de secado por el cual la barbotina proveniente de las cisternas de almacenamiento del área de molienda, con un contenido en sólidos entre el 7,4% y el 8,5% y con una viscosidad óptima (alrededor de 60 a 80 s), es dosificada a alta presión (18-20 bar) por medio de bombas con pistones de potencia; la barbotina finamente pulverizada se seca poniéndola en contacto con un flujo de gases calientes (a temperaturas del orden de los 700°C-760°C) que proceden de un quemador convencional aire-gas natural que son los gases de salida de una turbina de cogeneración; el agua contenida en la barbotina es evaporada y se obtienen polvos granulares con distribución de tamaño de partícula y humedad apropiados para la etapa de prensado.

El polvo atomizado, con una humedad entre el 7,4% y el 7,8%, se descarga en una banda transportadora y se traslada a los silos para su prensado después del tiempo de maduración. El monitoreo de la distribución granulométrica es importante en tanto a que esta influye en la fluidez del polvo atomizado para poder alimentar de manera óptima las prensas y llenar los alvéolos de los moldes para generar así bizcochos compactos y libre de defectos. (Abellán Nebót, y otros, 2015)



**Figura 1-1** Esquema de un atomizador

**Fuente:** (Sanfeliu, y otros, 2005)

La atomización es una operación unitaria que cuyo principio es la transformación de una suspensión o disolución en un material seco particulado, por medio de la pulverización del primero en un medio caliente y seco. (Mondragón , y otros, 2013)



### **1.2.1. Atomizador**

Es todo dispositivo que como el pulverizador de perfume, emplea el paso de aire por un tubo de Venturi para inyectar gotitas de líquido. Se dice que este se atomiza, si bien sólo se distribuye en gotitas. Como estas son muy pequeñas se vaporizan rápidamente. (Fernández Ferrer, 2006)

Dispositivo por el cual se pulveriza o se rocía un líquido en muy pequeñas gotas. (Lara, 2011)

### **1.2.2. Balanza analítica**

La balanza es un dispositivo empleado para medir la masa de una sustancia. La balanza analítica es un tipo de balanza empleada principalmente para medir pequeñas masas. Este tipo de balanza es uno de los dispositivos de medida más utilizados en laboratorio y del cual dependen básicamente todos los resultados analíticos. (TP-Laboratorio Químico, 2018)



**Figura 1-2** Balanza analítica

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica , 2015)

### **1.2.3. Barbotina y sus parámetros de calidad**

Es la pasta que se produce para adherir dos piezas de un mismo objeto, antes de la etapa de atomización y prensado. La formulación de la pasta se realiza con arcillas del mismo tipo con la que ha sido producido el objeto siendo más fluida por la adición de agua. Se puede decir que es el adhesivo de las pastas arcillosas. (Glosario de cerámica, 2011)

Es una disolución de partículas coloidales (pequeñas no sedimentables) de cerámica en un líquido inmisible (no solubles entre sí) que generalmente es agua. (Kalpakjian, y otros, 2002)

La barbotina (materia prima) proviene de una cisterna central. Trabajan cuatro tamizadores, una bomba para dirigir la barbotina tamizada hacia los tamices cinco, seis y siete, y por medio de bombeo pasa a la cisterna central la cual será utilizada como almacenamiento neto que alimentara al atomizador. (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

#### *1.2.3.1. Absorción*

La absorción de agua de un producto cerámico se define como la cantidad de agua que este retiene durante 2 horas sumergido en agua (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

La absorción de humedad es la expresión del porcentaje que relaciona la absorción de agua y el peso de la pieza cerámica. (Collado Trabanco, y otros, 2006)

La absorción del agua de cada placa cerámica expresada en porcentaje, se calcula mediante la ecuación siguiente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica , 2015)

$$\% \text{ Absorción} = \frac{M_f - M_i}{M_i} \times 100 \quad \text{Ecuación 1-2}$$

*Siendo:*

$M_i$  = masa inicial (masa de la muestra)

$M_f$  = masa final (masa de la muestra después de haber hervido durante 2 horas)

#### *1.2.3.2. Contracción*

Es la reducción de tamaño que experimenta una baldosa en verde durante su cocción. (Fernández Chiti, 1987)

La contracción en el secado del bizcocho constituye una medida importante en la industria de la cerámica roja, ya que son las fluctuaciones en los valores de la misma en los cuerpos cerámicos, dan lugar a la rotura de estos. (UNIOVI, 2016)

La contracción de cada pieza, se lo calcula mediante las siguientes ecuaciones: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica , 2015)

$$\text{Contracción húmedo-seco} = \frac{L1-L2}{L1} \times 100 \quad \text{Ecuación 2-2}$$

$$\text{Contracción Seco-quemado} = \frac{L2-L3}{L2} \times 100 \quad \text{Ecuación 3-2}$$

$$\text{CONTRACCIÓN TOTAL:} = \text{Cont. hum.-seco} + \text{Cont. seco-cocido} \quad \text{Ecuación 4-2}$$

$$\text{Contracción total} = \frac{L1-L3}{L1} \times 100 \quad \text{Ecuación 5-2}$$

Siendo:

$L1$  = longitud de la muestra húmeda.

$L2$  = longitud de la muestra seca.

$L3$  = longitud de la muestra cocida.

#### 1.2.3.3. Defloculante

Es un agente cuya función es dispersar las grandes masas formada por el material particulado fino presentes en la pasta líquida (barbotina), empleada para la elaboración de productos cerámicos. Los tipos de defloculante son muy variados, pero los más utilizados son: Metasilicato de sodio, Oxalato de sodio. (Secretaría de recursos hidráulicos, 1948)

Son diluyentes cuya función es disminuir la viscosidad de una mezcla (evitan la floculación). Por lo general son polímeros aniónicos de bajo peso molecular que equilibran las cargas positivas en los polos de las arcillas que componen la pasta líquida (barbotina). Algunos de estos los comprenden los polifosfatos, los lignosulfonatos, el quebracho y distintos polímeros solubles en agua. (Oilfield Glossary, 2018)

#### 1.2.3.4. Densidad

Es la porción de materia que ocupa un volumen establecido. (Martínez Álvarez, y otros, 2007)

Es la medida referida a la porción de materia comprendida en un volumen establecido, y puede emplearse en términos absolutos o relativos. (Universidad Politécnica de Catalunya, 2010)

La densidad de la muestra expresada en gramos por centímetro cubico, se calcula mediante la ecuación siguiente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica , 2015)

$$\text{Densidad } \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} \quad \text{Ecuación 6-2}$$

$$\text{Densidad } \left( \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{P_2 - P_1}{100} \quad \text{Ecuación 7-2}$$

Siendo:

$P_1$  = peso del picnómetro vacío más tapa.

$P_2$  = peso del picnómetro más la muestra más tapa



**Figura 1-3** Picnómetro

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica , 2015)

#### 1.2.3.5. Módulo de ruptura

Es la resistencia máxima establecida en un ensayo de flexión o torsión. En un ensayo de flexión, el módulo de rotura es el esmero máximo en la fibra cuando se produce el fallo. En un ensayo de torsión, el módulo de rotura es el esmero de cizalladura máximo de la fibra extrema de un miembro circular cuando se produce el fallo. (Instron, 2017)

Llamada también resistencia a la fricción, que se deriva de la dimensión fuerza de rotura a través de una fórmula matemática (ecuación 8-2).

El resultado del ensayo expuesto en newton por milímetro cuadrado (N/mm<sup>2</sup>), aborda a la resistencia mecánica de la baldosa cerámica imparcialmente de su grosor. (Institut de Promoció Cerámica, 2017)

$$RF = \frac{fr}{e_{sr}^2} \quad \text{Ecuación 8-2}$$

Donde:

$RF =$  Resistencia a la fricción (N/mm<sup>2</sup>)

$fr =$  Fuerza rotura (N)

$e_{sr}^2 =$  Cuadrado del grosor mínimo en la sección de rotura (mm<sup>2</sup>)

El módulo de rotura a la flexión expresado en kg/cm<sup>2</sup> que se calcula mediante la siguiente fórmula:

(C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2015)

$$Rf = \frac{3FL}{2be^2} \quad \text{Ecuación 9-2}$$

Donde:

$F =$  Carga aplicado (lectura en el equipo) en kgf.

$L =$  Distancia entre apoyos en cm (largo)

$b =$  Sección de ruptura en cm

$e =$  Espesor de la baldosa (cuerpo)

#### 1.2.3.6. Plasticidad

Es la capacidad inherente en algunos materiales para cambiar su forma por acción de una fuerza exterior, eliminándose tal deformación después de cesar la causa que la ocasiono. En términos tecnológicos, la plasticidad es una de las características más importantes de muchos materiales, tanto es así que el uso de los mismos se condiciona a este atributo.

La demostración de su importancia es que la expresión plástico ha logrado la categoría de ser elegido como tema genérico de esa gran familia de materiales que son las macromoléculas de síntesis, cuyas bastas aplicaciones se deben a su aptitud para ser moldeadas con facilidad. (Fernandez Navarro , 2012)

Es la característica presente en los suelos que les permite deformarse hasta cierto límite sin quebrarse. (Crespo Villalaz, 2004)

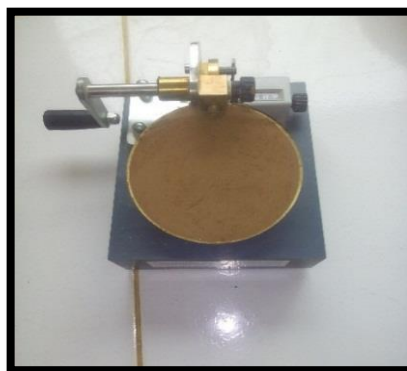
El Índice de plasticidad expresado en % que se calcula mediante la siguiente forma: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica , 2015)

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \times 100 \quad \text{Ecuación 10-2}$$

Con los datos de contenido de humedad de las muestras obtenidas en la taza, representar gráficamente estos valores, llevando sobre la escala logarítmica el número de golpes y sobre la escala natural los respectivos contenidos de humedad. Una vez representados los 3 puntos en el gráfico y unidos por una recta, se reporta como límite líquido (LL) el contenido de humedad correspondiente a 25 golpes.

El promedio de humedad de los 3 rollos se reporta como límite plástico (LP). Calcular el índice de plasticidad (IP) con la fórmula.

$$IP = LL - LP \quad \text{Ecuación 11-2}$$



**Figura 1-4** Cuchara para determinar el número de golpes. Plasticidad

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

#### *1.2.3.7. Residuo*

Son los sólidos presentes en una disolución que se forman como producto de una operación de trituración (molienda). (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

Es una medida de los sólidos sedimentables que pueden ser retenidos en un filtro. Se pueden establecer pesando la materia sólida residual que es retenida en el filtro, después del secado. (Rigola Lapeña , 1990)

#### *1.2.3.8. Viscosidad*

Es la característica de un fluido que le connota resistencia a fluir. Es la magnitud de la fricción interna que aparece cuando se presentan los gradientes de velocidad en el fluido; cuanto más viscoso es el líquido, la fricción interna es mayor y la resistencia a fluir es más alta. (Groover, 1997)

Es definible de manera precisa como una magnitud de la resistencia a la deformación del fluido. (Ramírez Navas , 2006)



**Figura 1-5** Viscosímetro de Saybolt

**Fuente:** (Ali Express, 2010)

#### *1.2.4. Bomba*

Las bombas son equipos encargados de transferir energía a la corriente del fluido impulsándolo, desde una condición de baja presión estática a otra de mayor presión. Están compuestas por un elemento rotatorio llamado impulsor, el cual se halla al interior de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es transferida como energía mecánica a través de un eje, para después convertirse en energía hidráulica. (Universidad Nacional Experimental del Táchira, 2015)

Es el equipo que transforma energía, suministrándola para mover el agua. (Instituto Geológico y Minero de España, 2017)

#### **1.2.5. Bomba PPB (potencia de pistones)**

La bomba de pistón hidráulico tiene la destreza de variar de una corriente máxima de baja presión a una corriente mínima de alta presión, lo que la transforma en una de las bombas más empleadas para manipular la alimentación de material líquido viscoso y vapores de efluentes a un filtro prensa. Ya que el abastecimiento hidráulico de la bomba se nivela por presión, asegura una operación eficaz hasta en los grandes ciclos de alta presión. (LATHAM Internacional, 2015)



**Figura 1-6** Bomba PPB

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

#### **1.2.6. Crómetro**

Es un equipo en el cual se aplica carga eléctrica para ser transformado a fuerza mecánica. Su función primordial es determinar la resistencia a la flexión expresado como el módulo de ruptura de las piezas cerámicas. También es muy utilizado para establecer la resistencia a la flexión de materiales inorgánicos como el amianto, materiales de cemento, yeso, etc.(Institut de Promoció Cerámica, 2017)





**Figura 1-7** Crómetro

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica , 2015)

### ***1.2.7. Características y almacenamiento del polvo atomizado***

Para que el polvo atomizado sea utilizado en la etapa de prensado, es necesario tener un correcto almacenamiento del mismo y controlar el porcentaje de humedad relativa, la distribución granulométrica y la morfología con que ésta proviene de los silos de almacenamiento. Cualquier variación de estos parámetros, ocasionará defectos durante el proceso de prensado, como también a lo largo de la línea de producción. (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

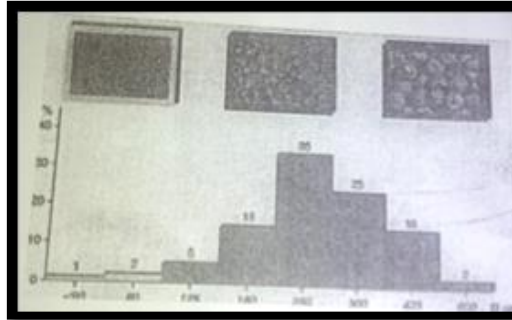
#### ***1.2.7.1. Distribución granulométrica del polvo atomizado***

El prensado del polvo atomizado para la conformación de la pieza cerámica cruda (bizcocho) depende directamente de la distribución granulométrica del polvo. Se efectúa un empaquetamiento adecuado cuando la fracción más fina llena estrictamente los intersticios que existen entre las fracciones más gruesas.

Si se tiene más de dos tamaños de partículas el mejor empaquetamiento se efectúa cuando la fracción fina llena los espacios existentes entre la fracción media y, a su vez, estas llenan los espacios libres entre la fracción más gruesa; de esta forma se reduce la cantidad y el tamaño de los poros entre las fracciones, aumentando así la compactación y resistencia de las piezas cerámicas. (Di Geronimo Camacho, 2008)

Contrario a lo anterior, una cantidad muy grande de granos finos puede provocar el apareamiento del defecto fisura; esto se debe a que las partículas de menor tamaño tienen mayor área superficial,

por lo tanto requieren mayor humedad para compactarse. Para lo cual, la fracción de granos finos deber ser suficiente para llenar los espacios vacíos existentes, pero teniendo en cuenta que un porcentaje excesivo puede causar defectos de contracción en la pieza cerámica. (Di Geronimo Camacho, 2008)



**Figura 1-8** Posible distribución granulométrica de una pasta atomizada y aspectos morfológicos de los granos para diferentes dimensiones

**Fuente:**(TC. Asociación Española Técnicos Cerámicos, 2004)

#### 1.2.7.1. Humedad relativa (residual)

Es imperativo que la humedad relativa del polvo sea la adecuada. Para el producto Monoquema, normalmente se emplea una humedad entre 6,8 y 7,2 % con una tolerancia no mayor a  $\pm 0.1$  % del valor tipificado. (Di Geronimo Camacho, 2008)

Esta humedad se obtiene en el polvo una vez que este se ha almacenado en un silo para su subsecuente homogenización, teniendo que la humedad de salida del polvo del atomizador debe estar comprendida entre 7,4 y 7,8 %, para lograr un estabilidad en el mismo al cabo de 24 horas. (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

Valores de humedad fluctuantes en los polvos, como un valor que puede ocasionar problemas en el prensado y dificultades de extracción del aire contenido en el grano. Esto fomenta el apareamiento de defectos de fisura y baja resistencia mecánica en la pieza cerámica. Por otro lado, una humedad muy elevada, puede ocasionar el apareamiento de grumos, dificultad en la limpieza de los moldes y problemas en la etapa de secado de la baldosa. (Di Geronimo Camacho, 2008)

La humedad de la muestra expresada en porcentaje se calcula mediante la siguiente ecuación: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica , 2015)

Cuando es muestra de 50 g el cálculo es:

$$\text{Humedad \%} = (50 - H_2) * 2 \quad \text{Ecuación 12-2}$$

Siendo:

$H_2$  = Peso de la muestra seca.

Cuando la muestra es 10 g. en cálculo es el siguiente:

$$\text{Humedad \%} = (10 - H_2) * 10 \quad \text{Ecuación 13-2}$$



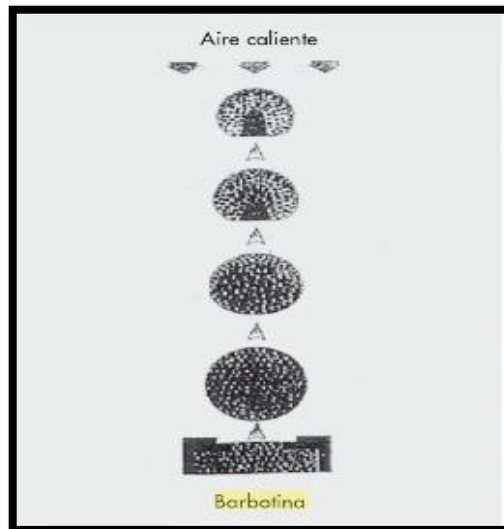
**Figura 1-9** Lámpara para determinación de humedad

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica , 2015)

#### *1.2.7.2. Morfología del grano atomizado*

El grano del polvo atomizado debe tener una forma redondeada con un orificio en el centro para que así este pueda seguir el proceso de compactación en la etapa de prensado, formándose de la siguiente manera (figura 6-2). (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

El vapor de agua propagado al interior de la esfera de barbotina ejerce una presión en el interior de la misma, fomentando el crecimiento de la esfera hasta que se abre un pequeño orificio que facilita la expulsión del vapor. La propagación de estas esferas huecas da lugar a productos más ligeros y libres de defectos superficiales. (Castells, 2012)



**Figura 1-10** Esquema de la formación de los granos atomizados

**Fuente:** (Castells, 2012)

El origen de la típica morfología del grano de polvo atomizado es complejo. En el instante en que sale proyectada la partícula del rodete va incitada por una velocidad lineal y de rotación que, en contacto con la porción de aire caliente, permite que la superficie se seque y endurezca. En ese instante el grano lograría parecerse a un huevo donde la cáscara es fuerte pero el calor trasferido a la parte interna favorece la formación de vapor que intenta ser expulsado al exterior y, finalmente es expulsado dejando un agujero. La figura 1-12, ilustra cómo el vapor generado ocasiona sobre el grano la forma característica redondeada horadada con cavidad abierta. (Castells, 2012)



**Figura 1-11** Microfotografía de los granos atomizados

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En función al tamaño de las gotas, las esferas formadas pueden tener distintas formas y tamaños. Para aplicaciones del prensado las dimensiones de la esfera atomizada está formado por partículas entre 75 y 850  $\mu\text{m}$ , estando el 60/70% comprendido entre 250 y 450  $\mu\text{m}$ . La humedad es, aproximadamente, del 7,7 % . (Castells, 2012)

El grano atomizado se muestra de una forma esferoidal, con una oquedad pronunciada en su interior; el grano encierra dentro de dicha oquedad, la humedad residual necesaria para la etapa de prensado. (TC. Asociación Española Técnicos Cerámicos, 2004)

Como es de suponer no todos los granos toman la típica forma esferoidal, ya que se puede tener, también en un pequeño porcentaje, aglomerados y otras partículas más finas sin forma alguna. (TC. Asociación Española Técnicos Cerámicos, 2004)

#### *1.2.7.3. Aptitud a la fluencia del polvo*

Adquiere un papel fundamental en el proceso de empaquetamiento (distribución del polvo atomizado en el molde de la prensa), debido a que es uno de los factores más influyentes en la validez de la carga en los moldes.(TC. Asociación Española Técnicos Cerámicos, 2004)

#### **Relaciones que regulan la granulometría** (TC. Asociación Española Técnicos Cerámicos, 2004)

En el supuesto de emplear presiones elevadas, se puede obtener una granulometría superior.

*Mayor presión de barbotina >> Granulometría menor*

En el supuesto de emplear una viscosidad más elevada, se puede obtener una granulometría superior.

*Mayor viscosidad >> Granulometría mayor*

En el supuesto de una temperatura del aire superior se puede obtener una granulometría inferior.

*Temperatura del aire más alta >> Granulometría menor*

#### 1.2.7.4. Almacenamiento del polvo atomizado

Una vez terminado el proceso de secado por atomización, el polvo atomizado es almacenado en silos cilíndricos por un tiempo de 24 horas. Esta etapa tiene por objeto homogenizar la humedad y granulometría del polvo atomizado.

En esta etapa es imperativo controlar el tiempo de homogenización, debido a que un tiempo excesivo puede secar el polvo y no será posible el empleo de este durante el proceso de prensado. (Di Geronimo Camacho, 2008)

#### 1.2.7.5. Silos

El polvo atomizado de Gres rojo-Monoquema es almacenado en trece tanques de acero inoxidable denominados silos, de los cuales 3 son rectangulares de 90 tt de capacidad (5, 6 y 7), y 10 de estos son cilíndricos de 40 tt de capacidad (silos faltantes). El polvo recién atomizado es almacenado en estos silos durante 24 horas para luego ser transportado en bandas hacia las prensas (2000 y 4900). (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

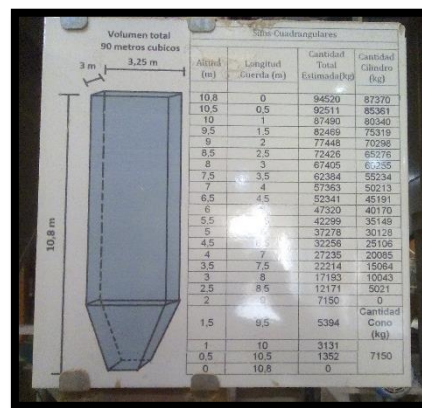


Figura 1-12 Silos rectangulares

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

#### 1.2.8. Descripción de los principales dispositivos del atomizador

##### 1.2.8.1. Bomba de alimentación de la barbotina

La bomba tiene la función de inyectar la barbotina, bajo una presión establecida, hacia el atomizador cuya función es pulverizar la pasta por medio del secado. Estas operan con pistones oleodinámicos, abastecidos por un sistema hidráulico pequeño.

Los pistones están compuestos de alúmina, el cual es un material que resiste fluidos abrasivos. La presión de funcionamiento puede ser cambiada por medio de la regulación en las válvulas.

Usualmente, el rango de presión operacional es de 18 – 20 bar, con respecto a las propiedades de la barbotina y del tipo de toberas utilizadas para la pulverización. (TC. Asociación Española Técnicos Cerámicos, 2004)

#### *1.2.8.2. Filtros de la barbotina*

Se instalan dos filtros cuya función es retener impurezas o cuerpos ajenos eventualmente presentes en la barbotina. Si estos llegasen al atomizador podrían provocar una oclusión de las toberas (boquillas). Los filtros están compuestos por un recipiente cilíndrico que a su vez, contiene un cilindro perforado cuya función es ser soporte para la malla de filtración. (TC. Asociación Española Técnicos Cerámicos, 2004)

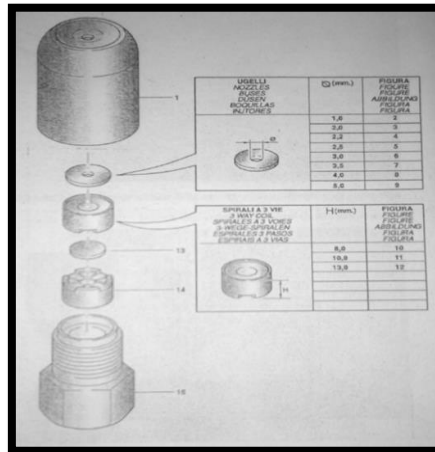


**Figura 1-13** Filtros de la barbotina

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

#### *1.2.8.3. Toberas o boquillas de nebulización*

Usualmente son de tipo “caracol”, en los que un dispositivo en espiral inyecta al fluido, bajo la acción de la presión aguas arriba, es necesario un movimiento rotatorio para la dispersión del chorro con el choque del aire externo. (TC. Asociación Española Técnicos Cerámicos, 2004)



**Figura 1-14** Representación de los diferentes componentes de una tobera

**Fuente:**(TC. Asociación Española Técnicos Cerámicos, 2004)

#### 1.2.8.4. Lanzas

El atomizador cuenta con 13 lanzas, de las cuales nueve son funcionales, debido a que dentro del atomizador encima de la zona en que el cono del hidrociclón hace su función se hallan dos lanzas generando un espacio donde la aspersión de la barbotina no es óptima. Cada lanza cuenta con 3 boquillas por las cuales la barbotina es expulsada hacia la columna de aire caliente, cada boquilla cuenta con pastillas (superficie de metal con orificio en el centro por el cual se expulsa la barbotina) con diámetros de entre 1,6 a 2,5 mm. (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)



**Figura 1-15** Lanzas para secado por pulverización de barbotina.

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

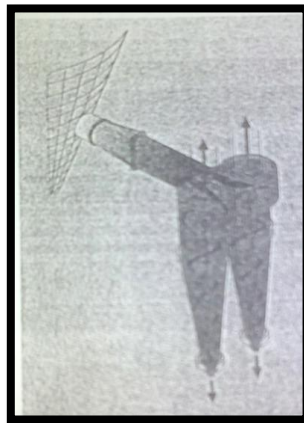


#### 1.2.8.5. Hidrociclón

Son equipos simples que facilitan, a un costo factible la separación del material particulado de los líquidos insolubles y/o mezclas de líquidos. (Castells, 2012)

Son instrumentos sin movilidad que eliminan hasta el 98% de las partículas de peso específico superior al del agua, es decir, material inorgánico, de diámetro superior a 0,1 mm. (Cadahía López, 2005)

Operan siempre por aspiración y se colocan delante del ventilador principal para proteger este último de la abrasión producida por el polvo atomizado. Previo a la separación del polvo en los ciclones, el aire presenta una concentración de polvo del orden de 30 – 140 mg/Nm<sup>3</sup> a la salida en cambio de 140 mg/Nm<sup>3</sup>. (TC. Asociación Española Técnicos Cerámicos, 2004)

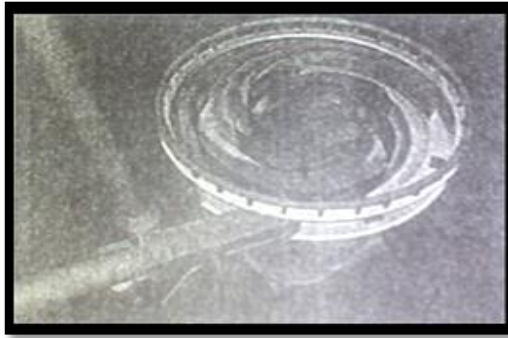


**Figura 1-16** Esquematación de los ciclones separadores para la eliminación de polvos finos

Fuente:(TC. Asociación Española Técnicos Cerámicos, 2004)

#### 1.2.8.6. Distribuidor del aire caliente

Un quemador que funciona con combustible (diésel) provee el aire caliente, el cual es distribuido por un instrumento hallado en la parte superior de la torre de evaporación este está compuesta por una entrada periférica tangencial y un sistema de transporte en espiral que induce al aire a desplazarse hacia una serie de aberturas dispuestas en dirección al centro. (TC. Asociación Española Técnicos Cerámicos, 2004)

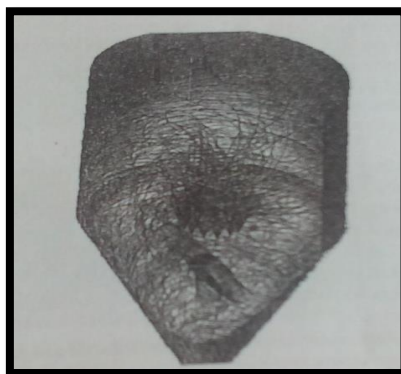


**Figura 1-17** Esquemática de los torbellinos de aire caliente que se forman en el distribuidor

**Fuente:**(TC. Asociación Española Técnicos Cerámicos, 2004)

#### *1.2.8.7. Ventilador principal*

Son de tipo centrífuga, componente de la parte de aspiración del sistema de circulación del aire de secado la parte del montaje anterior a este se encuentra por lo tanto en depresión. (TC. Asociación Española Técnicos Cerámicos, 2004)



**Figura 1-18** Modelo de la distribución de la trayectoria de las partículas en el interior del atomizador

**Fuente:** (TC. Asociación Española Técnicos Cerámicos, 2004)

#### *1.2.8.8. Ventosas*

El atomizador en la parte final del cono cuenta con compuertas que se comportan como ventosas que permiten que la temperatura final del polvo atomizado disminuya, favoreciendo así la estabilidad de la humedad en el polvo. (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)



**Figura 1-19** Ventosas para enfriamiento de polvo atomizado

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### ***1.2.9. Microscopio digital USB de 100X 1.3 MP***

El microscopio Digital USB de 100 X 1.3 MP es un dispositivo óptico que cuenta con todas las funciones de un microscopio común, con la mínima excepción que este puede ser conectado de forma directa a un computador lo que permite ver la imagen de la muestra en tiempo al momento en se enfoca la misma, debido a que una cámara permite ver objetos puestos ante el lente del microscopio en el monitor.

Nos permite capturar distintas muestras u objetos dependiendo de su aumento (40 y 100x). Constituido por varios focos led que le confieren una mejor visualización de la imagen.

En términos más resumidos este microscopio permite tener una mejor captura de la muestra y la visualización de esta en tiempo real, en la computadora gracias al cable de datos USB que viene instalado en este, el microscopio es perfecto para capturar fotos de material sólido como; polvos, láminas de metal, piezas cerámicas, etc.(USB. Microscopio Digital, 2018)



**Figura 1-20** Microscopio Digital USB

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### ***1.2.1. Molienda***

Es una operación unitaria cuyo objetivo es la reducción de tamaño de material sólido previamente triturado. El material que se obtiene por molienda es más pequeño y de forma regular a diferencia del material obtenido por trituración. (Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires, 2015)

La función de la molienda es reducir el tamaño de ciertos materiales hasta la granulometría requerida. (Stolz SA. Productos y servicios, 2017)

### ***1.2.2. Molino***

Son los equipos en donde se produce la operación unitaria de molienda. (Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires, 2015)

Es todo equipo, dispositivo o maquinaria cuya función es moler utilizando energía, por medio de la fuerza del viento o del agua, con un motor, sea térmico o eléctrico. (Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, 2018)

### ***1.2.3. Molino de bolas***

Es un equipo cilíndrico en el cual se vierte el material a moler y la carga pulverizadora (que suelen ser bolas, pero pueden ser también cilindros).

Al girar sobre su propio eje el recipiente y moverse en su interior la carga junto con las bolas, se efectúa la disminución del tamaño de partícula por colisión (partícula – partícula y partícula – bola), por roce y/o compresión entre las partículas y las bolas. (Monrós, y otros, 2003)



**Figura 1-21** Molinos de bolas con agitadores

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica , 2015)

#### ***1.2.4. Parámetro de humedad***

Al entrar en contacto el grano atomizado con el aire, a medida que pasa el tiempo se establece equilibrio entre el contenido de humedad que posee el grano y el aire circulante (humedad de equilibrio); este equilibrio es una igualdad de las presiones de vapor dentro del medio circundante. Debido a que es necesario monitorear la humedad del polvo atomizado y la temperatura ambiental que rodea el sistema. (Di Geronimo Camacho, 2008)

El contenido de humedad en la pasta cerámica es un factor influyente, ya que una baja cantidad de agua en el polvo atomizado puede causar que la pieza cerámica no se moldee adecuadamente, y un exceso de agua originaría por su parte, defectos en la fabricación de la pieza cerámica. (Parras Armenteros, 1998)

#### ***1.2.5. Parámetro de nivel***

Medir el nivel en el silo permite tomar la decisión más acertada al momento de cargar o descargar el mismo, así también da una visión general de los problemas que se pueden presentar en la utilización del material. (Di Geronimo Camacho, 2008)

### **1.2.6. Prensa**

Las prensas por compresión están construidas de forma vertical y tienen dos placas a las cuales se aferran las mitades del molde. El proceso involucra dos tipos de actuación: 1) carrera ascendente de la placa del fondo o 2) carrera descendente de la placa superior, pero esta última es la configuración más usual. Un cilindro hidráulico acciona por lo general las placas, el cual puede ser diseñado para fuerzas de compactación de hasta varios cientos de toneladas. (Groover, 1997)



**Figura 1-22** Prensa para elaborar placas de contracción y absorción

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica , 2015)

### **1.2.7. Prensado**

Es una operación unitaria que consiste en la formación de la pieza cerámica que funciona por acción de la compresión mecánica de la pasta en un molde. (Cevallos Condo, 2010)

### **1.2.8. Principal defecto a relacionar con el polvo atomizado**

Brevemente, se describen uno de los principales defectos que aparecen en las baldosas luego de los procesos de acabado final, que se relacionan con los parámetros de calidad del polvo atomizado. (Di Geronimo Camacho, 2008)

#### **1.2.8.1. Fisura**

Es toda grieta delgada que se presenta en el borde o el centro de la pieza cerámica cocida. (C. A. Ecuatoriana de Cerámica , 2015)

Es un defecto de superficie originado en la pieza cerámica después de someter esta a cocción, aparecen durante la carga de un sólido frágil, nucleadas por la anisotropía (poca elasticidad) de los granos del polvo atomizado. (Ashby, y otros, 2009)



**Figura 1-23** Cerámica con fisura

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica , 2015)

### ***1.2.9. Tamiz vibratorio***

Son dispositivos aplicados para clasificar los granos en función de su tamaño. En la industria cerámica son ampliamente utilizados debido a la importancia del tamaño de partículas para el correcto prensado del polvo atomizado.(Comunicación Sostenible, S.C., 2014)



**Figura 1-24** Torre vibratoria de tamices

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

## CAPÍTULO II

### 2. METODOLOGÍA

#### 1.3. Hipótesis

##### 1.3.1. *Hipótesis General*

Con la “EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE SECADO DEL POLVO ATOMIZADO EMPLEADO PARA LA FABRICACIÓN DE GRES ROJO (MONOQUEMA-REVESTIMIENTO DE PISOS CERÁMICOS) EN LA EMPRESA C.A. ECUATORIANA DE CERÁMICA”. Se podrá elaborar un plan de mejoras que permita producir un polvo atomizado en condiciones óptimas para el prensado del mismo sin la aparición de defectos de superficie (fisuras).

##### 1.3.2. *Hipótesis Específicas*

- Mediante la estandarización del método de determinación de humedad del polvo atomizado se asegurará que los operadores del equipo de atomización y los auditores de calidad del polvo atomizado guarden estrecha similitud en sus datos para así tomar decisiones acertadas en cuanto al envío del polvo a las prensas y eliminar las fluctuaciones en los valores de humedad recabados.
- Efectuando un análisis de las variables que intervienen en el proceso de atomización se logrará determinar los valores a los cuales el proceso antes mencionado debe operar para que el polvo atomizado sea el óptimo, y así eliminar las fallas presentes en el producto final (Gres Rojo- Revestimiento para pisos cerámicos).
- Implementando mejoras en las condiciones operacionales y de transporte del polvo atomizado se pretende mejorar las propiedades estructurales del grano y su pérdida excesiva de humedad antes de llegar a la prensa.



- Con la comparación de las condiciones iniciales y finales del polvo atomizado se pretende dar valía a la evaluación y mejoramiento de las condiciones del mismo.
- Mediante la implementación del análisis de plasticidad y morfología del polvo atomizado se quiere mantener un continuo control de ambos aspectos en la prensa para que en caso de fallas en la pieza cerámica ya se tenga más criterios de evaluación que permitan enmendar cualesquiera sean las fallas.

#### **1.4. Identificación de variables**

##### ***1.4.1. Variables Dependientes***

- ✓ Morfología del grano atomizado
- ✓ Granulometría del polvo atomizado
- ✓ Humedad del polvo atomizado
- ✓ Contracción y absorción de placas
- ✓ Módulos de ruptura de placas
- ✓ Plasticidad

##### ***1.4.2. Variables Independientes***

- ✓ Temperatura del quemador (atomizador)
- ✓ Presión de bombeo de la barbotina (atomizador)
- ✓ Densidad
- ✓ Viscosidad
- ✓ Residuo

## 1.5.Operacionalización de variables

**Tabla 2-1** Operacionalización de variables

CATEGORÍA	CONCEPTO	DIMENSIONES	DEFINICIÓN	VARIABLES	INDICADORES	UNIDADES	ÍNDICE
Evaluación de las condiciones del polvo atomizado empleado para la fabricación de gres rojo (Monoquema-revestimiento de pisos cerámicos) en la empresa C.A. Ecuatoriana de Cerámica.	El proceso de secado por atomización es una operación básica que consiste en la transformación de una suspensión o disolución en un material seco particulado, mediante la atomización del primero en un medio caliente y seco.	1.- Observación de las condiciones operacionales y de transporte del polvo atomizado	Nos permite obtener un diagnóstico de las condiciones por las cuales el polvo atomizado se está produciendo y transportado a los silos y luego a las prensas.	Condiciones ambientales y operacionales a lo largo de la línea de producción y transporte del polvo atomizado	Humedad. Temperatura del ambiente. Temperatura del polvo atomizado. Longitud de las bandas de transporte Estado de las estructuras y equipos.	% °C °C m -	-
		2.- Determinación del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado en el llenado y descarga de los silos.	Nos permitirá estandarizar el método de determinación de humedad, analizar las variables críticas del proceso y establecer las posibles mejoras que necesita el proceso para eliminar los defectos en el producto terminado (Gres Rojo – Cerámica para pisos)	Temperatura del quemador Presión de bombeo Calidad de la pasta (polvo atomizado) para el prensado	Humedad del polvo atomizado Granulometría del polvo atomizado Morfología del polvo atomizado Absorción Contracción	% g - % %	Manual del Sistema de Gestión de Calidad C. A. Ecuatoriana de Cerámica. EC.LA.8.2.4.M01

				Calidad y defectos en el producto terminado	C. Exportación C. Estándar Fisura	% % %	
		<b>3.-</b> Determinación del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado en el recorrido del polvo a la prensas 2000 y 4900 (formato 40x40 y 43 x43).	Nos permite determinar el rango de pérdida de humedad del polvo atomizado a lo largo del trayecto de transporte del mismo hacia las prensas de producción de Gres Rojo – Cerámica para pisos.	Temperatura del quemador Presión de bombeo	Humedad del polvo atomizado Granulometría del polvo atomizado Morfología del polvo atomizado	% g -	Manual del Sistema de Gestión de Calidad C. A. Ecuatoriana de Cerámica. EC.LA.8.2.4.M01
		<b>4.-</b> Evaluación de la pasta (barbotina) empleada en el proceso de atomización	Se evalúa la flexibilidad de la pasta líquida (barbotina) empleado en el proceso de atomización	Plasticidad, densidad, viscosidad y residuo	Absorción Contracción Módulos de ruptura	% % Kg/cm <sup>3</sup>	NTE INEN- ISO 10545-4 NTE INEN- ISO 10545-3 Manual del Sistema de Gestión de Calidad C. A. Ecuatoriana de Cerámica. EC.LA.8.2.4.M01
Implementación de mejoras en las condiciones del polvo atomizado empleado para la fabricación de	El proceso de secado por atomización es una operación básica que consiste en la	<b>5.-</b> Determinación final del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado en el llenado y descarga de los silos,	Es una comparación entre las condiciones iniciales del polvo atomizado (sin atacar las causas del apareamiento de defectos) con las	Temperatura del quemador Presión de bombeo	Humedad del polvo atomizado Granulometría del polvo atomizado	% g	Manual del Sistema de Gestión de Calidad C. A. Ecuatoriana de Cerámica. EC.LA.8.2.4.M01

<p>gres rojo (Monoquema-revestimiento de pisos cerámicos) en la empresa C.A. Ecuatoriana de Cerámica.</p>	<p>transformación de una suspensión o disolución en un material seco particulado, mediante la atomización del primero en un medio caliente y seco.</p>	<p>recorrido del polvo a las prensas 2000 y 4900 (formato 43 x43).</p>	<p>condiciones finales del polvo atomizado (implementación de mejoras atacando las causas del apareamiento de defectos en el producto cerámico brillante).</p>	<p>Calidad de la pasta (polvo atomizado) para el prensado</p> <p>Calidad y defectos en el producto terminado</p>	<p>Morfología del polvo atomizado</p> <p>Absorción</p> <p>Contracción</p> <p>C. Exportación</p> <p>C. Estándar</p> <p>Fisura</p>	<p>-</p> <p>%</p> <p>%</p> <p>%</p> <p>%</p> <p>%</p>	
---	--	--	--	--	--	---	--

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

## 1.6. Matriz de consistencia

**Tabla 2-2** Matriz de consistencia

<b>ASPECTOS GENERALES</b>				
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVO</b>		<b>HIPOTESIS</b>	
La fisura es un defecto de superficie dado en la pieza cerámica luego de que esta se somete al proceso de secado, aparecen durante la carga de un sólido frágil, nucleadas por la anisotropía (poca elasticidad) de los granos del polvo atomizado.	Evaluar las condiciones de secado del polvo atomizado empleado en la fabricación de Gres Rojo (Monoquema-) en la empresa C.A. Ecuatoriana de Cerámica.		Con la “Evaluación de las condiciones de secado del polvo atomizado empleado para la fabricación de gres rojo (Monoquema-revestimiento de pisos cerámicos) en la empresa C.A. Ecuatoriana de Cerámica”. Se podrá elaborar un plan de mejores que permita producir un polvo atomizado en condiciones óptimas para el prensado del mismo sin la aparición de defectos longitudinales y de superficie (fisuras).	
<b>ASPECTOS ESPECÍFICOS</b>				
<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÒTESIS ESPECÍFICAS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>TECNICA</b>
Fluctuaciones en los valores de humedad.	Estandarizar el método de determinación de la humedad del polvo atomizado.	Mediante la estandarización del método de determinación de humedad del polvo atomizado se asegurará que los operadores del equipo de atomización y los auditores de calidad del polvo atomizado guarden estrecha similitud en sus datos para así tomar decisiones acertadas en cuanto al envío del polvo a las prensas y eliminar las fluctuaciones en los valores de humedad recabados.	Humedad del polvo atomizado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparación del método de determinación de humedad actual con el implementado.</li> <li>• Análisis de correlación de Pearson</li> </ul>

<p>¿Cuál es la causa del apareamiento de fisura en la pieza de cerámica?</p>	<p>Efectuar un análisis de las variables que intervienen en el proceso de atomización para la producción de Gres Rojo (Monoquema-Revestimiento de Pisos Cerámicos).</p>	<p>Efectuando un análisis de las variables que intervienen en el proceso de atomización se logrará determinar los valores a los cuales el proceso de atomización debe operar para que el polvo atomizado sea el óptimo, y así eliminar las fallas presentes en el producto (Gres Rojo-Revestimiento para pisos cerámicos).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viscosidad</li> <li>• Densidad</li> <li>• Residuo</li>   <li>• Temperatura del quemador</li> <li>• Presión de bombeo de la barbotina</li>   <li>• Humedad</li>   <li>• Granulometría</li>   <li>• Morfología</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auditoria de la Cisterna Central(barbotina)</li>   <li>• Lectura en el panel de control del atomizador</li>   <li>• Diferencia de pesos</li>   <li>• Torre de tamiz vibratorio</li>   <li>• Microscopio para material sólido poroso</li> </ul>
<p>¿Mejorar la morfología del grano, disminuirá la fisura en la pieza cerámica?</p>	<p>Implementar mejoras en las condiciones operacionales y de transporte del polvo atomizado desde el atomizador a la prensa.</p>	<p>Implementando mejoras en las condiciones operacionales y de transporte del polvo atomizado se pretende mejorar las propiedades estructurales del grano y las fluctuaciones de humedad antes de llegar a la prensa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura del quemador</li> <li>• Presión de bombeo de la barbotina</li>   <li>• Humedad</li>   <li>• Granulometría</li>   <li>• Morfología</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura en el panel de control del atomizador</li>   <li>• Diferencia de pesos</li>   <li>• Torre de tamiz vibratorio</li>   <li>• Microscopio para material sólido poroso</li> </ul>

<p>¿Es el proceso de atomización el causante de las fallas en el producto final (gres rojo revestimiento de pisos cerámicos)?</p>	<p>Comparar las condiciones finales del polvo atomizado antes y después de la implementación de mejoras</p>	<p>Con la comparación de las condiciones iniciales y finales del polvo atomizado se pretende dar valía a la evaluación y mejoramiento de las condiciones del mismo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Humedad</li> <li>• Granulometría</li> <li>• Morfología</li> <li>• Fisura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferencia de pesos</li> <li>• Torre de tamiz vibratorio</li> <li>• Microscopio digital</li> <li>• Análisis sensorial</li> <li>• Microscopio digital</li> <li>• Sensor en las bandas transportadoras del producto terminado</li> </ul>
<p>Podrán ser controladas de mejor manera las fallas por fisura con el análisis continuo de plasticidad y morfología.</p>	<p>Implementar el análisis de plasticidad y morfología como procedimientos propios de calidad para el polvo atomizado.</p>	<p>Mediante la implementación del análisis de plasticidad y morfología del polvo atomizado se quiere mantener un continuo control de ambos aspectos en la prensa para que en caso de fallas en la pieza cerámica ya se tenga más criterios de evaluación que permitan enmendar cualesquiera sean las fallas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad del producto terminado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de calidad del producto terminado</li> </ul>

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

## 1.7. Tipo y Diseño de Investigación

Es una investigación cuantitativa y cualitativa de tipo experimental; en la que se evaluarán las condiciones del polvo atomizado empleado para la fabricación de Gres Rojo (Monoquema-revestimiento de pisos cerámicos) en la empresa C.A. Ecuatoriana de Cerámica. Efectuando diferentes ensayos en los cuales se constatarán las humedades, granulometría y morfología del polvo atomizado, adicionalmente a esto plasticidad, módulos de ruptura, absorción y contracción de la barbotina, junto con el análisis estadístico de los datos para conseguir el cumplimiento de los objetivos propuestos, además no se ha profundizado en su totalidad en las características de la materia prima por orden del área de desarrollo e investigación de la empresa.

En la presente investigación se empleó un diseño experimental con 3 factores de tres niveles, en el cual se manejaron 3 variables de interés (humedad, granulometría y morfología) con tres niveles (alto, medio y bajo) y 3 repeticiones para cada ensayo, conformando así 3 experimentos realizados con 5 silos 5 y 9 con tres repeticiones y silos aleatorios (11, 12 y 4). En la tabla 3-3, se presenta a continuación la distribución de las variables con sus niveles, para la ejecución de la parte experimental y el análisis estadístico de la presente investigación.

**Tabla 2-3** Distribución de factores y niveles del diseño experimental

Variable/Código	Humedad del polvo atomizado. D	Granulometría del polvo atomizado. E	Morfología del grano. F
<b>Unidad</b>	(%)	(g)	-
<b>Niveles</b>	7,4	Malla 40 = 31-41	Imagen malla 40
Alto	7,6	Malla 60 = 42-47	Imagen malla 60
Medio	7,8	Finos = $\leq 1$	Imagen finos
Bajo			

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### 1.7.1. Inductivo

La investigación se apoyó en proyectos investigativos anteriores realizados fuera del país, lo mismo que sirvió como guía para la utilización de la metodología apropiada y así llevar a cabo la evaluación de las condiciones del polvo atomizado para la fabricación de Gres Rojo en la empresa C. A. Ecuatoriana de Cerámica.



### ***1.7.2. Deductivo***

Mediante este método se podrá dar solución al problema que genera el polvo atomizado en el apareamiento de defectos en el producto final (Monoquema-revestimiento de pisos cerámicos brillantes de formato 43 x 43), siendo el principal defecto a radicar; la fisura. Esto se llevara a cabo mediante el estudio estadístico de los datos recabados antes y después de la aplicación de mejoras en el proceso. Efectuando una correlación con los datos de calidad referentes al apareamiento de defectos en el producto final antes mencionado.

### ***1.7.3. Experimental***

La sección experimental de esta investigación se realizará efectuando un diagnóstico de las condiciones operacionales y de transporte del polvo atomizado, y la evaluación del mismo por medio de ensayos iniciales y finales, en los cuales se constataran las humedades, granulometría y morfología, adicionalmente a esto también se determinará absorción y contracción de placas del llenado y vaciado de los silos 5, 9 y tres silos aleatorios de los 13 silos (unidad de almacenamiento del polvo atomizado) correspondientes a la pasta de Monoquema. También se efectuarán ensayos del recorrido del polvo atomizado transportado a las dos prensas correspondientes al producto final (Gres Rojo revestimiento de pisos cerámicos) para las líneas de producción del formato 43 x 43. Después se desarrollarán ensayos de plasticidad de los tipos de pasta empleado para la fabricación de la pieza cerámica junto con los módulos de ruptura, absorción y contracción de placas elaboradas con los mismos tipos de pasta. Luego se emplearan ensayos finales con mejoras aplicadas en el proceso para constatar si la fisura ha disminuido en el producto final (Gres Rojo revestimiento de pisos cerámicos) en la línea de brillantes formato 43 x 43.

### ***1.7.4. Unidad de análisis***

El objeto de evaluación es el polvo atomizado correspondiente a la pasta de Monoquema, el cual es obtenido directamente de las bandas de transporte del mismo. Para lo cual se realizó análisis físico-químico, como lo es: densidad, viscosidad, residuo, plasticidad, módulos de ruptura, contracción y absorción de la barbotina; así como también humedad, granulometría, morfología, contracción y absorción del polvo atomizado. Este análisis se hizo en correlación con los parámetros de funcionamiento del atomizador y los parámetros de calidad del producto final analizado en cuestión.

Una vez evaluadas las condiciones del polvo atomizado se emplearon mejoras en las condiciones operacionales del atomizador, en las condiciones de transporte del polvo atomizado y en el método de determinación de humedad del polvo atomizado. Ejecutando ensayos finales del polvo atomizado y correlacionando los valores obtenidos de humedad con los valores obtenidos por los operadores y con los valores de calidad del producto final.

Estos análisis se hicieron siguiendo el Manual de Gestión de la Calidad que se sigue en los laboratorios de Desarrollo e Investigación, Calidad y de Molienda y Atomización en la empresa C. A. Ecuatoriana de Cerámica.

#### ***1.7.5. Población de Estudio***

La población que se considerara en la presente investigación es el polvo atomizado correspondiente al código de barbotina MQ- 2016, el cual es producido por medio del proceso de atomización bajo condiciones establecidas por la empresa C. A. Ecuatoriana de Cerámica.

Dicho polvo es utilizado por las prensas para fabricar el producto Gres Rojo (Monoquema– Cerámica para pisos), baldosas de la línea de brillantes formato 43 x 43. Producto que ha sufrido una disminución en su porcentaje de calidad de exportación por defectos variados, como fisura, planaridad, entre otros siendo la primera el defecto que es objeto de estudio en esta investigación, es por esta razón que se busca hallar la o las causas por las cuales se presentan dichos defectos mediante la evaluación del polvo atomizado.

Cabe recalcar que no solo se busca dar con las posibles causas para el apareamiento de defectos, sino también emplear mejoras que permitan eliminar los mismos. Posteriormente para evaluar la efectividad de las mejoras en el polvo atomizado se efectuarán ensayos finales, los cuales serán corroborados con la información cedida por parte del laboratorio de calidad de la empresa con respecto a la calidad y defectos en la pieza cerámica (producto final).

Tomando en consideración que el diseño de la presente investigación es de tipo factorial con 3 factores, 3 niveles ( $3^3$ ) y 3 repeticiones a estudiar, la población de estudio se calculó basándose en los tres componentes anteriores y según Montgomery (Diseño de análisis de experimentos), se obtuvo la siguiente expresión para el cálculo de la población de estudio:

$$N = [(r^{nf} - 1)] \quad \text{Ecuación 1-3}$$

Donde:

$r$  = repetitividad (son 3 pero se toman en cuenta 2 debido a que la tercera variable es cualitativa)

$nf$  = número de factores

$nn$  = número de niveles

$$N = [(3^{3^2} - 1)]$$

$$N = 2184$$

#### 1.7.6. *Tamaño de Muestra*

A continuación se presenta el cálculo del tamaño muestral:

$$n = \frac{N}{6} \quad \text{Ecuación 13 - 3}$$

Dónde:

$N$  = Cantidad de pieles promedio que ingresan a los tres bombos

$n$  = Tamaño de muestra

$$n = \frac{2184}{6}$$

$$n = 364$$

El cálculo del tamaño muestral arrojó un valor de 364 muestras a ser estudiadas de las cuales se restó de estas 156 muestras que corresponden a las bolsas del polvo atomizado que serían empleadas para realizar la determinación de plasticidad. Teniendo un nuevo valor para el tamaño muestral de 208 muestras a analizar.

El tamaño de la muestra es por muestreo compuesto, teniendo un valor total 208 muestras de las cuales 184 corresponden a bolsas que contienen polvos finos y 16 muestras corresponden a botellas que contienen barbotina.

En forma más detallada, 156 muestras corresponden a bolsas que contenían el polvo atomizado para los ensayos iniciales de los silos sin aplicar mejoras, 16 muestras corresponden a recipientes de 1,5 L que contenían barbotina (materia prima que ingresa al atomizar), 28 muestras corresponden a bolsas que contenían el polvo atomizado para los ensayos finales una vez aplicadas las mejoras y 8 muestras corresponden a bolsas que contenían polvos finos procedentes de los hidrociclones para los ensayos de producción de barbotina.

### **Muestra compuesta**

Las muestras provienen de una misma fuente, pero fueron tomadas de diferentes puntos en relación a cada experimento efectuado, teniendo en cuenta también que las muestras se tomaron de acuerdo al tiempo de demora de cada experimento. Los puntos de muestreo están distribuidos y representados de la siguiente manera:

**Tabla 2-4** Distribución de los puntos de muestreo

<b>Experimento</b>	<b>Actividad</b>	<b>División</b>	<b>Muestreo</b>	<b>Puntos de Muestreo</b>
1	Evaluación inicial del polvo atomizado rango de pérdida de humedad del polvo atomizado en el llenado y descarga de los silos.	Llenado de los silos	Simple	Segunda banda de transporte del polvo recién atomizado
		Descarga de los silos	Compuesto	Banda de transporte a la salida de los silos
2	Evaluación inicial del polvo atomizado rango de pérdida de humedad recorrido del polvo a las prensas 2000 y 4900 (formato 43 x 43)	Recorrido del polvo hacia las dos prensas 2000 y 4900	Compuesto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla de los silos</li> <li>• Después de los imanes</li> <li>• Tolva de la prensa</li> </ul>

3	Evaluación de la plasticidad de la pasta empleada para la producción del polvo atomizado	Con Defloculante.	Compuesto	Directamente de la cisterna central
		Sin Defloculante.	Simple	Barbotina producida a nivel de laboratorio
4	Evaluación final del polvo atomizado rango de pérdida de humedad del polvo atomizado en el llenado y descarga de los silos.	Llenado de los silos	Simple	Segunda banda de transporte del polvo recién atomizado
		Descarga de los silos	Compuesto	Banda de transporte a la salida de los silos
5	Evaluación final del polvo atomizado rango de pérdida de humedad recorrido del polvo a las prensas 2000 y 4900 (formato 43 x 43)	Recorrido del polvo hacia las dos prensas 2000 y 4900	Compuesto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla de los silos</li> <li>• Después de los imanes</li> <li>• Tolva de la prensa</li> </ul>
6	Evaluación final del polvo atomizado barbotina producida con polvos finos	Molienda	Simple	Se toma la muestra en la banda de transporte de los polvos finos a la salida del hidrociclón.
		Agitación	Simple	Se toma la muestra en la banda de transporte de los polvos finos a la salida del hidrociclón.

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

El muestreo para cada actividad de acuerdo con la Operacionalización de variables (tabla 2- 3) está distribuido de la siguiente manera:

### 1.7.6.1. Evaluación inicial del polvo atomizado

Corresponde a la determinación del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado en el llenado y descarga de los silos, y recorrido del polvo a las prensas 2000 y 4900 (formato 43 x 43).

#### Experimento 1

- 33 Bolsas con polvo atomizado en total; provenientes del atomizador durante el llenado de los silos por un lapso de 3 a 5 horas (toma de muestra cada hora) dependiendo del silo, teniendo tres repeticiones de los silos 5 y 9, y una de los silos 11, 12 y 4, para el control de 6 humedades y 1 granulometría por muestra y 1 morfología por ensayo. La frecuencia de la toma de muestras se detalla a continuación.

**Tabla 2-5** Frecuencia de la toma de muestras en el llenado de los silos

Periodo/fec ha	Actividades	Objetivo	Silos	Número de muestras por día	Total de muestras (x3)
Semana del 25 de septiembre al 22 de octubre	Control del llenado de los silos. Control de 6 humedades y 1 granulometría por muestra y 1 morfología por ensayo	Determinar el % de pérdida de humedad desde el llenado del silo hasta la descarga	5	5	15
			9	3	9
			11	3	3
			12	3	3
			4	3	3
Total					33

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

- 33 Bolsas con polvo atomizado en total proveniente de los silos durante la descarga de los mismos de 3 a 6 horas (toma de muestra cada hora) dependiendo del silo, teniendo tres repeticiones de los silos 5 y 9, y una de los silos 11, 12 y 4, para el control 6 humedades y 1 granulometría por muestra y 1 morfología por ensayo, 3 absorciones y 3 contracciones por ensayo. La frecuencia de la toma de muestras se detalla a continuación.

**Tabla 2-6** Frecuencia de la toma de muestras en la descarga de los silos

Periodo/fecha	Actividades	Objetivo	Silos	Número de muestras por día	Total de muestras (x3)
Semana del 25 de septiembre al 22 de octubre	Control del llenado de los silos. Control de 6 humedades y 1 granulometría por muestra y 1 morfología por ensayo, 3 absorciones y 3 contracciones por ensayo.	Determinar el % de pérdida de humedad desde el llenado del silo hasta la descarga	5	5	15
			9	3	9
			11	3	3
			12	3	3
			4	3	3
Total					33

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

## Experimento 2

- 90 Bolsas con polvo atomizado en total proveniente del recorrido del mismo por las bandas hacia la prensa en tres puntos; mezcla de los silos, después de imanes y tolva de la prensa, cada tres horas durante 5 días por cada prensa (prensa 2000 y 4900) teniendo en cuenta que el formato de estudio es 43 x43, para el control de 6 humedades y 1 granulometría por muestra y 1 morfología por punto de muestreo y ensayo.

La frecuencia de la toma de muestras se detalla a continuación.

**Tabla 2-7** Frecuencia de la toma de muestras en el recorrido de las prensas

Periodo/fecha	Actividades	Objetivo	Prensa	Punto de muestreo	Número de muestras por día	Total de muestras (x5días)
Semana del 23 de octubre al 10 de noviembre	Control del transporte de los silos desde salida de los silos a las prensa 2000 y 4900. Control de 6 humedades y	Estandarizar el rango de pérdida de humedad del polvo atomizado del llenado de los silos	4900	Mezcla de los silos	3	15
				Después de los imanes	3	15
				Tolva de la prensa	3	15

	1 granulometría por muestra y 1 morfología por ensayo	hasta la prensa.	2000	Mezcla de los silos	3	15
				Después de los imanes	3	15
				Tolva de la prensa	3	15
Total						90

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### 1.7.6.2. Evaluación de la plasticidad de la pasta empleada para la producción del polvo atomizado

#### Experimento 3

- 16 Recipientes de 1,5 L de los cuales la mitad corresponden a la fórmula 7C y la otra 7D con y sin defloculante. Cada muestra fue procesada a nivel de laboratorio, en la cual se efectuó 1 ensayo de plasticidad, 2 absorciones, 2 contracciones y 3 módulos de ruptura (en húmedo, seco y cocido) por cada muestra procesada.

La frecuencia de la toma de muestras se detalla a continuación.

**Tabla 2-8** Frecuencia de la toma de muestras en los ensayos de plasticidad

Periodo/fecha	Actividades	Objetivo	Fórmula	Tipo	Número de muestras por día	Total de muestras (x3)
Semana del 13 de noviembre al 8 de diciembre	Plasticidad de cada fórmula referente a la pasta empleada como materia prima para el proceso de atomización.	Estandarizar los valores de plasticidad para cada fórmula empleada para la elaboración del producto Gres Rojo	MQ-2016-7D	Con Dfe.	1	4
				Sin Dfe.	1	4
			MQ-2016-7D	Con Dfe.	1	4
				Sin Dfe.	1	4
Total						16

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)



### 1.7.6.3. Evaluación final del polvo atomizado

Corresponde a la determinación del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado en el llenado y descarga de los silos, y recorrido del polvo a las prensas 2000 y 4900 (formato 43 x 43). Para las comparaciones con las condiciones iniciales.

#### Experimento 4

- 11 Bolsas con el polvo atomizado proveniente del atomizador durante el llenado de los silos 5, 9 y 11, 12 o 4 según sea la disposición, por un lapso de 3 a 5 horas (toma de muestra cada hora) dependiendo del silo, para el control de 6 humedades y 1 granulometría por muestra, 1 morfología por ensayo, 1 ensayo de plasticidad y ensayo de barbotina con polvos finos.

La frecuencia de la toma de muestras se detalla a continuación.

**Tabla 2-9** Frecuencia de la toma de muestras en el llenado de los silos

Periodo /fecha	Actividades	Objetivo	Silos	Número de muestras por día	Total de muestras
Del 14 al 15 de diciembre	Control del llenado de los silos. Control de 6 humedades y 1 granulometría por muestra, 1 morfología por ensayo, 1 ensayo de plasticidad y ensayo de barbotina con polvos finos	Determinar el % de pérdida de humedad desde el llenado del silo hasta la descarga	5	5	5
			9	3	3
			4	3	3
Total					11

Realizado por: Ortega Oscar, 2017

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

- 11 Bolsas con polvo atomizado en total proveniente de los silos 5, 9 y 11, 12 o 4 según se haya llenado, durante la descarga de los mismos de 3 a 6 horas (toma de muestra cada hora) dependiendo del silo, para el control de 6 humedades y 1 granulometría por muestra y 1 morfología por ensayo, 3 absorciones y 3 contracciones por ensayo.

La frecuencia de la toma de muestras se detalla a continuación.

**Tabla 2-10** Frecuencia de la toma de muestras en la descarga de los silos

Periodo/ fecha	Actividades	Objetivo	Silos	Número de muestras por día	Total de muestras
Del 15 al 16 de diciembre	Control del llenado de los silos. Control de 6 humedades y 1 granulometría por muestra y 1 morfología por ensayo, 3 absorciones y 3 contracciones por ensayo.	Determinar el % de pérdida de humedad desde el llenado del silo hasta la descarga	5	5	5
			9	3	3
			4	3	3
Total					11

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

## Experimento 5

- 6 Bolsas con polvo atomizado en total proveniente del recorrido del mismo por las bandas hacia la prensa en tres puntos; mezcla de los silos, después de imanes y tolva de la prensa, cada tres horas por cada prensa (prensa 2000 y 4900) teniendo en cuenta que el formato de estudio es 43 x43, para el control de 6 humedades y 1 granulometría por muestra y 1 morfología por punto de muestreo y ensayo. La frecuencia de la toma de muestras se detalla a continuación.

**Tabla 2-11** Frecuencia de la toma de muestras en el recorrido de las prensas

Periodo/ fecha	Actividades	Objetivo	Prensa	Punto de muestreo	Número de muestras por día	Total de muestras
El 15 de diciembre	Control del transporte de los silos desde salida de los silos a las prensa 2000 y 4900. Control de 6	Estandarizar el rango pérdida de humedad del polvo atomizado del llenado de los silos hasta la prensa.	4900	Mezcla de los silos	1	1
				Después de los imanes	1	1
				Tolva de la prensa	1	1
			2000	Mezcla de los silos	1	1

	humedades y 1 granulometría por muestra y 1 morfología por ensayo			Después de los imanes	1	1
				Tolva de la prensa	1	1
Total						6

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

## Experimento 6

- 8 Bolsas que contienen polvos finos, con el cual se procederá a producir barbotina por medio de formulación porcentual. El mezclado se hará de dos formas bajo molienda y agitación controlada. Se controlará los sólidos, residuo, viscosidad, densidad y tiempo de agitación por muestra, y plasticidad para la muestra estable. La frecuencia de la toma de muestras se detalla a continuación.

**Tabla 2-12** Frecuencia de la toma de muestras en los ensayos de barbotina con polvos finos

Periodo/fecha	Actividades	Objetivo	Tipo de Mezclado	Número de muestras por día	Total de muestras (x4)
Del 11 al 22 de diciembre	Elaboración de barbotina con polvos finos empleando la operación de molienda y agitación para el mezclado de los componentes	Utilizar los polvos finos retirados de la producción total del polvo atomizado	Molienda	1	4
			Agitación	1	4
Total					8

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### 1.8. Selección de Muestra

La selección de las muestras está directamente relacionada con la distribución de los puntos de muestreo y se describe a continuación de la siguiente manera:

**1.8.1. Descarga del polvo atomizado a los silos, salida de los silos, recorrido del polvo a las prensas 2000 y 4900, y polvos finos para elaboración de barbotina.**

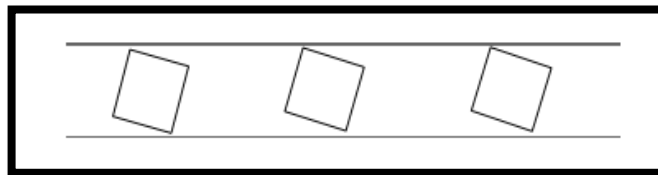
Las muestras del polvo atomizado se obtendrán directamente en las bandas transportadoras sea el polvo atomizado proveniente del atomizador, el polvo proveniente de los silos y polvo transportado a las prensas 2000 y 4900, el proceso de toma de muestra se hará con un recipiente de dimensiones (36x15cm) para que cubra toda el área del polvo en la banda transportadora (figura 2-1).



**Figura 2-1** Recipiente empleado para toma de muestra

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

Se pasará el recipiente por la banda transportadora de manera longitudinal y con una inclinación de unos 15 °, dos veces para homogeneizar y una tercera para tomar la muestra (figura 2-2).



**Figura 2-2** Toma de muestra para el polvo atomizado y fino

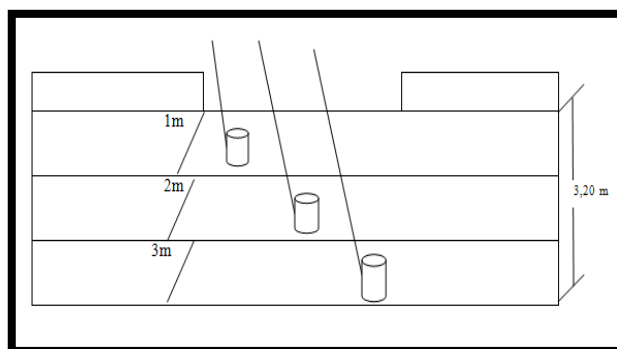
**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

Cada muestra de polvo atomizado será almacenada en bolsas de plástico de 5 lb de capacidad para conservar su humedad, de lo cual 2lb son introducidas en la misma por muestra tomada, permitiendo así su utilización en pruebas y análisis posteriores.

**Nota:** La empresa C. A. Ecuatoriana de Cerámica se compromete a facilitar los equipos que serán utilizados en la experimentación, y calibrarlos según se requiera para la toma de datos. También se compromete a facilitar los datos obtenidos por cada operador para su uso posterior.

### 1.8.2. Barbotina tomada directamente de la cisterna central para los análisis de plasticidad.

Las muestras de la barbotina se toman directamente de la cisterna central (centro donde converge y se almacena la pasta proveniente de todos los molinos). El proceso de toma de muestra se realiza con un arrastra muestra (recipiente adecuado para tomar muestra de centros de almacenamiento profundos), con el cual se toma la muestra a tres distintas profundidades y se homogeniza en un recipiente de 1,5 L para su subsecuente utilización. Ver figura 2-3.



**Figura 2-3** Toma de muestra para barbotina

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

Las distintas profundidades a las cuales se toma la muestra están graduadas en la varilla del arrastra muestra siendo para las tres los valores de 1, 2, y 3 metros respectivamente, tomando en cuenta que la profundidad de la cisterna es de 3,20 metros.

**Nota:** La empresa C. A. Ecuatoriana de Cerámica se compromete a facilitar los equipos que serán utilizados en la experimentación, y calibrarlos según se requiera para la toma de datos.

### 1.9. Técnicas de recolección de datos

La parte inicial de esta investigación son los datos obtenidos a partir de los experimentos de pérdida de humedad del polvo atomizado y de la evaluación de la pasta empleada como materia prima para el proceso, que se evidencian en los experimentos 1, 2 y 3. Estos experimentos son ensayos realizados en el laboratorio de Molienda y Atomización, y Desarrollo e Investigación de la empresa C. A. Ecuatoriana de Cerámica en el año 2017.

Durante estos experimentos preliminares se analizaron posibles causas para la pérdida de humedad del polvo atomizado y como esto afecta al producto final (Gres Rojo – Monoquema para pisos cerámicos, brillante de formato 43 x 43), posteriormente se realizaron ensayos una vez

detectada la causa de los defectos para comprobar su incidencia y proceder a mejorar las condiciones del polvo atomizado.

A partir de los datos obtenidos, se evaluará el polvo atomizado en condiciones antes y después de las mejoras aplicadas en el proceso y en el transporte del mismo corroborándolo con los datos provenientes del departamento de calidad de la empresa.

La presente investigación estuvo regida directamente a la población de análisis (condiciones del polvo atomizado). Aunque cabe recalcar que se efectuó una revisión bibliográfica dentro de la empresa y de artículos de revistas indexadas. De estas fuentes se obtuvo información sólida acerca de las condiciones por las cuales el polvo atomizado es óptimo para su posterior prensado, así como también los parámetros de calidad del polvo y de la materia prima (barbotina) de la que procede el mismo.

Las muestras fueron tomadas de acuerdo a la evaluación de las condiciones del polvo atomizado de la siguiente manera:

## **Experimento 1**

### *Llenado de los silos*

- Fecha de toma de muestra
- Hora de toma de muestra
- Densidad de barbotina ( $\text{g/cm}^3$ )
- Viscosidad de barbotina (s)
- Residuo de barbotina (%)
- Número de lanzas funcionales
- Número de boquillas funcionales
- Temperatura de quema ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Presión de bombeo de barbotina (bar)
- Humedad ambiental (%)
- Temperatura ambiental ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Número de silo a llenar
- Número de lámpara

## **Ver anexo A**

### *Descarga de los silos*

- Fecha de toma de muestra
- Hora de toma de muestra
- Humedad ambiental (%)
- Temperatura ambiental (°C)
- Número de silo a llenar
- Horas de reposo
- Cantidad de polvo atomizado en el silo
- Número de lámpara

## **Ver anexo B**

### **Experimento 2**

#### *Recorrido del polvo a las prensas 2000 y 4900*

- Fecha de toma de muestra
- Hora de toma de muestra
- Formato del prensado (cm)
- Punto de muestreo
- Número de lámpara

## **Ver anexo C**

### **Experimento 3**

#### *Plasticidad de la pasta utilizada en el proceso de atomizado.*

- Fecha de toma de muestra
- Hora de toma de muestra
- Densidad de barbotina (g/cm<sup>3</sup>)
- Viscosidad de barbotina (s)

- Residuo de barbotina (%)
- Composición de la pasta (%)

#### **Ver anexo D**

Las muestras fueron tomadas de acuerdo a la implementación de mejoras en las condiciones del polvo atomizado de la siguiente manera:

#### **Experimento 4**

##### *Llenado de los silos*

- Fecha de toma de muestra
- Hora de toma de muestra
- Densidad de barbotina ( $\text{g/cm}^3$ )
- Viscosidad de barbotina (s)
- Residuo de barbotina (%)
- Número de lanzas funcionales
- Número de boquillas funcionales
- Temperatura de quema ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Presión de bombeo de barbotina (bar)
- Humedad ambiental (%)
- Temperatura ambiental ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Número de silo a llenar
- Número de lámpara

#### **Ver anexo A**

##### *Descarga de los silos*

- Fecha de toma de muestra
- Hora de toma de muestra
- Humedad ambiental (%)
- Temperatura ambiental ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Número de silo a llenar



- Horas de reposo
- Cantidad de polvo atomizado en el silo
- Número de lámpara

**Ver anexo B**

### **Experimento 5**

*Recorrido del polvo a las prensas 2000 y 4900*

- Fecha de toma de muestra
- Hora de toma de muestra
- Formato del prensado
- Punto de muestreo
- Número de lámpara

**Ver anexo C**

### **Experimento 6**

*Barbotina producida con polvos finos*

- Fecha de toma de muestra
- Hora de toma de muestra
- Temperatura de quema (°C)
- Presión de bombeo de barbotina (bar)
- Densidad de barbotina (g/cm<sup>3</sup>)
- Viscosidad de barbotina (s)
- Residuo de barbotina (%)
- Sólidos totales (%)

**Ver anexo E**

Las hipótesis planteadas se comprobaron por medio del modelo estadístico de Regresión Lineal Múltiple bajo el análisis de del método introducir y correlación de Pearson con el software IBM SPSS, y la comparación de las variables de calidad con el Manual del Sistema de Gestión de Calidad C. A. Ecuatoriana de Cerámica. EC.LA.8.2.4.M01

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 1.10. Resultados

##### *1.10.1. Observación de las condiciones operacionales y de transporte del polvo atomizado*

Para llevar a cabo los objetivos propuestos será necesario realizar un diagnóstico preliminar de las condiciones operacionales y de las líneas de transporte del polvo atomizado con el objetivo de evaluar las condiciones en las que se encuentra el polvo atomizado empleado para la elaboración de las piezas cerámicas; lo cual se describe a continuación:

##### *1.10.1.1. Condiciones operacionales y parámetros de calidad de la producción del polvo atomizado.*

El presente diagnóstico se efectuará tomando nota de los parámetros operacionales y de calidad del polvo atomizado en la producción y almacenamiento del mismo, descrito en el Manual de Gestión de la calidad de la empresa. Dichos parámetros se detallan a continuación (tabla 3-1):

**Tabla 3-1** Condiciones operacionales y parámetros de calidad en la producción del polvo atomizado.

PARÁMETRO	VARIABLE OPERACIONAL	CANTIDAD O RANGO	OBSERVACIÓN O PROCEDIMIENTO
Atomizador Chino	Temperatura de quema	690 – 750 °C	Durante cada hora el operador revisa las variables operacionales y sube a revisar el funcionamiento de las boquillas, por si alguna se ha tapado y en caso de haberse tapado procede a destaparla limpiándola. También propina golpes en la entrada de cada lanza para soltar la barbotina que se adhiere a las boquillas.
	Producción	14000 Kg/s	
	Número de lanzas	9	
	Número de boquillas	26	
	Diámetro de pastillas	2.5 – 3 mm (intercaladas)	
	Presión de bombeo	18 – 20 Bares	
	Depresión	30	
Ventosas	Abertura de 75%		
Barbotina	Densidad	1.65 – 1.66 g/cm <sup>3</sup>	El operador antes de atomizar toma una muestra de barbotina de la
	Sólidos Totales	61 – 65 %	
	Viscosidad	60 – 80 s	

	Residuo	8 – 9.5 %	cisterna central que alimenta el atomizador, para determinar si su viscosidad, densidad y residuos, están dentro de los rangos de acuerdo a la norma preestablecida.	
Hidrociclón	Depresión	140 Ventilador principal 30 Ciclonas	Los valores se mantuvieron constantes Polvos finos se vierten sobre las bandas que transportan el polvo atomizado a los silos.	
Polvo atomizado	Determinación de Humedad	7,4 – 7,8 %	Empleo de tarina como recipiente para toma de muestra. Utilización de lámparas de luz incandescente para secado de muestra. Tiempo de secado de muestra 15 min. Se efectúa una determinación cada 30 min	
	Determinación Morfológica	----	Método no estandarizado Grano circular sin orificio en el centro	
	Determinación granulométrica	Malla (mm)	Peso (gr)	Se efectúa cada 30 min
		20 = 0.850	< 1	
		40 = 0.425	31 – 41	
		60 = 0.250	41 – 47	
		80 = 0.180	6 – 8	
		100 = 0.150	3 – 5.5	
		200 = 0.075	4 – 8	
Finos		< 1		
Silos (13 silos para pasta Monoquema)	Silos 1 – 4	Capacidad: 40 tt	Sin mantenimiento Abastecen a la prensa 2000 Tiempo de reposo del polvo atomizado: 18 – 24 horas	
	Silos 5 - 7	Capacidad: 90 tt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin mantenimiento</li> <li>• Abastecen a la prensa 2000 y 4900</li> <li>• Tiempo de reposo del polvo atomizado: 18 – 24 horas</li> </ul>	

	Silos 8- 13	Capacidad: 40 tt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin mantenimiento</li> <li>• Abastecen a la prensa 4900</li> <li>• Tiempo de reposo del polvo atomizado: 18 – 24 horas</li> </ul>
Operador	Antes de atomizar	-----	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisa las bombas, el atomizador y las boquillas de las lanzas (por si están tapadas).</li> <li>• Lava el atomizador con agua expulsando por medio de las boquillas agua en vez de barbotina.</li> <li>• Lava los filtros.</li> <li>• Enciende el quemador 40 minutos antes de atomizar para regular la temperatura.</li> <li>• Envía la carga de barbotina hacia el atomizador accionando la bomba PPB.</li> </ul>
	Durante el Atomizado	-----	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envía el polvo atomizado al silo 0 (silo 1), durante 45 minutos para que la humedad de este se regule.</li> <li>• Luego toma muestras del polvo atomizado en la cascada (caída de la banda dos a la tres), para controlar la humedad y la granulometría cada 30 minutos con una tarrina.</li> </ul>
	Después del atomizado	-----	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deja limpio el atomizador enviado agua por las lanzas</li> <li>• Limpia el área de atomización: filtros, vibrotamices, bombas, etc.</li> <li>• Deja limpias las boquillas.</li> </ul>

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

1.10.1.2. *Condiciones de transporte del polvo atomizado.*

El presente diagnóstico se efectuará tomando nota de las condiciones de transporte del polvo atomizado empezando por la producción pasando por el almacenamiento y culminando con la descarga de este a las prensas.

- **Líneas de transporte del polvo atomizado del proceso de atomización al almacenamiento en los silos.**

Los datos que a continuación se tabulan en la tabla 3-2, son los correspondientes a las dimensiones, temperaturas y humedades ambiente, observaciones y condiciones de los dispositivos que engloban el transporte del polvo atomizado desde el atomizador hasta los silos del 1 al 13, en un día soleado.

**Tabla 3-2** Recorrido del polvo del atomizador al silo (día soleado)

Tramos/bandas	Dimensiones longitud (m)	Temperatura y Humedad relativa (°C y %)		Observaciones	Condiciones
		°C	%		
BM 1	5.77	23	45	Banda principal	
BMH	4.55	20	46	Recepta los polvos del hidrociclón	
TVM1	0.64	21	45	Retiene residuos y partículas gruesas	
BM2	13.56	19	46		
BM3	9.4	20	48		
BM4	10.5	22	45		
EEM1	2.28	24	44	Entrada al elevador de cangilones 1	
SEM1	2.67	27	45	Salida del elevador de cangilones 1	
BM5	3.86	28	45	Alimenta a BM6	
BM6	4.36	28	46	Alimenta a silo 5,6 y 7	
BM7	2.03	27	42	Alimenta a BM8	
BM8	4.47	28	42	Alimenta a BM9	
BM9	6.97	29	40	Alimenta a silo 1,2,3 y 4	Recibe los rayos de luz y brisa por abertura en la pared

BM10	8.45	28	37	Alimenta a BM11	Recibe los rayos de luz y brisa por abertura en la pared
BM11:1	0.79	30	40	Alimenta a BM12	Recibe los rayos de luz y brisa por abertura en la pared
BM12	3.05	32	39	Alimenta a silos 8 y 9	Recibe los rayos de luz y brisa por abertura en la pared
BM 11:2	3.43	31	38	Alimenta a BM13	Recibe los rayos de luz y brisa por abertura en la pared
BM13:1	1.63	31	38	Alimenta a BM14	Recibe los rayos de luz y brisa por abertura en la pared
BM14	2.83	31	38	Alimenta a silos 10 y 11	Recibe los rayos de luz y brisa por abertura en la pared
BM13:2	1.27	31	36	Alimenta a BM15	Recibe los rayos de luz y brisa por abertura en la pared
BM15	2.74	31	37	Alimenta a silos 12 y 13	Recibe los rayos de luz y brisa por abertura en la pared

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Los datos que a continuación se tabulan en la tabla 3-3, son los correspondientes a las dimensiones, temperaturas y humedades ambiente, observaciones y condiciones de los dispositivos que engloban el transporte del polvo atomizado desde el atomizador hasta los silos del 1 al 13, en un día nublado.

**Tabla 3-3** Recorrido del polvo del atomizador al silo (día nublado)

Tramos/bandas	Dimensiones longitud (m)	Temperatura y Humedad relativa (°C y %)		Observaciones	Condiciones
		°C	%		
BM 1	5.77	21	56	Banda principal	
BMH	4.55	21	59	Recepta los polvos del hidrociclón	
TVM1	0.64	21	61	Retiene residuos y partículas gruesas	
BM2	13.56	21	55		
BM3	9.4	22	51		
BM4	10.5	25	51		
EEM1	2.28	26	52	Entrada al elevador de cangilones 1	

SEM1	2.67	26	49	Salida del elevador 1	
BM5	3.86	29	58	Alimenta a BM6	
BM6	4.36	28	47	Alimenta a silo 5,6 y 7	
BM7	2.03	28	53	Alimenta a BM8	
BM8	4.47	27	51	Alimenta a BM9	
BM9	6.97	27	50	Alimenta a silo 1,2,3 y 4	Recibe los brisa húmeda por abertura en la pared
BM10	8.45	25	47	Alimenta a BM11	Recibe los brisa húmeda por abertura en la pared
BM11:1	0.79	28	53	Alimenta a BM12	Recibe los brisa húmeda por abertura en la pared
BM12	3.05	28	54	Alimenta a silos 8 y 9	Recibe los brisa húmeda por abertura en la pared
BM 11:2	3.43	28	51	Alimenta a BM13	Recibe los brisa húmeda por abertura en la pared
BM13:1	1.63	28	51	Alimenta a BM14	Recibe los brisa húmeda por abertura en la pared
BM14	2.83	29	54	Alimenta a silos 10 y 11	Recibe los brisa húmeda por abertura en la pared
BM13:2	1.27	28	50	Alimenta a BM15	Recibe los brisa húmeda por abertura en la pared
BM15	2.74	29	52	Alimenta a silos 12 y 13	Recibe los brisa húmeda por abertura en la pared

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

- **Líneas de transporte del polvo atomizado de la descarga de los silos a las prensas 2000 y 4900.**

Los datos que a continuación se tabulan en la tabla 3-4, son los correspondientes a las dimensiones, temperaturas y humedades ambiente, observaciones y condiciones de los dispositivos que engloban el transporte del polvo atomizado desde los silos (1 al 7) a la prensa 2000, en un día soleado.



**Tabla 3-4** Recorrido del polvo atomizado de los silos a la prensa 2000 (día soleado)

Tramos/bandas	Dimensiones	Temperatura y Humedad relativa (°C y %)		Observaciones	Condiciones
		longitud (m)	°C		
BM16	13.69	29	41	Alimentada por los silos 5,6 y 7	
BM17	4.39	27	39	Recepta los polvos de la BM16	
BM18	13.69	27	40	Alimentada por los silos 1,2,3 y 4	
TVM2	1.24	31	40	Recepta las impurezas y gruesos	
BM19	5.76	31	37	Transporta el polvo atomizado hacia la prensa 2002	
BM20	5.99	31	39	Transporta el polvo atomizado hacia la prensa 2002	Recibe los rayos de luz y brisa por una abertura

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Los datos que a continuación se tabulan en la tabla 3-5, son los correspondientes a las dimensiones, temperaturas y humedades ambiente, observaciones y condiciones de los dispositivos que engloban el transporte del polvo atomizado desde los silos (1 al 7) a la prensa 2000, en un día nublado.

**Tabla 3-5** Recorrido del polvo atomizado de los silos a la prensa 2000 (día nublado)

Tramos/bandas	Dimensiones	Temperatura y Humedad relativa (°C y %)		Observaciones	Condiciones
		longitud (m)	°C		
BM16	13.69	25	46	Alimentada por los silos 4,5 y 6	
BM17	4.39	23	46	Recepta los polvos de la BM16	
BM18	13.69	23	49	Alimentada por los silos 1,2,3 y 4	
SEM2	1.57	25	53	Salida del elevador de cangilones 2	
TVM2	1.24	25	53	Recepta las impurezas y gruesos	
BM19	5.76	25	52	Transporta el polvo atomizado hacia la prensa 2002	
BM20	5.99	27	49	Transporta el polvo atomizado hacia la prensa 2002	Recibe los rayos de luz y brisa por abertura en la pared

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Los datos que a continuación se tabulan en la tabla 3-6, son los correspondientes a las dimensiones, temperaturas y humedades ambiente, observaciones y condiciones de los dispositivos que engloban el transporte del polvo atomizado desde los silos (5 al 13) a la prensa 4900, en un día soleado.

**Tabla 3-6** Recorrido del polvo atomizado de los silos a la prensa 4900 (día soleado)

Tramos/bandas	Dimensiones	Temperatura y Humedad relativa (°C y %)		Observaciones
		longitud (m)	°C	
BM21	8.17	36	31	Alimentada por los silos 5, 6, y 7
SEM3	2.79	30	35	Salida del elevador de cangilones 3
BM27	6.93	30	36	Alimentada por los silos 9, 12, y 13
BM26	6.07	28	39	Alimentada por los silos 8, 10, y 11
BM25	6.15	28	38	Alimentada por BM32 y BM33
SEM4	1.27	30	35	Salida del elevador de cangilones 4
TVM4	1.24	30	35	Recepta las impurezas y gruesos de los elevadores 3 y 4
BM22	6.69	29	35	Alimentado por los finos del vibrotamiz 4
BM23	4.5	29	33	Alimentada por BM22
BM24	7.32	28	32	Alimentada por BM23
TVM5	1.22	29	45	Recepta las impurezas y gruesos

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Los datos que a continuación se tabulan en la tabla 3-7, son los correspondientes a las dimensiones, temperaturas y humedades ambiente, observaciones y condiciones de los dispositivos que engloban el transporte del polvo atomizado desde los silos (5 al 13) a la prensa 4900, en un día nublado.

**Tabla 3-7** Recorrido del polvo atomizado de los silos a la prensa 4900 (día nublado)

Tramos/bandas	Dimensiones	Temperatura y Humedad relativa (°C y %)		Observaciones
		longitud (m)	°C	
BM21	8.17	28	45	Alimentada por los silos 5, 6, y 7
SEM3	2.79	24	48	Salida del elevador de cangilones 3
BM27	6.93	26	50	Alimentada por los silos 9, 12, y 13
BM26	6.07	25	47	Alimentada por los silos 8, 10, y 11
BM25	6.15	24	46	Alimentada por BM32 y BM33

TVM4	1.24	24	47	Recepta las impurezas y gruesos de los elevadores 3 y 4
BM22	6.69	24	48	Alimentado por los finos del vibrotamiz 4
BM23	4.5	25	46	Alimentada por BM22
BM24	7.32	25	45	Alimentada por BM23
TVM5	1.22	26	46	Recepta las impurezas y gruesos

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Estos datos recabados sirvieron como punto de referencia para planificar los experimentos a realizar y así cumplir con los objetivos propuestos de la investigación. Siendo las celdas marcadas en las tablas anteriores, los datos utilizados en el análisis de variables del proceso de atomización y del transporte del polvo atomizado (puntos de muestreo).

### ***1.10.2. Determinación del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado en el llenado y descarga de los silos.***

Se buscó estandarizar el método de determinación de humedad, determinar el rango de pérdida de humedad del polvo atomizado al llenar y descargar los silos, analizar las variables críticas del proceso y establecer las posibles mejoras que necesita el proceso para eliminar los defectos en el producto terminado (Gres Rojo – Cerámica para pisos).

#### ***1.10.2.1. Estandarización del método de determinación de humedad***

Se dio seguimiento a las condiciones iniciales del polvo atomizado mediante ensayos correspondientes al llenado y vaciado de los silos, tomando en cuenta los datos de humedad correspondientes al llenado de los silos para la comparación entre los datos recabados con el método empleado por los operadores y los datos recabados por el método empleado en la investigación.

##### **1.10.2.1.1. Estudio silo # 9**

A continuación se hallan tabulados (tabla 3-8), los datos correspondientes a las humedades determinadas por el método propuesto por el Tesista y el empleado por el operador en la producción del polvo atomizado que es almacenado en el silo 9. Ensayo # 1.

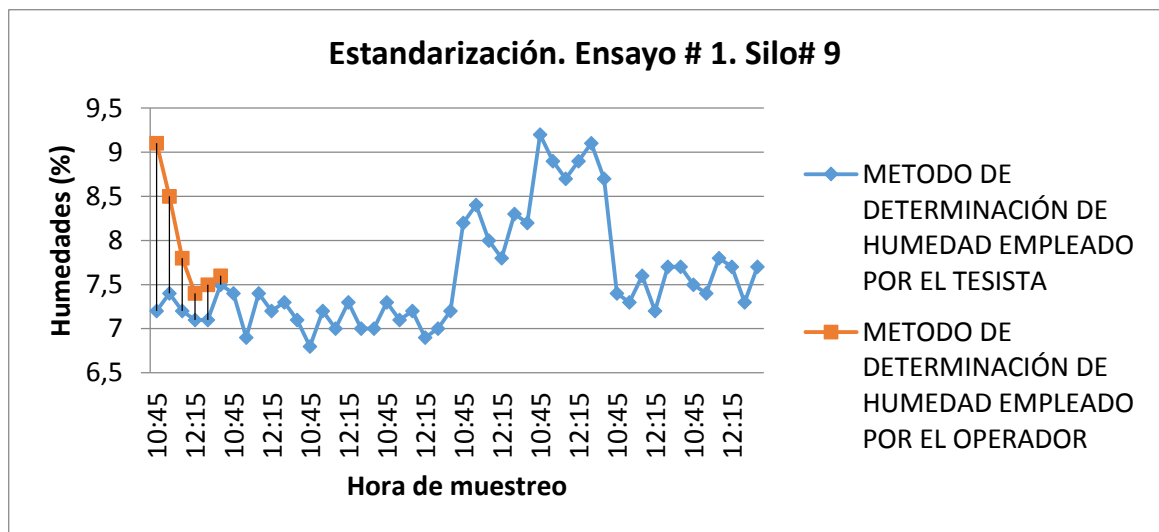
**Tabla 3-8** Resultados obtenidos para la estandarización del método de determinación de humedad. Ensayo # 1. Silo # 9

Fecha	Método de determinación de humedad empleado por el Tesista							Método de determinación de humedad empleado por el operador				
	Promedio: 8.0							Promedio: 8.0				
Día/mes/año	Hora	Humedad (%)						Promedio	Hora	Humedad (%)	Hora	Humedad (%)
27/09/2017	hora: min	L-2	L-3	L-2	L-3	L-2	L-3	%	hora: min	L-4	hora: min	L-4
<b>SILO # 9</b>	10:45	9.2	8.9	8.7	8.9	9.1	8.7	8.92	10:45	9.1	12:15	7.4
	11:45	7.4	7.3	7.6	7.2	7.7	7.7	7.48	11:15	8.5	12:45	7.5
	12:45	7.5	7.4	7.8	7.7	7.3	7.7	7.57	11:45	7.8	13:15	7.6

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-1), se relacionan las humedades y las horas de toma de muestra correspondientes al llenado del silo 9 (ensayo #1), también se representa esquemáticamente la diferencia entre el método de determinación de humedad empleado por el Tesista y el método empleado por el operador.



**Gráfico 3-1** Estandarización del método de humedad. Ensayo # 1. Silo # 9

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

A continuación se hallan tabulados (tabla 3-9), los datos correspondientes a las humedades determinadas por el método propuesto por el Tesista y el empleado por el operador en la producción del polvo atomizado que es almacenado en el silo 9. Ensayo # 2.

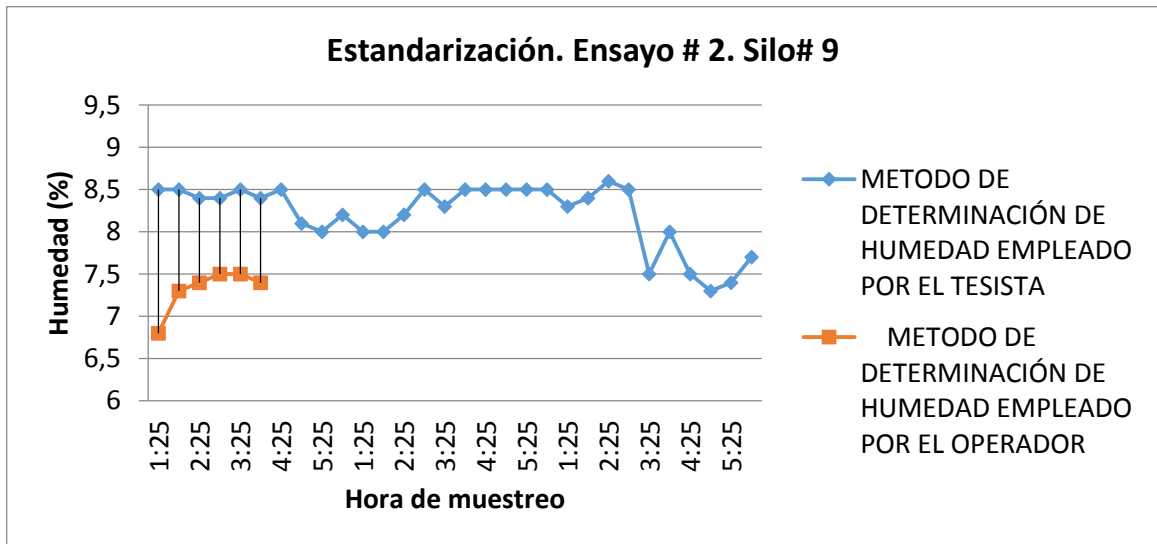
**Tabla 3-9** Resultados obtenidos para la estandarización del método de determinación de humedad. Ensayo # 2. Silo # 9

Fecha	Método de determinación de humedad empleado por el Tesista							Método de determinación de humedad empleado por el operador				
	Promedio: 6.7							Promedio: 7.3				
Día/mes/año	Hora	Humedad (%)						Promedio	Hora	Humedad (%)	Hora	Humedad (%)
13/10/2017	hora: min	L-2	L-3	L-2	L-3	L-2	L-3	%	hora: min	L-4	hora: min	L-4
<b>SILO # 9</b>	7:15	6.1	6.5	6.3	6.3	6.8	6.4	6.40	7:15	6.8	8:45	7.5
	8:15	6.4	6.5	6.3	6.5	6.5	6.5	6.45	7:45	7.3	9:15	7.5
	9:15	7.5	7.2	7.2	7.7	7.7	7.1	7.17	8:15	7.4	9:45	7.4

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-2), se relacionan las humedades y las horas de toma de muestra correspondientes al llenado del silo 9 (ensayo #2), también se representa esquemáticamente la diferencia entre el método de determinación de humedad empleado por el Tesista y el método empleado por el operador.



**Gráfico 3-2** Estandarización del método de humedad. Ensayo # 2. Silo # 9

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

A continuación se hallan tabulados (tabla 3-10), los datos correspondientes a las humedades determinadas por el método propuesto por el Tesista y el empleado por el operador en la producción del polvo atomizado que es almacenado en el silo 9. Ensayo # 3.

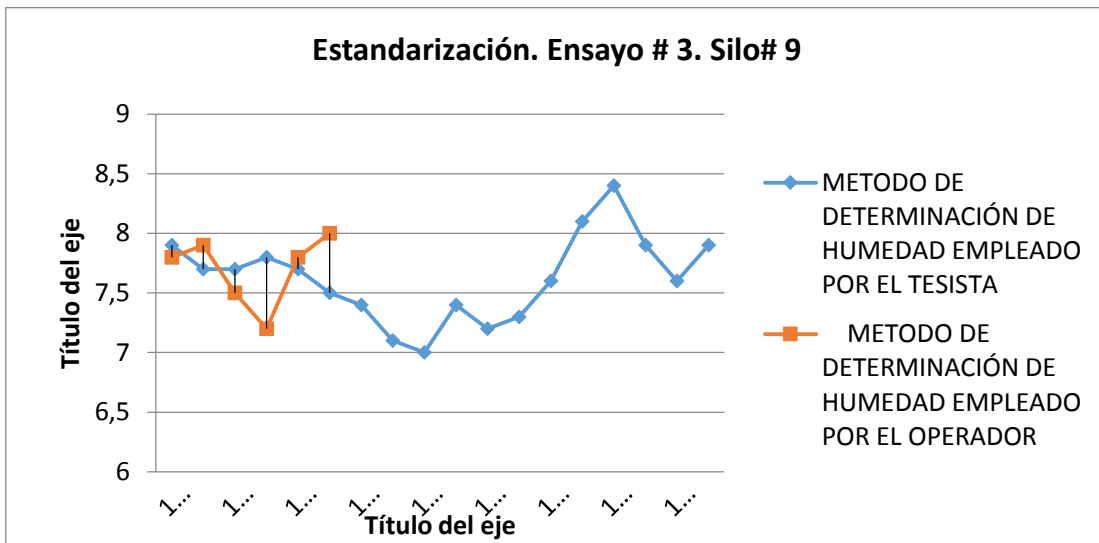
**Tabla 3-10** Resultados obtenidos para la estandarización del método de determinación de humedad. Ensayo # 3. Silo # 9

Fecha	Método de determinación de humedad empleado por el Tesista							Método de determinación de humedad empleado por el operador				
	Promedio: 7.6							Promedio: 7.7				
Día/mes/año	Hora	Humedad (%)						Promedio	Hora	Humedad (%)	Hora	Humedad (%)
17/10/2017	hora: min	L-2	L-3	L-2	L-3	L-2	L-3	%	hora: min	L-4	hora: min	L-4
<b>SILO # 9</b>	11:12	7.9	7.7	7.7	7.8	7.7	7.5	7.72	11:12	7.8	12:42	7.2
	12:12	7.4	7.1	7	7.4	7.2	7.3	7.23	11:42	7.9	13:12	7.8
	13:12	7.6	8.1	8.4	7.9	7.6	7.9	7.92	12:12	7.5	13:42	8.0

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-3), se relacionan las humedades y las horas de toma de muestra correspondientes al llenado del silo 9 (ensayo #3), también se representa esquemáticamente la diferencia entre el método de determinación de humedad empleado por el Tesista y el método empleado por el operador.



**Gráfico 3-3** Estandarización del método de humedad. Ensayo # 3. Silo # 9

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

## Análisis estadístico: Correlación de Pearson

### Ensayo 1. Silo # 9

En la tabla 3-11 se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico con el método de correlación de Pearson. En el que se analizó la correlación entre los valores de humedad determinados por el tesista y el operador junto con el número de lámparas que cumplían la condición de menor igual a lámpara # 2, para el ensayo 1 del silo # 9.

**Tabla 3-11** Resultados estadísticos de Correlación de Pearson para el ensayo 1. Silo #9

Estadísticos descriptivos					
Factores	Media	Desviación típica	N		
Humedad	7,988	0,681	24		
Analistas	1,75	0,442	24		
Horas	13:22	2:59	24		
Correlaciones					
Factores		Humedad	Analistas	Horas	
Correlación de Pearson	Humedad	1	0,004	-0,234	
	Analistas	0,004	1	-0,96	
	Horas	-0,234	-0,96	1	
Sig. (unilateral)	Humedad	.	0,493	0,135	
	Analistas	0,493	.	0	
	Horas	0,135	0	.	
N	Humedad	24	24	24	
	Analistas	24	24	24	
	Horas	24	24	24	
Estadísticos sobre los residuos					
Factores	Lámparas >= Lámpara 2 (Seleccionado)				
	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	7,157	8,81	7,988	0,5578	24
Valor pronosticado tip.	-1,489	1,474	0	1	24
Error típico de valor pronosticado	0,096	0,209	0,141	0,034	24
Valor pronosticado corregido	7	8,707	7,974	0,5626	24
Residual	-0,7889	0,55	0	0,3907	24

<b>Residuo t<sub>íp.</sub></b>	-1,93	1,345	0	0,956	24
<b>Residuo estud.</b>	-1,986	1,431	0,016	1,011	24

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

## **Análisis de resultados estadísticos**

### Correlación de Pearson (tabla 3-11)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable analista con respecto a la variable humedad arroja un valor de 0,004. Por consiguiente se rechaza la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable analista es significativa con respecto a la variable humedad, es decir los valores de humedad para el ensayo 1 del silo # 9 dependen del método para la determinación de humedad empleado por cada analista.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable horas con respecto a la variable humedad arroja un valor de 0,234. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula teniendo que, la variable horas no es significativa con respecto a la variable humedad, es decir los valores de humedad para el ensayo 1 del silo # 9 no dependen de las horas de toma de muestra efectuadas por cada analista.

#### *1.10.2.2. Análisis de las variables que intervienen en el proceso de atomización*

Mediante el análisis de las variables que intervienen en el proceso de atomización se buscó determinar en qué porcentaje se hallan correlacionados los 3 factores a evaluar (humedad, granulometría y morfología del polvo atomizado), con variables independientes que son inherentes al proceso antes mencionado.

Este análisis se efectuó mediante el método estadístico de regresión lineal múltiple, con el método introducir, considerando que la presente investigación al ser trifactorial de tres niveles contiene muchos componentes a ser correlacionados.



### 1.10.2.2.1. Humedad vs temperatura

#### Silo # 9

En la tabla 3-12 se presentan las humedades relacionadas con la temperatura de calefacción, correspondientes al llenado del silo 9 en el ensayo 1.

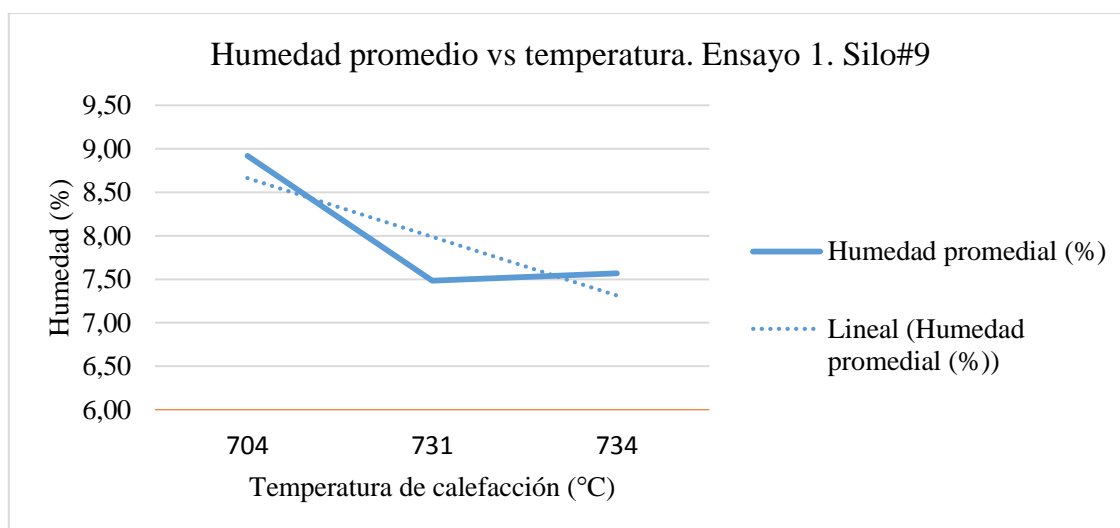
**Tabla 3-12** Humedades vs temperatura de calefacción del llenado del silo # 9 para el ensayo 1

Fecha (día/mes/año)	Llenado del silo (hora : min)	10:45	11:45	12:45
27/09/2017	Humedad promedial (%)	8,92	7,48	7,57
	Temperatura de calefacción (°C)	704	731	734
	Humedad ambiente (%)	48	48	48
	Temperatura ambiente (%)	20	20	20

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (4-4), se relacionan las humedades y las temperaturas de calefacción correspondientes al llenado del silo # 9 para el ensayo 1.



**Gráfico 3-4** Humedad promedio vs temperatura. Ensayo 1. Silo # 9

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

En la tabla 3-13 se presentan las humedades relacionadas con la temperatura de calefacción, correspondientes al llenado del silo 9 en el ensayo 2.

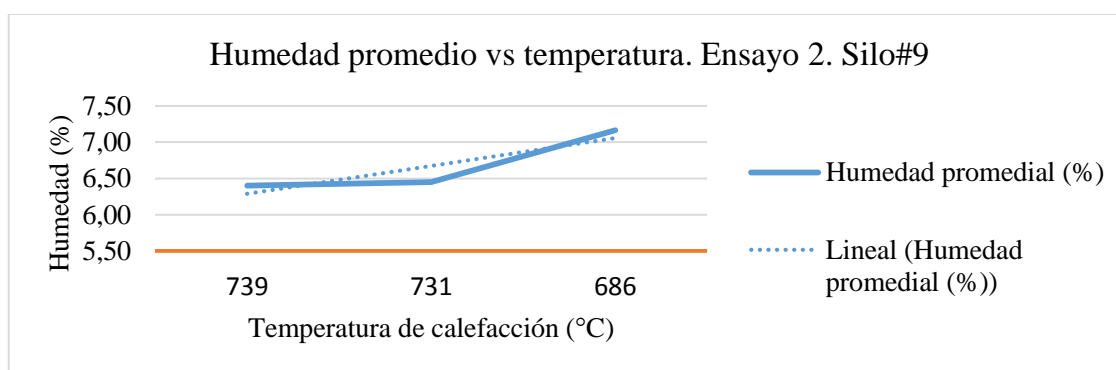
**Tabla 3-13** Humedades vs temperatura de calefacción del llenado del silo # 9 para el ensayo 2

Fecha (día/mes/año)	Llenado del silo (hora : min)	7:15	8:15	9:15
13/10/2017	Humedad promedial (%)	6,40	6,45	7,17
	Temperatura de calefacción (°C)	739	731	686
	Humedad ambiente (%)	48	48	48
	Temperatura ambiente (%)	20	20	20

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-5), se relacionan las humedades y las temperaturas de calefacción correspondientes al llenado del silo # 9 para el ensayo 2.



**Gráfico 3-5** Humedad promedio vs temperatura. Ensayo 2. Silo # 9

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

En la tabla 3-14 se presentan las humedades relacionadas con la temperatura de calefacción, correspondientes al llenado del silo 9 en el ensayo 3.

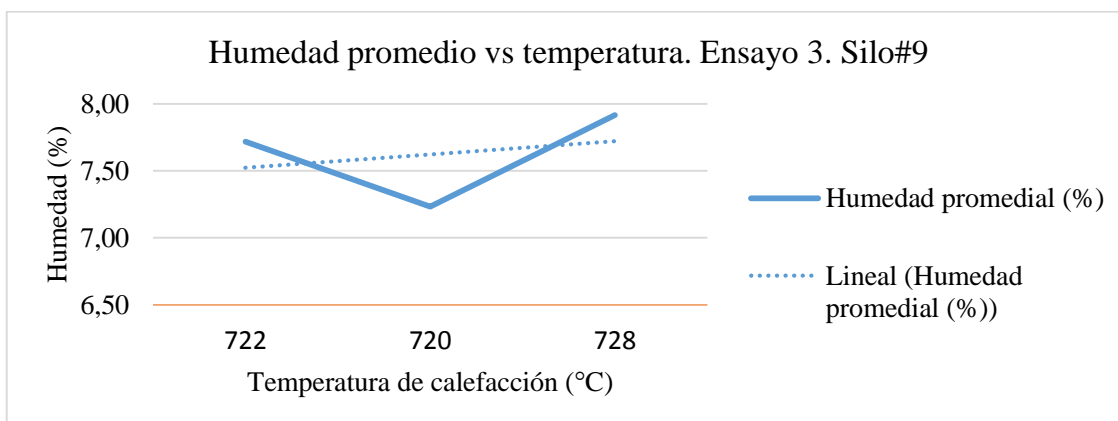
**Tabla 3-14** Humedades vs temperatura de calefacción del llenado del silo # 9 para el ensayo 3

Fecha (día/mes/año)	Llenado del silo (hora : min)	11:12	12:12	13:12
17/10/2017	Humedad promedial (%)	7,72	7,23	7,92
	Temperatura de calefacción (°C)	722	720	728
	Humedad ambiente (%)	51	51	51
	Temperatura ambiente (%)	22	22	22

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-6), se relacionan las humedades y las temperaturas de calefacción correspondientes al llenado del silo # 9 para el ensayo 3.



**Gráfico 3-6** Humedad promedio vs temperatura. Ensayo 3. Silo # 9

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

### *Análisis estadístico: Regresión Lineal Múltiple*

En la tabla 3-15 se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico con el método de Regresión lineal múltiple. En el que se analizó la correlación entre los valores de humedad vs las temperaturas de calefacción, para los ensayos 1, 2 y 3 del silo # 9.

**Tabla 3-15** Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para las humedades del llenado del silo # 9 vs temperatura de calefacción.

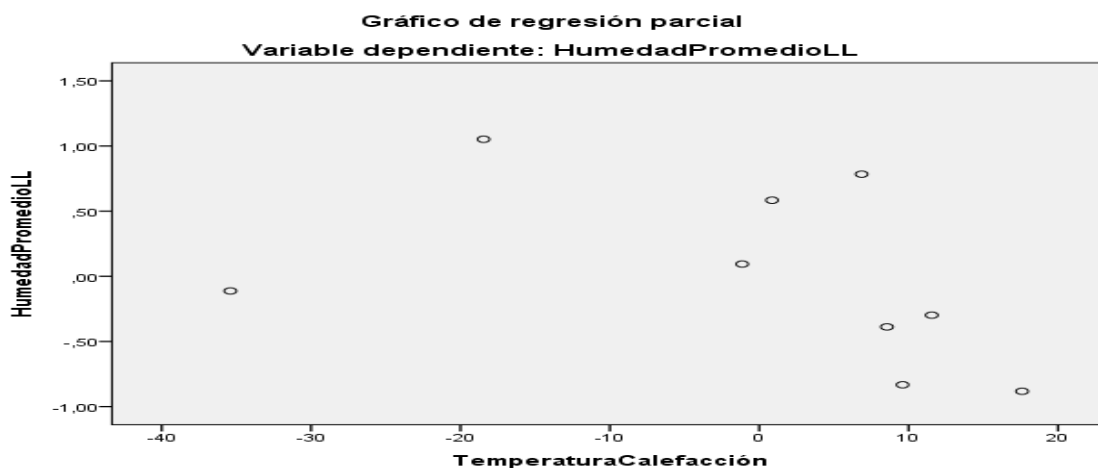
Estadísticos descriptivos				
Factores	Media	Desviación típica	N	
<b>Humedad Promedio Llenado</b>	7,4289	0,7661	9	
<b>Temperatura Calefacción</b>	721,67	16,785	9	
Correlaciones				
Factores		Humedad Promedio Llenado	Temperatura Calefacción	Fecha Muestreo
<b>Correlación de Pearson</b>	Humedad Promedio Llenado	1	-0,373	0,438
	Temperatura Calefacción	0,373	1	0,036
<b>Sig. (unilateral)</b>	Humedad Promedio Llenado	.	0,162	0,119
	Temperatura Calefacción	0,162	.	0,464

N	Humedad Promedio Llenado	9	9	9		
	Temperatura Calefacción	9	9	9		
<b>Resumen del modelo</b>						
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio	
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F
1	,585 <sup>a</sup>	0,343	0,124	0,71721	0,343	1,564
<b>ANOVA</b>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1,609	2	0,804	1,564	,284b
	Residual	3,086	6	0,514		
	Total	4,695	8			
<b>Estadísticos sobre los residuos</b>						
Factores	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N	
Valor pronosticado	6,9703	8,1955	7,4289	0,44846	9	
Valor pronosticado tip.	-1,023	1,709	0	1	9	
Error típico de valor pronosticado	0,301	0,597	0,404	0,097	9	
Valor pronosticado corregido	6,7481	9,5724	7,5517	0,83567	9	
Residual	-0,74053	0,90561	0	0,62112	9	

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-7), se relacionan las regresiones de humedades con respecto a las temperaturas de calefacción correspondientes al llenado del silo # 9 para los ensayos 1,2 y 3.



**Gráfico 3-7** Humedad promedio vs temperatura de calefacción. Silo # 9

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

*Análisis de resultados Regresión lineal múltiple*

Correlación de Pearson (tabla 3-15)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable temperatura de calefacción con respecto a la variable humedad promedial arrojo un valor de 0,373. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable temperatura de calefacción no es significativa con respecto a la variable humedad promedial, es decir los valores de humedad promedial para el silo # 9 no dependen de la temperatura de calefacción.

R cuadrado (tabla 3-15)

La variable humedad queda explicada en un 34,3 % por la variable temperatura de calefacción, teniendo que el otro 65,70% lo explican otras variables o parámetros inherentes al proceso de atomización y que infieren sobre la humedad del polvo atomizado, según el modelo de regresión lineal múltiple con el método introducir.

ANOVA (tabla 3-15)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable temperatura de calefacción con respecto a la variable humedad promedial arrojo un valor de 0,284. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable temperatura de calefacción no influye de forma conjunta y lineal con la variable humedad promedial

### Gráfico de regresión parcial

El gráfico 3-7 muestra como los residuos se hallan dispersos, siendo que para los datos de humedad con respecto a la temperatura de calefacción los residuos se hallan muy dispersos puesto que no siguen una tendencia lineal.

### **Silos aleatorios**

En la tabla 3-16 se presentan las humedades relacionadas con la temperatura de calefacción, correspondientes al llenado de los silos aleatorios para el silo # 11.

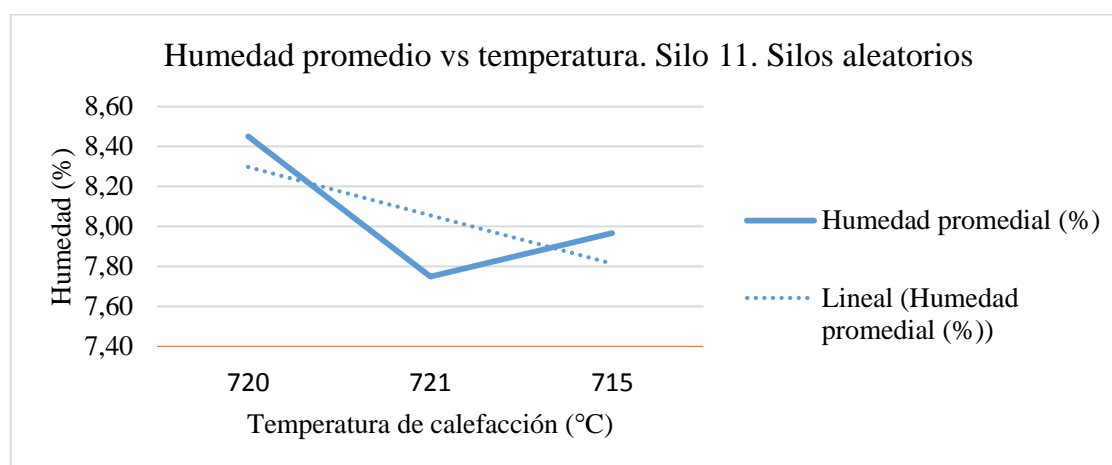
**Tabla 3-16** Humedades vs temperatura de calefacción del llenado de los silos aleatorios para el silo 11

Fecha (día/mes/año)	Llenado del silo (hora : min)	15:00	16:00	17:00
10/10/2017	Humedad promedial (%)	8,45	7,75	7,97
	Temperatura de calefacción (°C)	720	721	715
	Humedad ambiente (%)	48	48	48
	Temperatura ambiente (%)	20	20	20

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-8), se relacionan las humedades y las temperaturas de calefacción correspondientes al llenado de los silos aleatorios para el silo 11.



**Gráfico 3-8** Humedad promedio vs temperatura. Silo # 11. Silos aleatorios

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

### *Análisis estadístico: Regresión Lineal Múltiple*

En la tabla 3-17 se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico con el método de Regresión lineal múltiple. En el que se analizó la correlación entre los valores de humedad vs las temperaturas de calefacción, para los silos aleatorios 11, 12 y 4.

**Tabla 3-17** Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para las humedades del llenado de los silos aleatorios (11, 12 y 4) vs temperatura de calefacción.

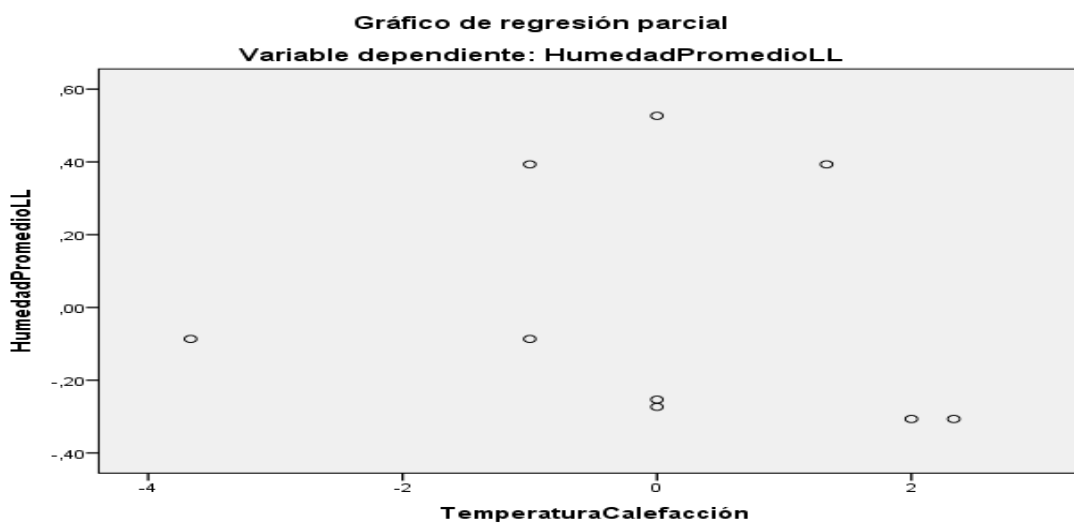
Estadísticos descriptivos						
Factores	Media	Desviación típica	N			
Humedad Promedio Llenado	8,0389	0,34178	9			
Temperatura Calefacción	721,22	7,823	9			
Correlaciones						
Factores		Humedad Promedio Llenado	Temperatura Calefacción	Fecha Muestreo		
Correlación de Pearson	Humedad Promedio Llenado	1	0,017	0,052		
	Temperatura Calefacción	0,017	1	0,04		
	Silos	0,078	0,766	0,583		
Sig. (unilateral)	Humedad Promedio Llenado	.	0,483	0,447		
	Temperatura Calefacción	0,483	.	0,459		
	Silos	0,421	0,008	0,05		
N	Humedad Promedio Llenado	9	9	9		
	Temperatura Calefacción	9	9	9		
	Silos	9	9	9		
Resumen del modelo						
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio	
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F
1	,177 <sup>a</sup>	0,031	-0,55	0,42549	0,031	0,054
ANOVA						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	0,029	3	0,01	0,054	,982 <sup>b</sup>
	Residual	0,905	5	0,181		

	Total	0,934	8		
<b>Estadísticos sobre los residuos</b>					
<b>Factores</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>N</b>
<b>Valor pronosticado</b>	7,9872	8,1657	8,0389	0,06051	9
<b>Valor pronosticado tip.</b>	-0,853	2,097	0	1	9
<b>Error típico de valor pronosticado</b>	0,246	0,389	0,28	0,047	9
<b>Valor pronosticado corregido</b>	7,7283	9,1746	8,1591	0,43181	9
<b>Residual</b>	-0,27333	0,52667	0	0,33638	9

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-9), se relacionan las regresiones de humedades con respecto a las temperaturas de calefacción correspondientes al llenado de los silos aleatorios 11, 12 y 4.



**Gráfico 3-9** Humedad promedio vs temperatura de calefacción. Silos aleatorios 11, 12 y 4.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018



## ***Análisis de resultados Regresión lineal múltiple***

### Correlación de Pearson (tabla 3-17)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable temperatura de calefacción con respecto a la variable humedad promedial arroja un valor de 0,017. Por consiguiente se rechaza la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable temperatura de calefacción si es significativa con respecto a la variable humedad promedial, es decir los valores de humedad promedial para los silos aleatorios dependen de la temperatura de calefacción, pero no en su totalidad.

### R cuadrado (tabla 3-17)

La variable humedad queda explicada en un 3,1 % por la variable temperatura de calefacción, teniendo que el otro 96,9% lo explican otras variables o parámetros inherentes al proceso de atomización y que infieren sobre la humedad del polvo atomizado, según el modelo de regresión lineal múltiple con el método introducir.

### ANOVA (tabla 3-17)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable temperatura de calefacción con respecto a la variable humedad promedial arroja un valor de 0,982. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable temperatura de calefacción no influye de forma conjunta y lineal con la variable humedad promedial

### Gráfico de regresión parcial

El gráfico 3-9 muestra como los residuos se hallan dispersos, siendo que para los datos de humedad con respecto a la temperatura de calefacción los residuos se hallan totalmente dispersos por lo que no siguen una tendencia lineal.

### 1.10.2.2.2. Humedad vs fisura

#### Silos aleatorios

En la tabla 3-18 se presentan las humedades correspondientes a la descarga de los silos aleatorios en el silo # 11 relacionadas con el porcentaje de fisura del producto final (Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43x43). Los cuadros pintados de color naranja son los valores que están en norma (humedad para prensado 6,8 – 7,2), más los cuadros pintados de celeste son los valores que no están en norma y los cuadros pintados de amarillo corresponden al porcentaje de fisura.

**Tabla 3-18** Humedades de la descarga de los silos aleatorios para el silo # 11 vs porcentaje de fisura.

Fecha (día/mes/año)	Descarga del silo (hora : min)	15:10	16:10	17:10
11/10/2017	Humedad promedial (%)	7,75	7,72	7,82
Horas de reposo = 24	Humedad ambiente (%)	54	54	54
	Temperatura ambiente (%)	29	29	29
Calidad formato (cm)	Producción producto final (m <sup>2</sup> /día)	Producto	Exportación (%)	Estándar (%)
43 x 43	4287	Cataluña Pino	86	12
<b>Fisura (%)</b>				
18				

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 3-19 se presentan las humedades correspondientes a la descarga de los silos aleatorios en el silo # 12 relacionadas con el porcentaje de fisura del producto final (Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43x43). Los cuadros pintados de color naranja son los valores que están en norma (humedad para prensado 6,8 – 7,2), más los cuadros pintados de celeste son los valores que no están en norma y los cuadros pintados de amarillo corresponden al porcentaje de fisura.

**Tabla 3-19** Humedades de la descarga de los silos aleatorios para el silo # 12 vs porcentaje de fisura.

Fecha (día/mes/año)	Descarga del silo (hora : min)	15:00	16:00	17:00
18/10/2017	Humedad promedial (%)	7,17	7,53	7,28
Horas de reposo = 25	Humedad ambiente (%)	37	37	37
	Temperatura ambiente (%)	31	31	31
Calidad formato (cm)	Producción producto final (m <sup>2</sup> /día)	Producto	Exportación (%)	Estándar (%)
43 x 43	4254	Tablilla Nogal	68	28
<b>Fisura (%)</b>				
12				

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 3-20 se presentan las humedades correspondientes a la descarga de los silos aleatorios en el silo # 4 relacionadas con el porcentaje de fisura del producto final (Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43x43). Los cuadros pintados de color naranja son los valores que están en norma (humedad para prensado 6,8 – 7,2), más los cuadros pintados de celeste son los valores que no están en norma y los cuadros pintados de amarillo corresponden al porcentaje de fisura.

**Tabla 3-20** Humedades de la descarga de los silos aleatorios para el silo # 4 vs porcentaje de fisura.

Fecha (día/mes/año)	Descarga del silo (hora : min)	11:27	12:27	13:27
20/10/2017	Humedad promedial (%)	7,2	7,2	7,25
Horas de reposo = 21	Humedad ambiente (%)	40	37	37
	Temperatura ambiente (%)	27	31	31
Calidad formato (cm)	PRODUCCIÓN PRODUCTO FINAL (m <sup>2</sup> /día)	PRODUCTO	Exportación (%)	Estándar (%)
43 x 43	842	Cataluña Roble	63	19
<b>Fisura (%)</b>				
3				

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### ***Análisis estadístico: Regresión Lineal Múltiple***

En la tabla 3-21 se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico con el método de Regresión lineal múltiple. En el que se analizó la correlación entre los valores de humedad vs

los porcentajes de fisura del producto final (Monoquema para pisos cerámicos brillantes formato 43x43), para los silos aleatorios; 11, 12 y 4.

**Tabla 3-21** Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para las humedades de la descarga de los silos aleatorios (11, 12, 4) vs porcentaje de fisura.

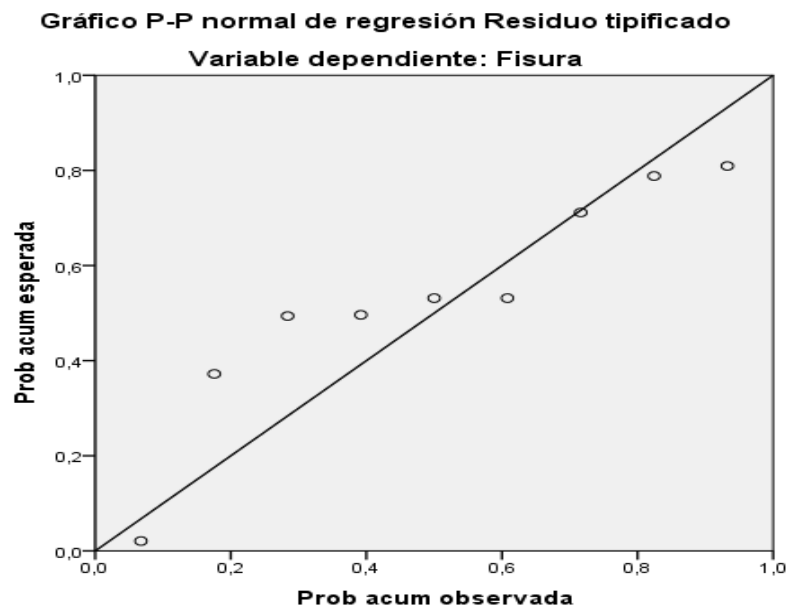
Estadísticos descriptivos						
Factores	Media	Desviación típica	N			
Fisura	11	6,538	9			
Silos	9	3,775	9			
Humedad Promedial Descarga	7,4356	0,26847	9			
Correlaciones						
Factores		Fisura	Silos	Humedad Promedial Descarga		
Correlación de Pearson	Fisura	1	0,866	0,841		
	Silos	0,866	1	0,527		
	Humedad Promedial Descarga	0,841	0,527	1		
Sig. (unilateral)	Fisura	.	0,001	0,002		
	Silos	0,001	.	0,073		
	Humedad Promedial Descarga	0,002	0,073	.		
N	Fisura	9	9	9		
	Silos	9	9	9		
	Humedad Promedial Descarga	9	9	9		
Resumen del modelo						
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio	
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F
1	,977 <sup>a</sup>	0,955	0,94	1,602	0,955	63,67
ANOVA						
Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	326,611	2	163,305	63,67	,000 <sup>b</sup>
	Residual	15,389	6	2,565		
	Total	342	8			
Estadísticos sobre los residuos						
Factores	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N	

<b>Valor pronosticado</b>	2,87	18,02	11	6,39	9
<b>Valor pronosticado tip.</b>	-1,272	1,098	0	1	9
<b>Error típico de valor pronosticado</b>	0,7	1,169	0,917	0,13	9
<b>Valor pronosticado corregido</b>	2,81	18,02	10,84	6,392	9
<b>Residual</b>	-3,268	1,402	0	1,387	9

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-10), se relacionan las regresiones de humedades en la descarga de los silos aleatorios (11, 12 y 4), con respecto a los porcentajes de fisura presentados en producto final (Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43x43).



**Gráfico 3-10** Regresión de fisura relacionada con las humedades de descarga para los silos aleatorios (11, 12 y 4).

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

## ***Análisis de resultados Regresión lineal múltiple***

### Correlación de Pearson (tabla 3-21)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable humedad promedio en la descarga con respecto a la variable fisura arroja un valor de 0,841. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable humedad promedio en la descarga no es significativa con respecto a la variable fisura, es decir los valores de fisura para los silos aleatorios no dependen de la humedad promedio en la descarga.

### R cuadrado (tabla 3-21)

La variable fisura queda explicada en un 95,5 % por la variable humedad promedio en la descarga de los silos aleatorios, teniendo que el otro 4,5 % lo explican otras variables o parámetros inherentes al polvo atomizado y que infieren sobre el porcentaje de fisura, según el modelo de regresión lineal múltiple con el método introducir.

### ANOVA (tabla 3-21)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable humedad promedio en la descarga de los silos aleatorios con respecto a la variable fisura arroja un valor de 0,000. Por consiguiente se rechaza la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable humedad promedio descarga influye de forma conjunta y lineal con la variable fisura.

### Gráfico P-P normal de regresión residuo tipificado

El gráfico 3-10 muestra como la regresión de los residuos siguen la línea de tendencia, siendo que para los datos de humedad promedio en la descarga de los silos aleatorios con respecto a la fisura, sus residuos se hallan 60% alineados a la línea de tendencia, lo cual nos denota que hay una relación de dependencia de la variable fisura con respecto a la variable humedad para este experimento.

### 1.10.2.2.3. Granulometría vs temperatura de calefacción-presión-viscosidad

#### Silo # 9

En la tabla 3-22 se presentan los pesos para cada malla de tamices para la determinación de la granulometría del polvo atomizado, junto con los parámetros físico-químicos de la barbotina (materia prima pulverizada en el atomizador), las temperaturas de calefacción del atomizador y las presiones de bombeo de la barbotina al atomizador, correspondientes al llenado del silo 9 en el ensayo 1.

En la mencionada tabla se hallan diferenciados los valores que cumplen con la norma (tabla 3-1), preestablecida por el Laboratorio de Calidad de la empresa, teniendo que el color celeste son los valores que no cumplen con la norma y el naranja los que si cumplen.

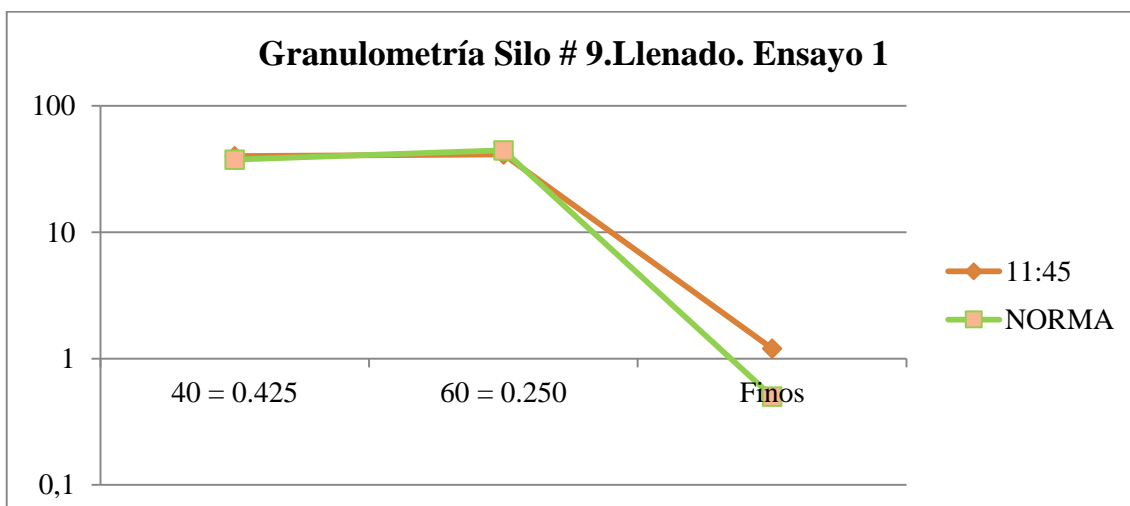
**Tabla 3-22** Granulometría del llenado del silo # 9 para el ensayo 1, relacionada con los parámetros físico-químicos de la barbotina y las temperaturas de calefacción del atomizador.

Fecha (día/mes/año)	Granulometría/hora	10:45	11:45	12:45
27/09/2017	Malla (mm)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)
<b>Silo (#)</b>	20 = 0.850	3,2	0,8	2,4
9	40 = 0.425	37,8	40	35,9
<b>Densidad (g/cm3)</b>	60 = 0.250	41	41,2	43,6
1,65	80 = 0.180	6,6	6	6,9
<b>Viscosidad (S)</b>	100 = 0.150	4,2	4,6	4,1
55	200 = 0.075	6,2	5,9	5,8
<b>Residuo (%)</b>	Finos	0,7	1,2	1,1
7,1	<b>Presión (bar)</b>	19	19	19
<b>Humedad promedio (%)</b>	<b>Temperatura de calefacción (°C)</b>	704	731	734
7,99	<b>Humedad (%)</b>	8,92	7,48	7,57

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-11), se relacionan la granulometría (mallas 40, 60 y finos), de la muestra con la cual se hizo el estudio morfológico del silo # 9 para el ensayo 1 (tabla 4-22). Cuadro de color amarillo), con la granulometría normada por el Laboratorio de Calidad de la empresa Ecuatoriana de Cerámica C. A.



**Gráfico 3-11** Relación entre la granulometría en el llenado del silo # 9 para el ensayo 1 y la norma de granulometría.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

### *Análisis estadístico: Regresión Lineal Múltiple*

#### **Malla 40**

En la tabla 3-23 se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico con el método de Regresión lineal múltiple. En el que se analizó la correlación entre los valores de granulometría de la malla 40 correspondientes a los tres ensayos para el llenado del silo # 9 vs los valores de viscosidad de la barbotina, presión de bombeo de la barbotina al atomizador y las temperaturas de calefacción del atomizador.

**Tabla 3-23** Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de la malla 40, del silo # 9 de los ensayos 1, 2 y 3.

Estadísticos descriptivos				
Factores	Media	Desviación típica	N	
Malla40	37,122	2,6822	9	
Temperatura	721,67	16,785	9	
Viscosidad	54,33	3,5	9	
Presión de bombeo	19	0	9	
Correlaciones				
Factores	Malla40	Temperatura	Viscosidad	Presión de bombeo
	Malla40	1	0,413	0,202

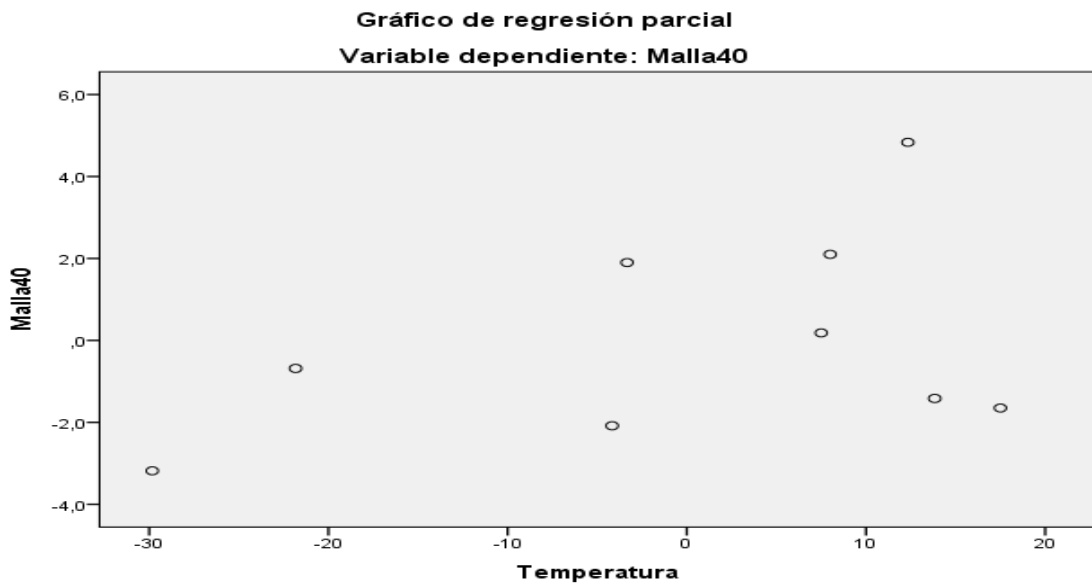


<b>Correlación de Pearson</b>	Temperatura	0,413	1	-0,111	.	
	Viscosidad	0,202	-0,111	1	.	
	Presión de bombeo	.	.	.	1	
<b>Sig. (unilateral)</b>	Malla40	.	0,135	0,302	0	
	Temperatura	0,135	.	0,388	0	
	Viscosidad	0,302	0,388	.	0	
	Presión de bombeo	0	0	0	.	
<b>N</b>	Malla40	9	9	9	9	
	Temperatura	9	9	9	9	
	Viscosidad	9	9	9	9	
	Presión de bombeo	9	9	9	9	
<b>Resumen del modelo</b>						
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio	
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F
1	,523 <sup>a</sup>	0,273	-0,454	3,2338	0,273	0,376
<b>ANOVA</b>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	15,725	4	3,931	0,376	,817 <sup>b</sup>
	Residual	41,831	4	10,458		
	Total	57,556	8			
<b>Estadísticos sobre los residuos</b>						
Factores	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N	
<b>Valor pronosticado</b>	34,733	38,994	37,122	1,402	9	
<b>Valor pronosticado tip.</b>	-1,704	1,335	0	1	9	
<b>Error típico de valor pronosticado</b>	1,881	3,087	2,382	0,393	9	
<b>Valor pronosticado corregido</b>	34,898	47,364	38,96	4,4079	9	
<b>Residual</b>	-2,7941	4,027	0	2,2867	9	

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

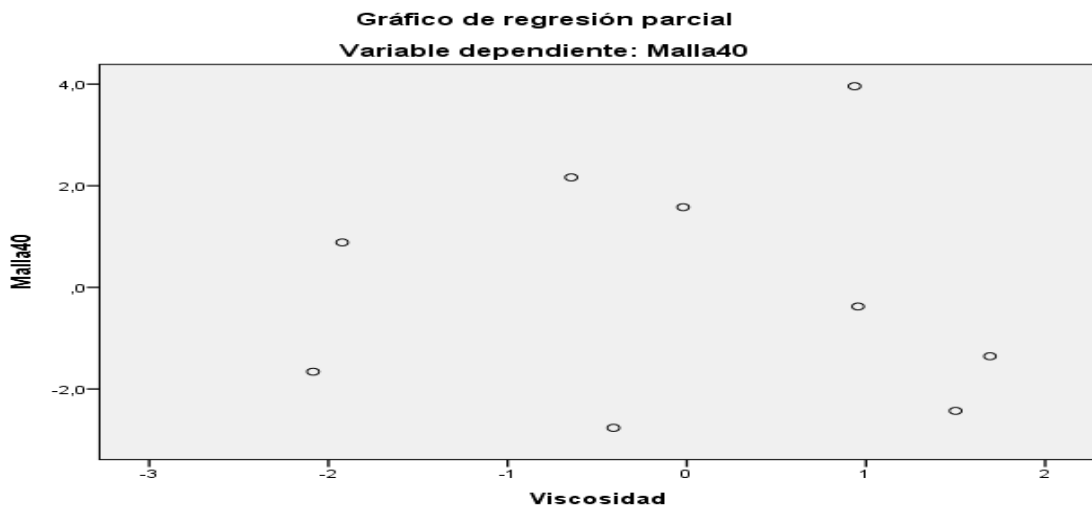
En el presente gráfico (3-12), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-malla 40) con respecto a la variable independiente (temperatura de calefacción del atomizador), para el silo # 9.



**Gráfico 3-12** Regresión parcial de la malla 40 con respecto a la temperatura (tabla 3-23), en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 9.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

En el presente gráfico (3-13), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-malla 40) con respecto a la variable independiente (Viscosidad de la barbotina), para el silo # 9.



**Gráfico 3-13** Regresión parcial de la malla 40 con respecto a la viscosidad (tabla 3-23), en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 9.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

### Correlación de Pearson (tabla 3-23)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable temperatura de calefacción con respecto a la variable granulometría en la malla 40 arrojo un valor de 0,413. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable temperatura de calefacción no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 40, es decir los valores de la granulometría en la malla 40 para el silo # 9 no dependen solo de la variable temperatura de calefacción.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable viscosidad de la barbotina con respecto a la variable granulometría en la malla 40 arrojo un valor de 0,202. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable viscosidad de la barbotina no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 40, es decir los valores de la granulometría en la malla 40 para el silo # 9 no dependen solo de la variable viscosidad de la barbotina.

Presión constante no tiene correlación con la variable granulometría en la malla 40.

### R cuadrado (tabla 3-23)

La variable granulometría en la malla 40 queda explicada en un 27,3 % por las variables independientes temperatura de calefacción y viscosidad de la barbotina, teniendo que el otro 72,7 % lo explican otras variables o parámetros inherentes al polvo atomizado y que infieren sobre el porcentaje en peso de granulometría en la malla 40, según el modelo de regresión lineal múltiple con el método introducir.

### ANOVA (tabla 3-23)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, las variables independientes temperatura de calefacción y viscosidad de la barbotina con respecto a la variable granulometría en la malla 40 arrojo un valor de 0,817. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, las variables independientes temperatura de calefacción y viscosidad de la barbotina no influyen de forma conjunta y lineal con la variable granulometría en la malla 40.

### Gráfico de regresión parcial

El gráfico 3-12 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la temperatura de calefacción con respecto a la granulometría en la malla 40, sus residuos se hallan muy dispersos y no siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-13 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la viscosidad de la barbotina con respecto a la granulometría en la malla 40, sus residuos se hallan muy dispersos y no siguen una tendencia lineal.

### **Malla 60**

En la tabla 3-24 se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico con el método de Regresión lineal múltiple. En el que se analizó la correlación entre los valores de granulometría de la malla 60 correspondientes a los tres ensayos para el llenado del silo # 9 vs los valores de viscosidad de la barbotina, presión de bombeo de la barbotina al atomizador y las temperaturas de calefacción del atomizador.

**Tabla 3-24** Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de la malla 60, del silo # 9 de los ensayos 1, 2 y 3.

<b>Estadísticos descriptivos</b>					
<b>Factores</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>N</b>		
<b>Malla 60</b>	44,244	2,0707	9		
<b>Temperatura</b>	721,67	16,785	9		
<b>Viscosidad</b>	54,33	3,5	9		
<b>Presión de bombeo</b>	19	0	9		
<b>Correlaciones</b>					
<b>Factores</b>		<b>Malla60</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Viscosidad</b>	<b>Presión de bombeo</b>
<b>Correlación de Pearson</b>	Malla60	1	-0,08	-0,175	.
	Temperatura	-0,08	1	-0,111	.
	Viscosidad	-0,175	-0,111	1	.
	Presión de bombeo	.	.	.	1
<b>Sig. (unilateral)</b>	Malla60	.	0,419	0,326	0
	Temperatura	0,419	.	0,388	0
	Viscosidad	0,326	0,388	.	0

	Presión de bombeo	0	0	0	.	
<b>N</b>	Malla60	9	9	9	9	
	Temperatura	9	9	9	9	
	Viscosidad	9	9	9	9	
	Presión de bombeo	9	9	9	9	
<b>Resumen del modelo</b>						
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio	
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F
1	,840 <sup>a</sup>	0,706	0,411	1,5885	0,706	2,398
<b>ANOVA</b>						
Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	24,208	4	6,052	2,398	,209 <sup>b</sup>
	Residual	10,094	4	2,523		
	Total	34,302	8			
<b>Estadísticos sobre los residuos</b>						
Factores	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N	
Valor pronosticado	41,899	45,568	44,244	1,7395	9	
Valor pronosticado tip.	-1,348	0,761	0	1	9	
Error típico de valor pronosticado	0,924	1,516	1,17	0,193	9	
Valor pronosticado corregido	38,91	46,975	43,545	2,7956	9	
Residual	-1,3141	1,659	0	1,1233	9	

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

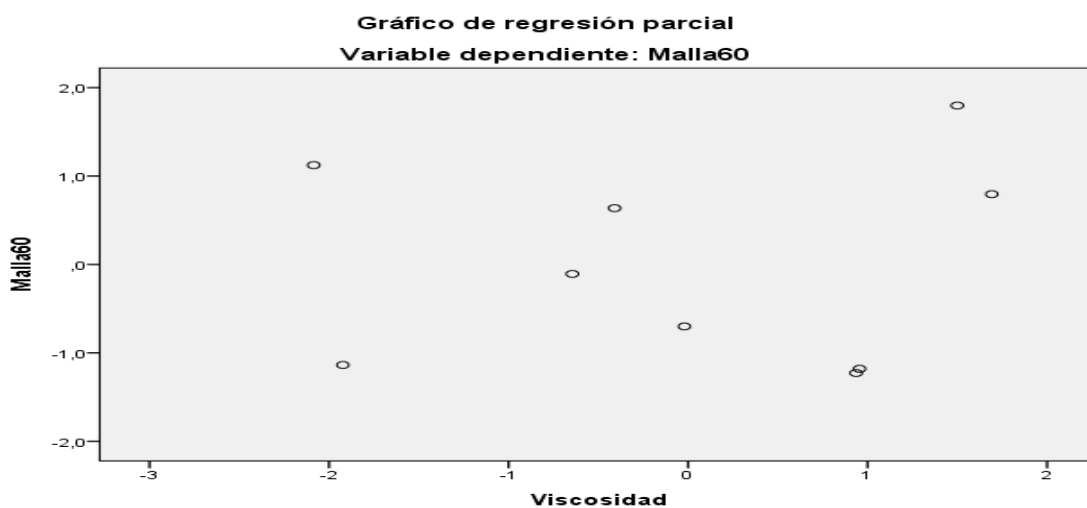
En el presente gráfico (3-14), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-malla 60) con respecto a la variable independiente (temperatura de calefacción del atomizador), para el silo # 9.



**Gráfico 3-14** Regresión parcial de la malla 60 con respecto a la temperatura (tabla 3-24), en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 9.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

En el presente gráfico (3-15), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-malla 60) con respecto a la variable independiente (Viscosidad de la barbotina), para el silo # 9.



**Gráfico 3-15** Regresión parcial de la malla 60 con respecto a la viscosidad (tabla 3-24), en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 9.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

### Correlación de Pearson (tabla 3-24)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable temperatura de calefacción con respecto a la variable granulometría en la malla 60 arrojo un valor de 0,08. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable temperatura de calefacción no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 60, es decir los valores de la granulometría en la malla 60 para el silo # 9 no dependen solo de la variable temperatura de calefacción.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable viscosidad de la barbotina con respecto a la variable granulometría en la malla 60 arrojo un valor de 0,175. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable viscosidad de la barbotina no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 60, es decir los valores de la granulometría en la malla 60 para el silo # 9 no dependen solo de la variable viscosidad de la barbotina.

Presión constante no tiene correlación con la variable granulometría en la malla 60.

### R cuadrado (tabla 3-24)

La variable granulometría en la malla 60 queda explicada en un 70,6 % por las variables independientes temperatura de calefacción y viscosidad de la barbotina, teniendo que el otro 29,4 % lo explican otras variables o parámetros inherentes al polvo atomizado y que infieren sobre el porcentaje en peso de granulometría en la malla 60, según el modelo de regresión lineal múltiple con el método introducir.

### ANOVA (tabla 3-24)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, las variables independientes temperatura de calefacción y viscosidad de la barbotina con respecto a la variable granulometría en la malla 60 arrojo un valor de 0,209. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, las variables independientes temperatura de calefacción y viscosidad de la barbotina no influyen de forma conjunta y lineal con la variable granulometría en la malla 60.

### Gráfico de regresión parcial

El gráfico 3-14 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la temperatura de calefacción con respecto a la granulometría en la malla 60, sus residuos se hallan muy dispersos y no siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-15 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la viscosidad de la barbotina con respecto a la granulometría en la malla 60, sus residuos se hallan muy dispersos y no siguen una tendencia lineal.

### **Finos**

En la tabla 3-25 se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico con el método de Regresión lineal múltiple. En el que se analizó la correlación entre los valores de granulometría de los finos correspondientes a los tres ensayos para el llenado del silo # 9 vs los valores de viscosidad de la barbotina, presión de bombeo de la barbotina al atomizador y las temperaturas de calefacción del atomizador.

**Tabla 3-25** Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de los finos, del silo # 9 de los ensayos 1, 2 y 3.

<b>Estadísticos descriptivos</b>					
<b>Factores</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>N</b>		
<b>Finos</b>	1,444	1,6682	9		
<b>Temperatura</b>	721,67	16,785	9		
<b>Viscosidad</b>	54,33	3,5	9		
<b>Presión de bombeo</b>	19	0	9		
<b>Correlaciones</b>					
<b>Factores</b>	<b>Finos</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Viscosidad</b>	<b>Presión de bombeo</b>	
<b>Correlación de Pearson</b>	Finos	1	0,762	0,16	.
	Temperatura	0,762	1	-0,111	.
	Viscosidad	0,16	-0,111	1	.
	Presión de bombeo	.	.	.	1
<b>Sig. (unilateral)</b>	Finos	.	0,008	0,341	0
	Temperatura	0,008	.	0,388	0
	Viscosidad	0,341	0,388	.	0

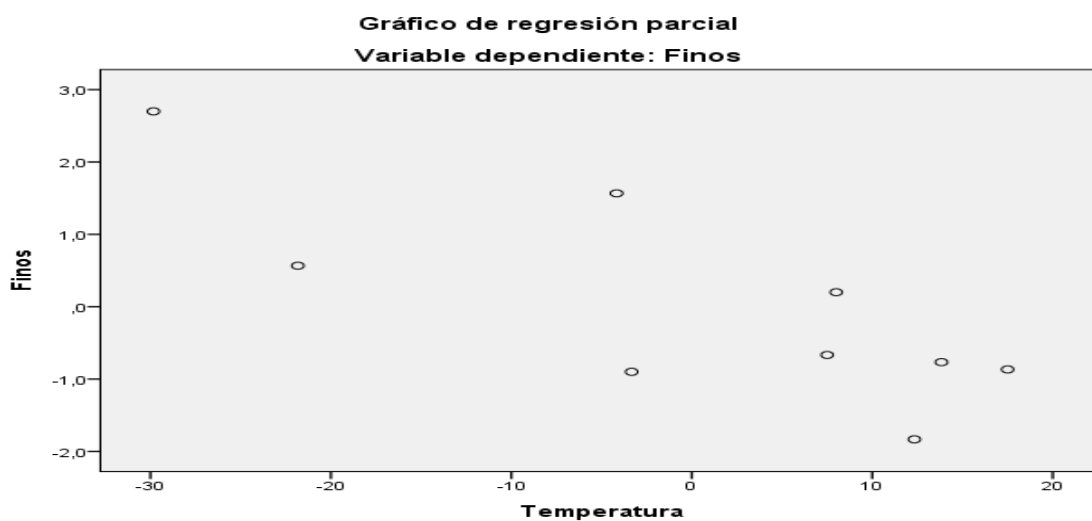


	Presión de bombeo	0	0	0	.	
<b>N</b>	Finos	9	9	9	9	
	Temperatura	9	9	9	9	
	Viscosidad	9	9	9	9	
	Presión de bombeo	9	9	9	9	
<b>Resumen del modelo</b>						
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R cuadrado</b>	<b>R cuadrado corregida</b>	<b>Error típ. de la estimación</b>	<b>Estadísticos de cambio</b>	
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F
1	,857 <sup>a</sup>	0,734	0,469	1,2157	0,734	2,766
<b>ANOVA</b>						
<b>Modelo</b>		<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
1	Regresión	16,351	4	4,088	2,766	,174 <sup>b</sup>
	Residual	5,912	4	1,478		
	Total	22,262	8			
<b>Estadísticos sobre los residuos</b>						
<b>Factores</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>N</b>	
<b>Valor pronosticado</b>	-0,031	4,942	1,444	1,4296	9	
<b>Valor pronosticado tip.</b>	-1,032	2,447	0	1	9	
<b>Error típico de valor pronosticado</b>	0,707	1,16	0,895	0,148	9	
<b>Valor pronosticado corregido</b>	-1,793	4,017	0,83	1,7873	9	
<b>Residual</b>	-1,1282	1,2814	0	0,8596	9	

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

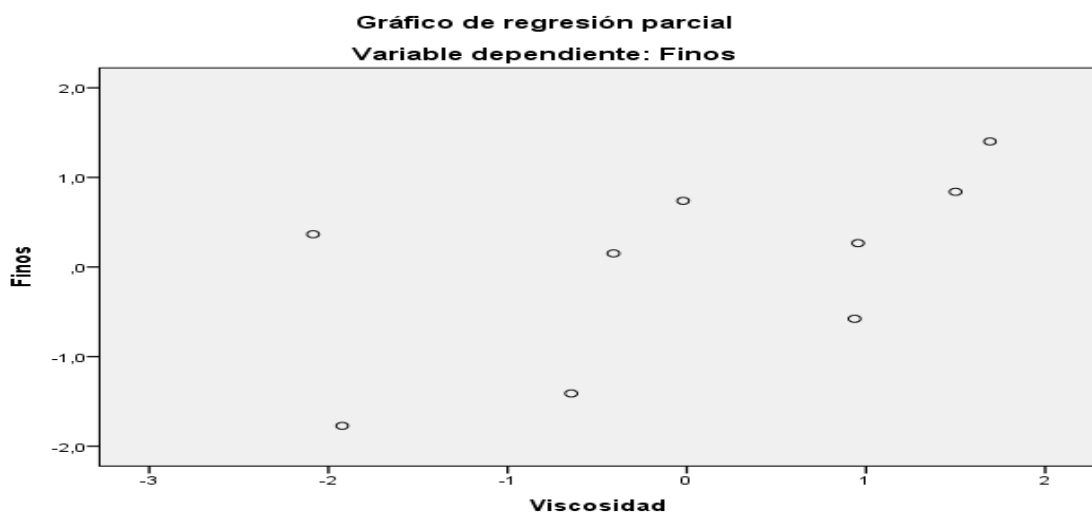
En el presente gráfico (3-16), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-finos) con respecto a la variable independiente (temperatura de calefacción del atomizador), para el silo # 9.



**Gráfico 3-16** Regresión parcial de los finos con respecto a la temperatura (tabla 3-25), en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 9

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

En el presente gráfico (3-17), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-finos) con respecto a la variable independiente (Viscosidad de la barbotina), para el silo # 9.



**Gráfico 3-17** Regresión parcial de los finos con respecto a la viscosidad (tabla 3-25), en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 9.

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

### Correlación de Pearson (tabla 3-25)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable temperatura de calefacción con respecto a la variable granulometría en los finos arroja un valor de 0,762. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable temperatura de calefacción no es significativa con respecto a la variable granulometría en los finos, es decir los valores de la granulometría en los finos para el silo # 9 no dependen solo de la variable temperatura de calefacción.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable viscosidad de la barbotina con respecto a la variable granulometría en los finos arroja un valor de 0,16. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable viscosidad de la barbotina no es significativa con respecto a la variable granulometría en los finos, es decir los valores de la granulometría en los finos para el silo # 9 no dependen solo de la variable viscosidad de la barbotina.

Presión constante no tiene correlación con la variable granulometría en los finos.

### R cuadrado (tabla 3-25)

La variable granulometría en los finos queda explicada en un 73,4 % por las variables independientes temperatura de calefacción y viscosidad de la barbotina, teniendo que el otro 26,6 % lo explican otras variables o parámetros inherentes al polvo atomizado y que infieren sobre el porcentaje en peso de granulometría en los finos, según el modelo de regresión lineal múltiple con el método introducir.

### ANOVA (tabla 3-25)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, las variables independientes temperatura de calefacción y viscosidad de la barbotina con respecto a la variable granulometría en los finos arroja un valor de 0,174. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, las variables independientes temperatura de calefacción y viscosidad de la barbotina no influyen de forma conjunta y lineal con la variable granulometría en los finos.

### Gráfico de regresión parcial

El gráfico 3-16 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la temperatura de calefacción con respecto a la granulometría en los finos, sus residuos no se hallan muy dispersos y siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-17 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la viscosidad de la barbotina con respecto a la granulometría en los finos, sus residuos se hallan muy dispersos y no siguen una tendencia lineal.

### **Silos aleatorios**

En la tabla 3-26 se presentan los pesos para cada malla de tamices para la determinación de la granulometría del polvo atomizado, junto con los parámetros físico-químicos de la barbotina (materia prima pulverizada en el atomizador), las temperaturas de calefacción del atomizador y las presiones de bombeo de la barbotina al atomizador, correspondientes al llenado del silo 11.

En la mencionada tabla se hallan diferenciados los valores que cumplen con la norma (tabla 3-1), preestablecida por el Laboratorio de Calidad de la empresa, teniendo que el color celeste son los valores que no cumplen con la norma y el naranja los que si cumplen.

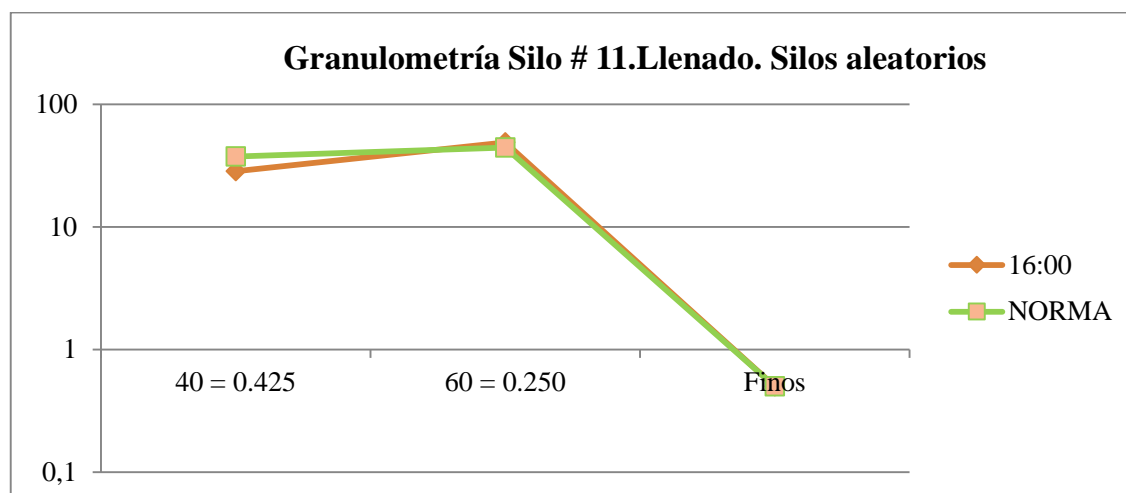
**Tabla 3-26** Granulometría del llenado del silo # 11, relacionada con los parámetros físico-químicos de la barbotina y las temperaturas de calefacción del atomizador.

<b>Fecha (día/mes/año)</b>	<b>Granulometría/hora</b>	<b>15:00</b>	<b>16:00</b>	<b>17:00</b>
10/10/2017	Malla (mm)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)
<b>Silo (#)</b>	20 = 0.850	0,7	0,4	1,9
11	40 = 0.425	32,5	28,4	33,2
<b>Densidad (g/cm3)</b>	60 = 0.250	48,1	48,8	42,8
1,65	80 = 0.180	8,5	9,5	7,4
<b>Viscosidad (S)</b>	100 = 0.150	4,4	5,8	4,7
68	200 = 0.075	5,3	6,6	8,5
<b>Residuo (%)</b>	Finos	0,4	0,5	1,1
7,6	<b>Presión (bar)</b>	20	20	20
<b>Humedad promedio (%)</b>	<b>Temperatura de calefacción (°C)</b>	720	721	715
8,06	<b>Humedad (%)</b>	8,45	7,75	7,97

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-18), se relacionan la granulometría (mallas 40, 60 y finos), de la muestra con la cual se hizo el estudio morfológico del silo # 11 (tabla 3-26. Cuadro de color amarillo), con la granulometría normada por el Laboratorio de Calidad de la empresa Ecuatoriana de Cerámica C. A.



**Gráfico 3-18** Relación entre la granulometría en el llenado del silo # 11 y la norma de granulometría.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

### *Análisis estadístico: Regresión Lineal Múltiple*

#### **Malla 40**

En la tabla 3-27 se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico con el método de Regresión lineal múltiple. En el que se analizó la correlación entre los valores de granulometría de la malla 40 correspondientes a los tres ensayos para el llenado de los silos aleatorios vs los valores de viscosidad de la barbotina, presión de bombeo de la barbotina al atomizador y las temperaturas de calefacción del atomizador.

**Tabla 3-27** Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de la malla 40, del silos aleatorios de los silos 11, 12 y 4.

Estadísticos descriptivos			
Factores	Media	Desviación típica	N
Malla40	31,311	4,1444	9
Temperatura	721,22	7,823	9

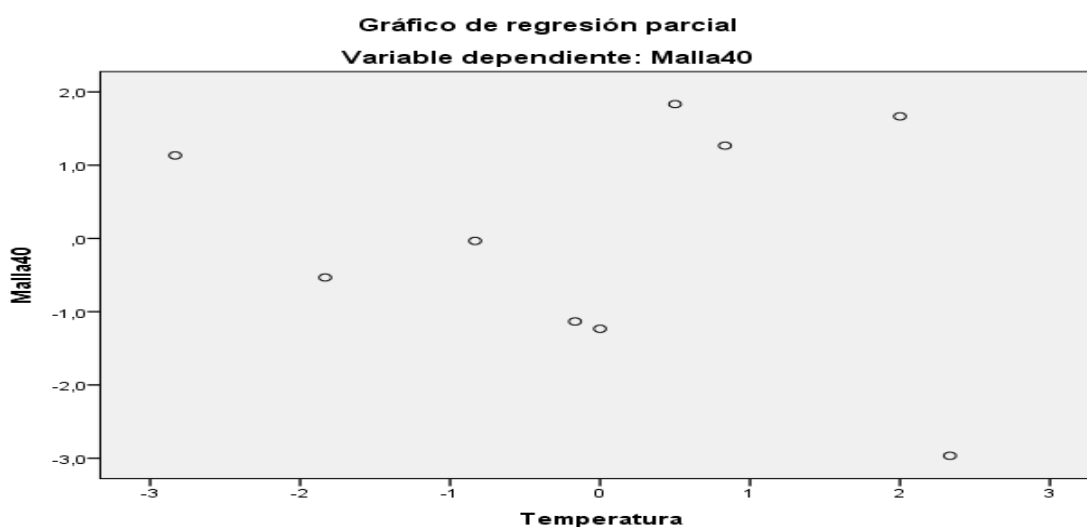
<b>Viscosidad</b>	61,67	8,761	9			
<b>Presión de bombeo</b>	19,67	0,5	9			
<b>Silos</b>	9	3,775	9			
<b>Correlaciones</b>						
<b>Factores</b>		<b>Malla40</b>	<b>Viscosidad</b>	<b>Presión de bombeo</b>	<b>Silos</b>	<b>Temperatura</b>
<b>Correlación de Pearson</b>	Malla40	1	0,792	0,838	0,838	0,825
	Temperatura	0,825	0,692	0,766	0,766	1
	Viscosidad	0,758	-0,457	-0,556	-0,556	-0,924
	Presión de bombeo	0,792	1	0,993	0,993	0,692
	Silos	0,838	0,993	1	1	0,766
<b>Sig. (unilateral)</b>	Malla40	0,009	0,005	0,002	0,002	0,003
	Temperatura	0	0,019	0,008	0,008	.
	Viscosidad	.	0,108	0,06	0,06	0
	Presión de bombeo	0,108	.	0	0	0,019
	Silos	0,06	0	.	.	0,008
<b>N</b>	Malla40	9	9	9	9	9
	Temperatura	9	9	9	9	9
	Viscosidad	9	9	9	9	9
	Presión de bombeo	9	9	9	9	9
	Silos	9	9	9	9	9
<b>Resumen del modelo</b>						
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R cuadrado</b>	<b>R cuadrado corregido</b>	<b>Error típ. de la estimación</b>	<b>Estadísticos de cambio</b>	
					<b>Cambio en R cuadrado</b>	<b>Cambio en F</b>
1	,923 <sup>a</sup>	0,852	0,704	2,2546	0,852	5,758
<b>ANOVA</b>						
<b>Modelo</b>		<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
1	Regresión	117,076	4	29,269	5,758	,059
	Residual	20,333	4	5,083		
	Total	137,409	8			
<b>Estadísticos sobre los residuos</b>						

Factores	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	26,368	36,36	31,311	3,8255	9
Valor pronosticado tip.	-1,292	1,32	0	1	9
Error típico de valor pronosticado	1,302	2,087	1,669	0,208	9
Valor pronosticado corregido	25,913	37,526	31,012	4,5102	9
Residual	-2,5899	1,9896	0	1,5943	9

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

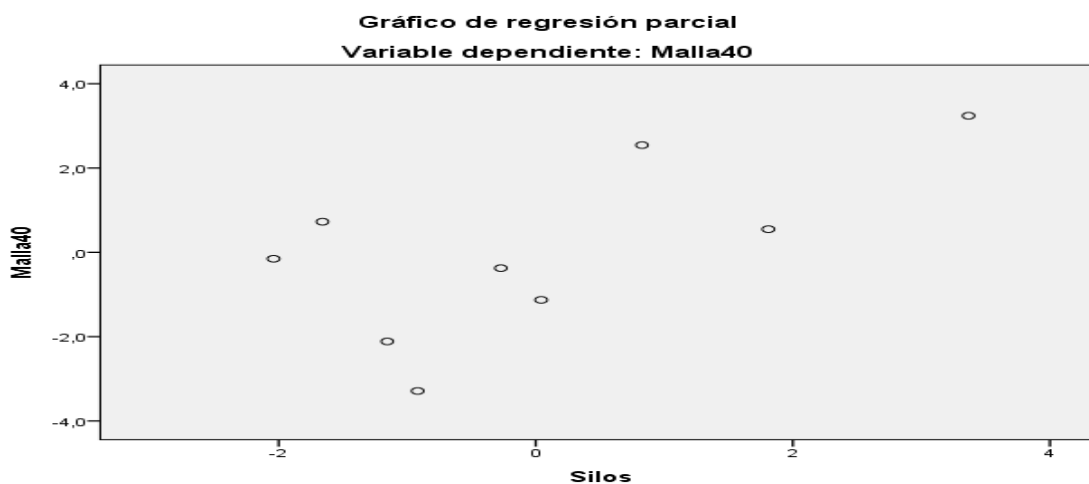
En el presente gráfico (3-19), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-malla 40) con respecto a la variable independiente (temperatura de calefacción del atomizador), para los silos aleatorios.



**Gráfico 3-19** Regresión parcial de la malla 40 con respecto a la temperatura (tabla 3-27), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

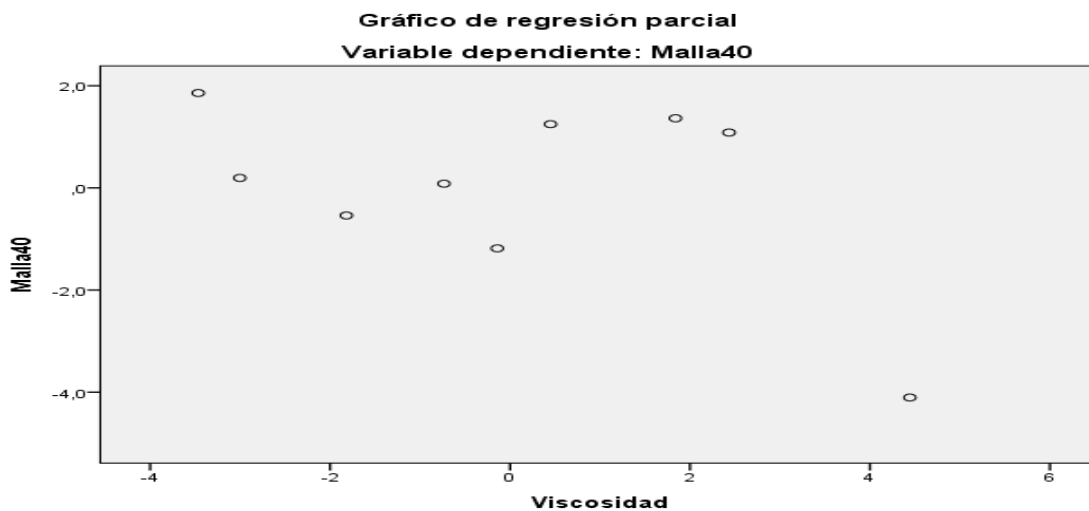
En el presente gráfico (3-20), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-malla 40) con respecto a la variable independiente (Número de silos), para los silos aleatorios.



**Gráfico 3-20** Regresión parcial de la malla 40 con respecto al número de silos (tabla 3-27), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

En el presente gráfico (3-21), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-malla 40) con respecto a la variable independiente (Viscosidad de la barbotina), para los silos aleatorios.



**Gráfico 3-21** Regresión parcial de la malla 40 con respecto a la viscosidad (tabla 3-27), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018



## ***Análisis de resultados Regresión lineal múltiple***

### Correlación de Pearson (tabla 3-27)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable temperatura de calefacción con respecto a la variable granulometría en la malla 40 arroja un valor de 0,825. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable temperatura de calefacción no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 40, es decir los valores de la granulometría en la malla 40 para los silos aleatorios no dependen solo de la variable temperatura de calefacción.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable viscosidad de la barbotina con respecto a la variable granulometría en la malla 40 arroja un valor de 0,758. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable viscosidad de la barbotina no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 40, es decir los valores de la granulometría en la malla 40 para los silos aleatorios no dependen solo de la variable viscosidad de la barbotina.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable presión de bombeo de la barbotina con respecto a la variable granulometría en la malla 40 arroja un valor de 0,792. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable presión de bombeo de la barbotina no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 40, es decir los valores de la granulometría en la malla 40 para los silos aleatorios no dependen solo de la variable presión de bombeo de la barbotina.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable presión de bombeo de la barbotina con respecto a la variable granulometría en la malla 40 arroja un valor de 0,838. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable presión de bombeo de la barbotina no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 40, es decir los valores de la granulometría en la malla 40 para los silos aleatorios no dependen solo de la variable presión de bombeo de la barbotina.

### R cuadrado (tabla 3-27)

La variable granulometría en la malla 40 queda explicada en un 85,2 % por las variables independientes temperatura de calefacción, viscosidad de la barbotina, presión de bombeo de la

barbotina y número de silo, teniendo que el otro 14,8 % lo explican otras variables o parámetros inherentes al polvo atomizado y que infieren sobre el porcentaje en peso de granulometría en la malla 40, según el modelo de regresión lineal múltiple con el método introducir.

#### ANOVA (tabla 3-27)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, las variables independientes temperatura de calefacción, viscosidad de la barbotina, presión de bombeo de la barbotina y número de silo con respecto a la variable granulometría en la malla 40 arrojo un valor de 0,59. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, las variables independientes temperatura de calefacción, viscosidad de la barbotina y presión de bombeo de la barbotina no influyen de forma conjunta y lineal con la variable granulometría en la malla 40.

#### Gráfico de regresión parcial

El gráfico 3-19 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la temperatura de calefacción con respecto a la granulometría en la malla 40, sus residuos se hallan muy dispersos y no siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-21 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la viscosidad de la barbotina con respecto a la granulometría en la malla 40, sus residuos se hallan muy dispersos y no siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-20 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos del número de silos con respecto a la granulometría en la malla 40, sus residuos se hallan muy dispersos y no siguen una tendencia lineal.

#### **Malla 60**

En la tabla 3-28 se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico con el método de Regresión lineal múltiple. En el que se analizó la correlación entre los valores de granulometría de la malla 60 correspondientes a los tres ensayos para el llenado de los silos aleatorios vs los valores de viscosidad de la barbotina, presión de bombeo de la barbotina al atomizador y las temperaturas de calefacción del atomizador.

**Tabla 3-28** Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de la malla 60, del silos aleatorios de los silos 11, 12 y 4.

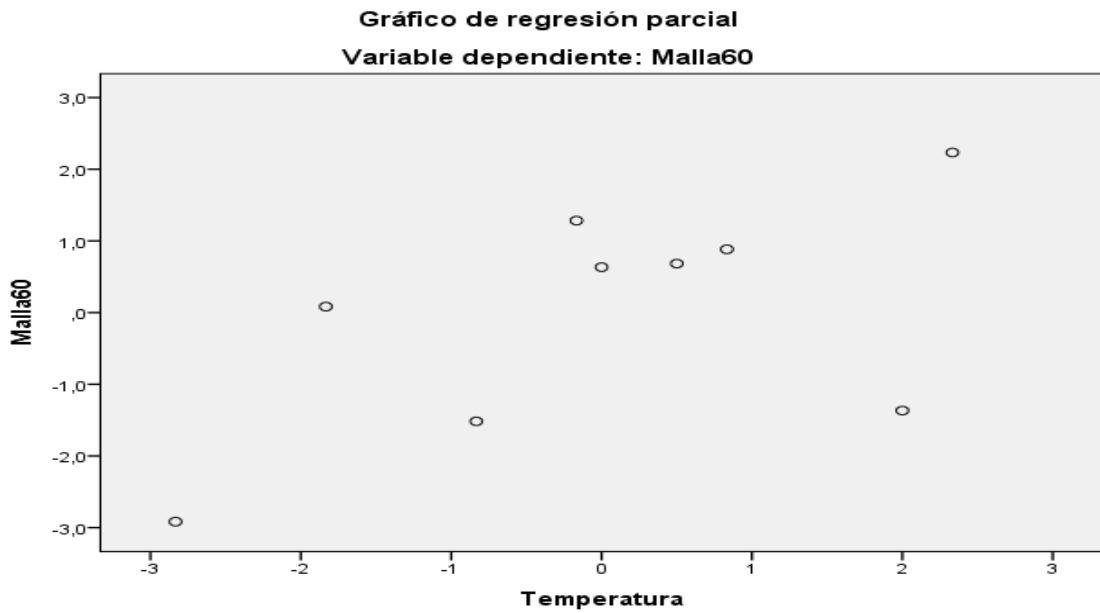
<b>Estadísticos descriptivos</b>						
<b>Factores</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>N</b>			
<b>Malla60</b>	46,133	1,9862	9			
<b>Temperatura</b>	721,22	7,823	9			
<b>Viscosidad</b>	61,67	8,761	9			
<b>Presión de bombeo</b>	19,67	0,5	9			
<b>Silos</b>	9	3,775	9			
<b>Correlaciones</b>						
<b>Factores</b>		<b>Malla60</b>	<b>Viscosidad</b>	<b>Presión de bombeo</b>	<b>Silos</b>	<b>Temperatura</b>
<b>Correlación de Pearson</b>	Malla60	1	-0,277	-0,315	-0,315	-0,293
	Temperatura	0,293	0,692	0,766	0,766	1
	Viscosidad	0,437	-0,457	-0,556	-0,556	-0,924
	Presión de bombeo	0,277	1	0,993	0,993	0,692
	Silos	0,315	0,993	1	1	0,766
<b>Sig. (unilateral)</b>	Malla60	0,12	0,235	0,204	0,204	0,222
	Temperatura	0	0,019	0,008	0,008	.
	Viscosidad	.	0,108	0,06	0,06	0
	Presión de bombeo	0,108	.	0	0	0,019
	Silos	0,06	0	.	.	0,008
<b>N</b>	Malla60	9	9	9	9	9
	Temperatura	9	9	9	9	9
	Viscosidad	9	9	9	9	9
	Presión de bombeo	9	9	9	9	9
	Silos	9	9	9	9	9
<b>Resumen del modelo</b>						
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R cuadrado</b>	<b>R cuadrado corregido</b>	<b>Error típ. de la estimación</b>	<b>Estadísticos de cambio</b>	
					<b>Cambio en R cuadrado</b>	<b>Cambio en F</b>
1	,751 <sup>a</sup>	0,563	0,127	1,8559	0,563	1,291
<b>ANOVA</b>						

<b>Modelo</b>		<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
1	Regresión	17,782	4	4,446	1,291	,405
	Residual	13,778	4	3,444		
	Total	31,56	8			
<b>Estadísticos sobre los residuos</b>						
<b>Factores</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>N</b>	
<b>Valor pronosticado</b>	44,022	47,885	46,133	1,4909	9	
<b>Valor pronosticado tip.</b>	-1,416	1,175	0	1	9	
<b>Error típico de valor pronosticado</b>	1,072	1,718	1,374	0,171	9	
<b>Valor pronosticado corregido</b>	42,638	51,984	46,774	2,9189	9	
<b>Residual</b>	-2,497	1,3775	0	1,3123	9	

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

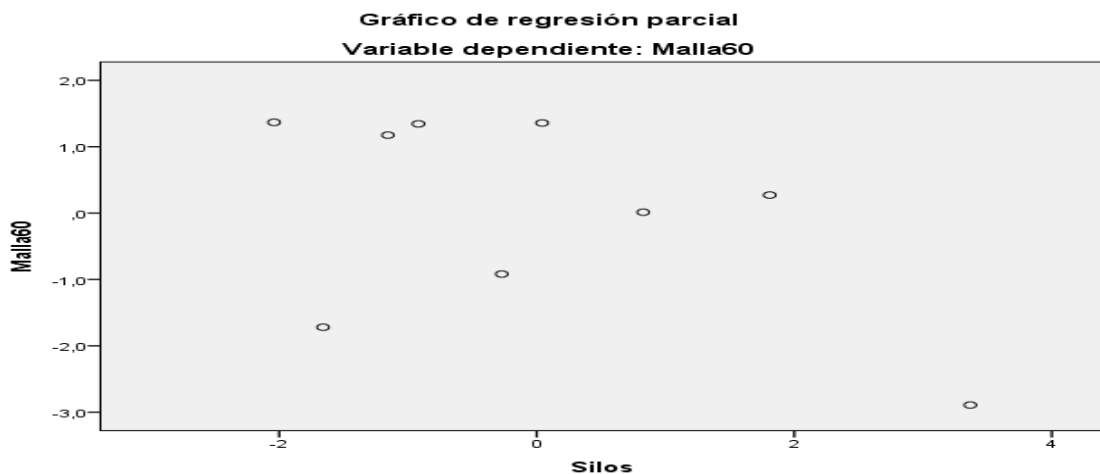
En el presente gráfico (3-22), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-malla 60) con respecto a la variable independiente (temperatura de calefacción del atomizador), para los silos aleatorios.



**Gráfico 3-22** Regresión parcial de la malla 60 con respecto a la temperatura (tabla 3-28), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

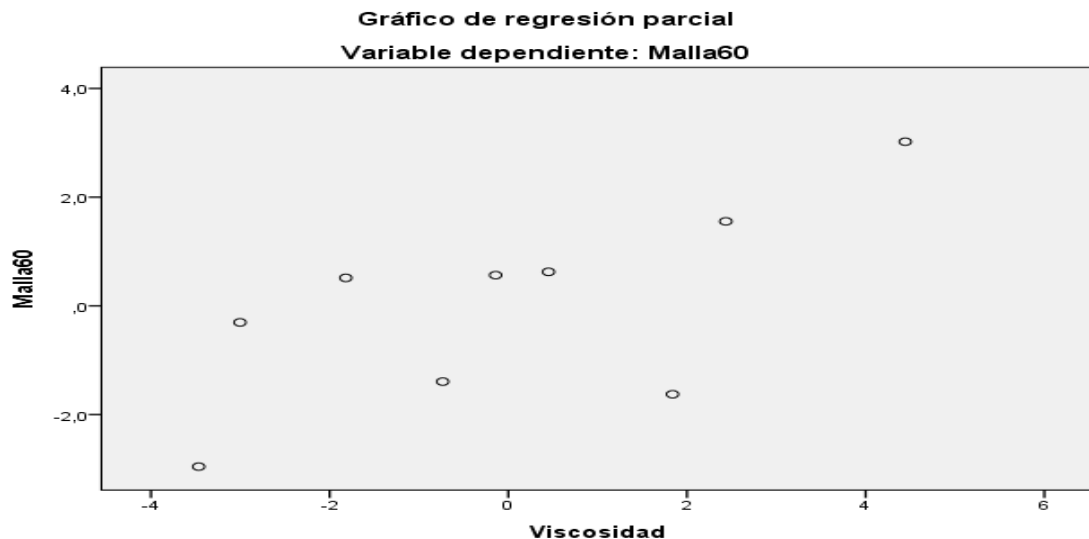
En el presente gráfico (3-23), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-malla 60) con respecto a la variable independiente (Número de silos), para los silos aleatorios.



**Gráfico 3-23** Regresión parcial de la malla 60 con respecto al número de silos (tabla 3-28), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

En el presente gráfico (3-24), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-malla 60) con respecto a la variable independiente (Viscosidad de la barbotina), para los silos aleatorios.



**Gráfico 3-24** Regresión parcial de la malla 60 con respecto a la viscosidad (tabla 3-28), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

### *Análisis de resultados Regresión lineal múltiple*

#### Correlación de Pearson (tabla 3-28)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable temperatura de calefacción con respecto a la variable granulometría en la malla 60 arrojo un valor de 0,293. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable temperatura de calefacción no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 60, es decir los valores de la granulometría en la malla 60 para los silos aleatorios no dependen solo de la variable temperatura de calefacción.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable viscosidad de la barbotina con respecto a la variable granulometría en la malla 60 arrojo un valor de 0,437. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable viscosidad de la barbotina no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 60, es decir los valores de la

granulometría en la malla 60 para los silos aleatorios no dependen solo de la variable viscosidad de la barbotina.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable presión de bombeo de la barbotina con respecto a la variable granulometría en la malla 60 arroja un valor de 0,277. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable presión de bombeo de la barbotina no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 60, es decir los valores de la granulometría en la malla 60 para los silos aleatorios no dependen solo de la variable presión de bombeo de la barbotina.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable presión de bombeo de la barbotina con respecto a la variable granulometría en la malla 60 arroja un valor de 0,315. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable presión de bombeo de la barbotina no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 60, es decir los valores de la granulometría en la malla 60 para los silos aleatorios no dependen solo de la variable presión de bombeo de la barbotina.

#### R cuadrado (tabla 3-28)

La variable granulometría en la malla 60 queda explicada en un 56,3 % por las variables independientes temperatura de calefacción, viscosidad de la barbotina, presión de bombeo de la barbotina y número de silo, teniendo que el otro 43,7 % lo explican otras variables o parámetros inherentes al polvo atomizado y que infieren sobre el porcentaje en peso de granulometría en la malla 60, según el modelo de regresión lineal múltiple con el método introducir.

#### ANOVA (tabla 3-28)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, las variables independientes temperatura de calefacción, viscosidad de la barbotina, presión de bombeo de la barbotina y número de silo con respecto a la variable granulometría en la malla 60 arroja un valor de 0,405. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, las variables independientes temperatura de calefacción, viscosidad de la barbotina y presión de bombeo de la barbotina no influyen de forma conjunta y lineal con la variable granulometría en la malla 60.

### Gráfico de regresión parcial

El gráfico 3-22 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la temperatura de calefacción con respecto a la granulometría en la malla 60, sus residuos se hallan dispersos y no siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-24 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la viscosidad de la barbotina con respecto a la granulometría en la malla 60, sus residuos se hallan dispersos y no siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-23 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos del número de silos con respecto a la granulometría en la malla 60, sus residuos se hallan dispersos y no siguen una tendencia lineal.

### **Finos**

En la tabla 3-29 se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico con el método de Regresión lineal múltiple. En el que se analizó la correlación entre los valores de granulometría de los finos correspondientes a los tres ensayos para el llenado de los silos aleatorios vs los valores de viscosidad de la barbotina, presión de bombeo de la barbotina al atomizador y las temperaturas de calefacción del atomizador.

**Tabla 3-29** Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de los finos, del silos aleatorios de los silos 11, 12 y 4.

<b>Estadísticos descriptivos</b>						
<b>Factores</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>N</b>			
<b>Finos</b>	1	0,781	9			
<b>Temperatura</b>	721,22	7,823	9			
<b>Viscosidad</b>	61,67	8,761	9			
<b>Presión de bombeo</b>	19,67	0,5	9			
<b>Silos</b>	9	3,775	9			
<b>Correlaciones</b>						
<b>Factores</b>		<b>Finos</b>	<b>Viscosidad</b>	<b>Presión de bombeo</b>	<b>Silos</b>	<b>Temperatura</b>
<b>Correlación de Pearson</b>		Finos	1	0,48	0,551	0,551



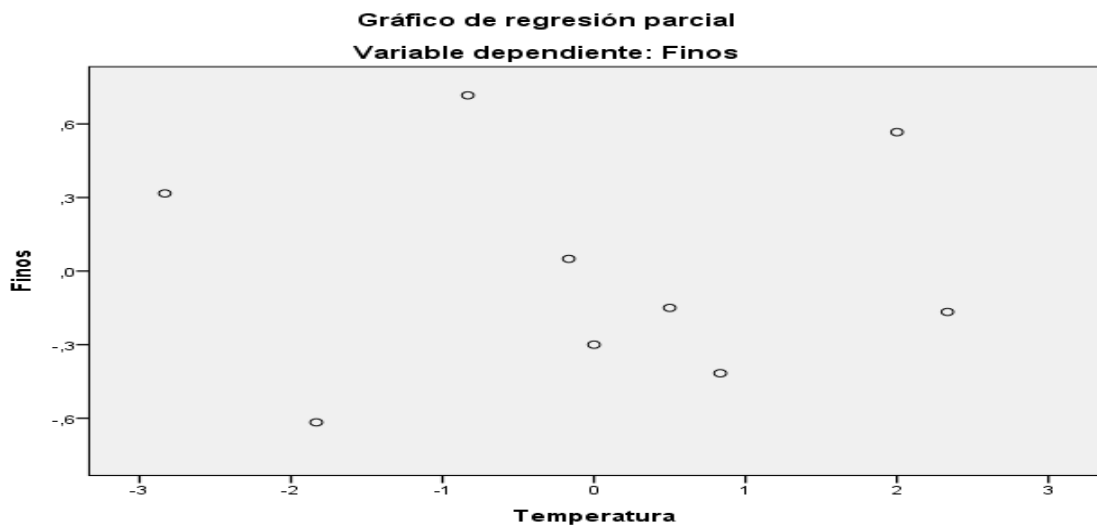
	Temperatura	0,761	0,692	0,766	0,766	1
	Viscosidad	0,795	-0,457	-0,556	-0,556	-0,924
	Presión de bombeo	0,480	1	0,993	0,993	0,692
	Silos	0,551	0,993	1	1	0,766
<b>Sig. (unilateral)</b>	Finos	0,005	0,095	0,062	0,062	0,009
	Temperatura	0	0,019	0,008	0,008	.
	Viscosidad	.	0,108	0,06	0,06	0
	Presión de bombeo	0,108	.	0	0	0,019
	Silos	0,06	0	.	.	0,008
<b>N</b>	Finos	9	9	9	9	9
	Temperatura	9	9	9	9	9
	Viscosidad	9	9	9	9	9
	Presión de bombeo	9	9	9	9	9
	Silos	9	9	9	9	9
<b>Resumen del modelo</b>						
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregido	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio	
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F
1	,816 <sup>a</sup>	0,666	0,331	0,6387	0,666	1,991
<b>ANOVA</b>						
Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	3,248	4	0,812	1,991	,261 <sup>b</sup>
	Residual	1,632	4	0,408		
	Total	4,88	8			
<b>Estadísticos sobre los residuos</b>						
Factores	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N	
Valor pronosticado	0,385	1,95	1	0,6372	9	
Valor pronosticado tip.	-0,965	1,491	0	1	9	
Error típico de valor pronosticado	0,369	0,591	0,473	0,059	9	

<b>Valor pronosticado corregido</b>	-1,067	2,87	0,87	1,1588	9
<b>Residual</b>	-0,6207	0,7148	0	0,4516	9

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

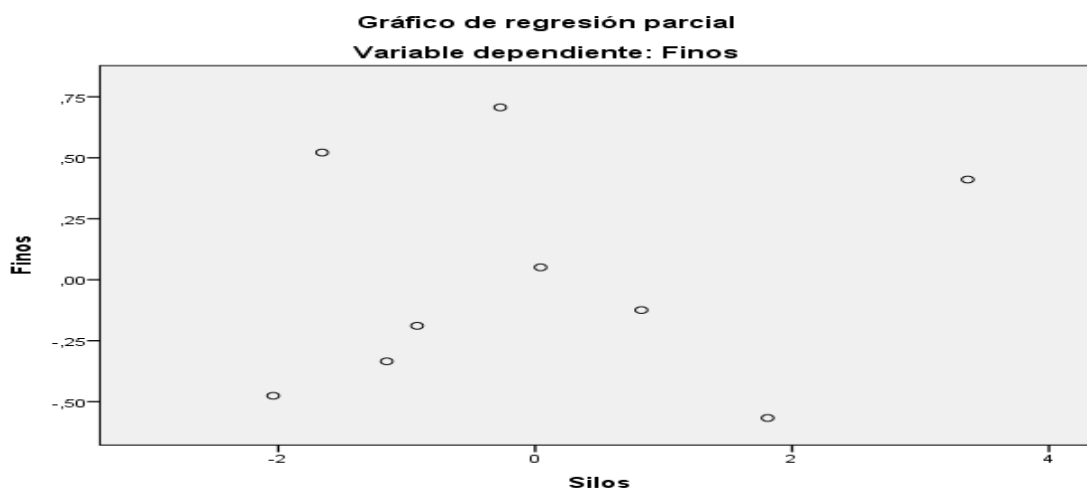
En el presente gráfico (3-25), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-finos) con respecto a la variable independiente (temperatura de calefacción del atomizador), para los silos aleatorios.



**Gráfico 3-25** Regresión parcial de los finos con respecto a la temperatura (tabla 3-29), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

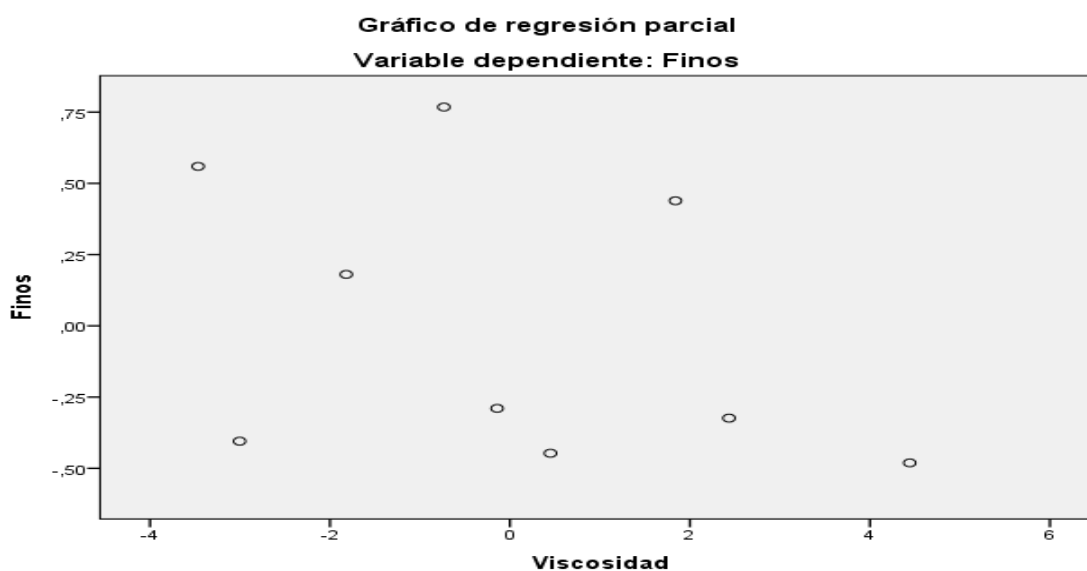
En el presente gráfico (3-26), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-finos) con respecto a la variable independiente (Número de silos), para los silos aleatorios.



**Gráfico 3-26** Regresión parcial de los finos con respecto al número de silos (tabla 3-29), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

En el presente gráfico (3-27), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-finos) con respecto a la variable independiente (Viscosidad de la barbotina), para los silos aleatorios.



**Gráfico 3-27** Regresión parcial de los finos con respecto a la viscosidad (tabla 3-29), en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

## ***Análisis de resultados Regresión lineal múltiple***

### Correlación de Pearson (tabla 3-29)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable temperatura de calefacción con respecto a la variable granulometría en los finos arrojó un valor de 0,761. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable temperatura de calefacción no es significativa con respecto a la variable granulometría en los finos, es decir los valores de la granulometría en los finos para los silos aleatorios no dependen solo de la variable temperatura de calefacción.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable viscosidad de la barbotina con respecto a la variable granulometría en los finos arrojó un valor de 0,795. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable viscosidad de la barbotina no es significativa con respecto a la variable granulometría en los finos, es decir los valores de la granulometría en los finos para los silos aleatorios no dependen solo de la variable viscosidad de la barbotina.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable presión de bombeo de la barbotina con respecto a la variable granulometría en los finos arrojó un valor de 0,480. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable presión de bombeo de la barbotina no es significativa con respecto a la variable granulometría en los finos, es decir los valores de la granulometría en los finos para los silos aleatorios no dependen solo de la variable presión de bombeo de la barbotina.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable presión de bombeo de la barbotina con respecto a la variable granulometría en los finos arrojó un valor de 0,551. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable presión de bombeo de la barbotina no es significativa con respecto a la variable granulometría en los finos, es decir los valores de la granulometría en los finos para los silos aleatorios no dependen solo de la variable presión de bombeo de la barbotina.

### R cuadrado (tabla 3-29)

La variable granulometría en los finos queda explicada en un 66,6 % por las variables independientes temperatura de calefacción, viscosidad de la barbotina, presión de bombeo de la

barbotina y número de silo, teniendo que el otro 33,4 % lo explican otras variables o parámetros inherentes al polvo atomizado y que infieren sobre el porcentaje en peso de granulometría en los finos, según el modelo de regresión lineal múltiple con el método introducir.

#### ANOVA (tabla 3-29)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, las variables independientes temperatura de calefacción, viscosidad de la barbotina, presión de bombeo de la barbotina y número de silo con respecto a la variable granulometría en los finos arrojan un valor de 0,261. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, las variables independientes temperatura de calefacción, viscosidad de la barbotina y presión de bombeo de la barbotina no influyen de forma conjunta y lineal con la variable granulometría en los finos.

#### Gráfico de regresión parcial

El gráfico 3-25 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la temperatura de calefacción con respecto a la granulometría en los finos, sus residuos se hallan muy dispersos y no siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-27 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la viscosidad de la barbotina con respecto a la granulometría en los finos, sus residuos se hallan muy dispersos y no siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-26 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos del número de silos con respecto a la granulometría en los finos, sus residuos se hallan muy dispersos y no siguen una tendencia lineal.

#### 1.10.2.2.4. Granulometría vs fisura

#### **Silo # 5**

En la tabla 3-30 se presentan los pesos para cada malla de tamices, para la determinación de la granulometría del polvo atomizado correspondientes a la descarga del silo 5 en el ensayo 1, junto con los parámetros de calidad y defectos presentes en el producto final (Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43x43).

En la mencionada tabla se hallan diferenciados los valores que serán objeto de estudio para ser relacionados con el defecto presentado en el producto final, el cual es fisura (cuadro de color verde). Además se hallan identificados con color celeste los valores en norma y con naranja los valores fuera de norma.

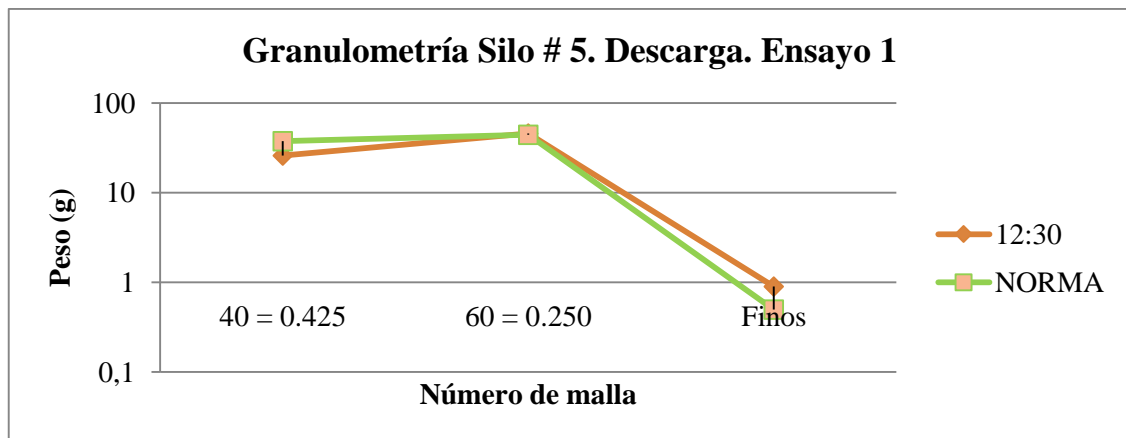
**Tabla 3-30** Granulometría del llenado del silo # 5 para el ensayo 1, relacionada con los parámetros de calidad y defectos presentes en el producto final.

Fecha (día/mes/año)	Granulometría/hora	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30
23/09/2017	Malla (mm)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)
Silo (#)	20 = 0.850	0,1	0,5	0,4	0,4	0,3
5	40 = 0.425	34,2	27,7	33,2	25,9	23,4
	60 = 0.250	46,6	46,8	42,5	45,9	45,7
	80 = 0.180	8,1	11,3	10,5	14,4	13,5
Horas de reposo = 24	100 = 0.150	4,4	5	6,6	7,1	8,8
	200 = 0.075	4,5	7,2	5,1	5	6,2
	Finos	1,9	1,2	1,3	0,9	1,7
Calidad formato (cm)	Producción producto final (m <sup>2</sup> /día)	Producto	Exportación (%)	Estándar (%)	Fisura (%)	
43 x 43	1810,4	Pietra Levante	98	1	1	

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-28), se relacionan la granulometría de las mallas 40, 60 y finos, de la muestra con la cual se hizo el estudio morfológico del silo # 5 para el ensayo 1 (tabla 3-30. Cuadro de color amarillo), con la granulometría normada por el Laboratorio de Calidad de la empresa Ecuatoriana de Cerámica C. A.



**Gráfico 3-28** Relación entre la granulometría en la descarga del silo # 5 para el ensayo 1 y la norma de granulometría.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

**Análisis estadístico: Regresión Lineal Múltiple**

En la tabla 3-31 se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico con el método de Regresión lineal múltiple. En el que se analizó la correlación entre los valores de granulometría de la malla 40, 60 y finos correspondientes a los tres ensayos para el llenado del silo # 5 vs los porcentajes de fisura presentados en el producto final para los días en los se efectuaron los ensayos.

**Tabla 3-31 Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para el porcentaje de fisura frente a la granulometría, del silo # 5 de los ensayos 1, 2 y 3.**

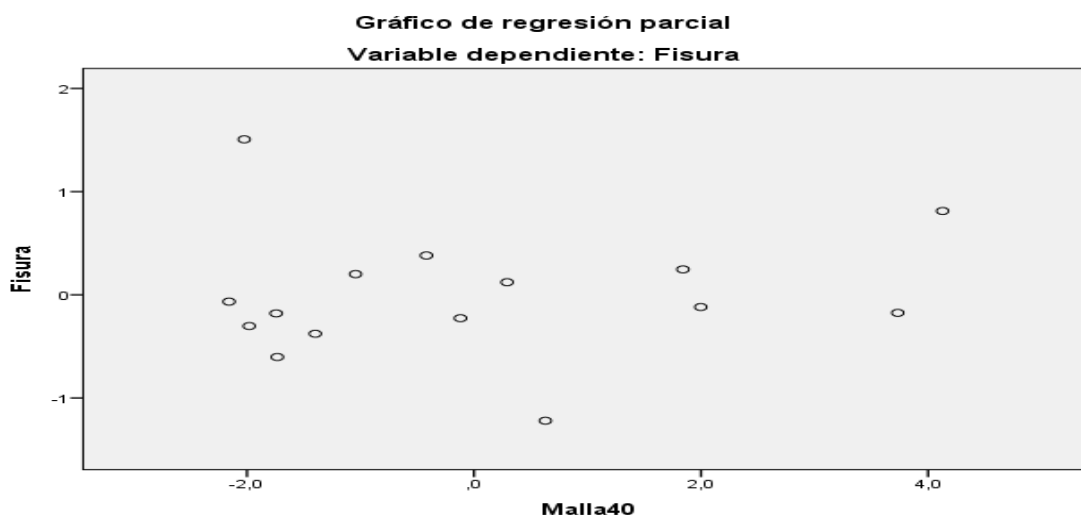
Estadísticos descriptivos						
Factores	Media	Desviación estándar	N			
Fisura	4,33	2,44	15			
Malla40	33,34	6,4194	15			
Malla60	43,013	3,6043	15			
Finos	1,473	0,9728	15			
Correlaciones						
Factores		Fisura	Malla40	Malla60	Finos	
Correlación de Pearson	Fisura	1	0,509	-0,505	0,055	
	Malla40	0,509	1	-0,85	0,339	
	Malla60	-0,505	-0,85	1	-0,278	
	Finos	0,055	0,339	-0,278	1	
Correlación unilateral	Malla40	0,026	.	0	0,109	
	Malla60	0,027	0	.	0,158	
	Finos	0,423	0,109	0,158	.	
N	Fisura	15	15	15	15	
	Malla40	15	15	15	15	
	Malla60	15	15	15	15	
	Finos	15	15	15	15	
Resumen del modelo						
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticas de cambios	
					Cambio de cuadrado de R	Cambio en F
1	,967 <sup>a</sup>	0,935	0,9	0,773	0,935	26,087
ANOVA						
Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	77,955	5	15,591	26,087	,000 <sup>b</sup>
	Residuo	5,379	9	0,598		

	Total	83,333	14		
<b>Estadísticas de residuos</b>					
Factores	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	N
Valor pronosticado	0,77	6,56	4,33	2,36	15
Valor pronosticado estándar	-1,508	0,945	0	1	15
Error estándar de valor pronosticado	0,328	0,623	0,479	0,104	15
Valor predicho corregido	0,68	7,09	4,3	2,405	15
Residuo	-1,235	1,554	0	0,62	15

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-29), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (porcentaje de fisura) con respecto a las variables independientes (granulometría de la mallas 40), para el silo # 5.

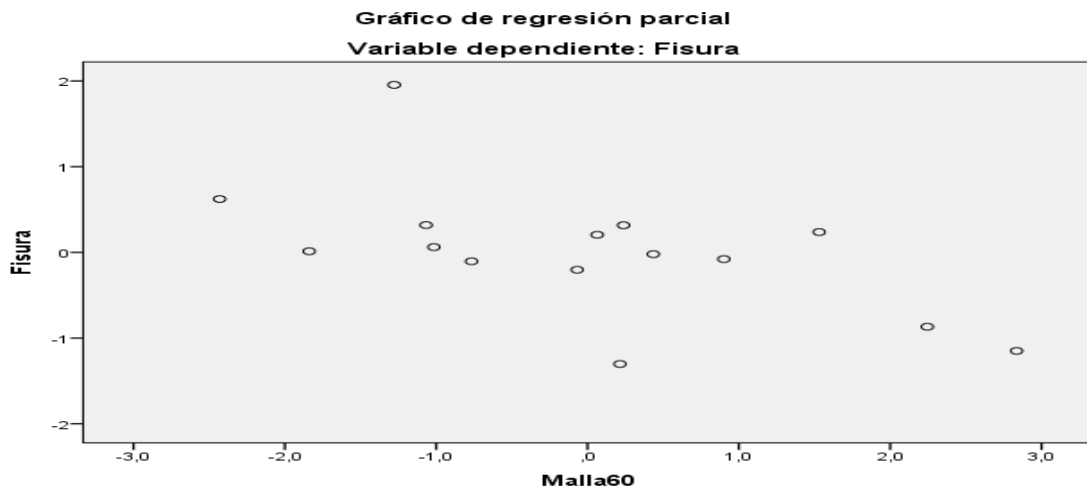


**Gráfico 3-29** Regresión de la fisura con respecto a la granulometría de la malla 40, en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 5.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

En el presente gráfico (3-30), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (porcentaje de fisura) con respecto a las variables independientes (granulometría de la mallas 60), para el silo # 5.

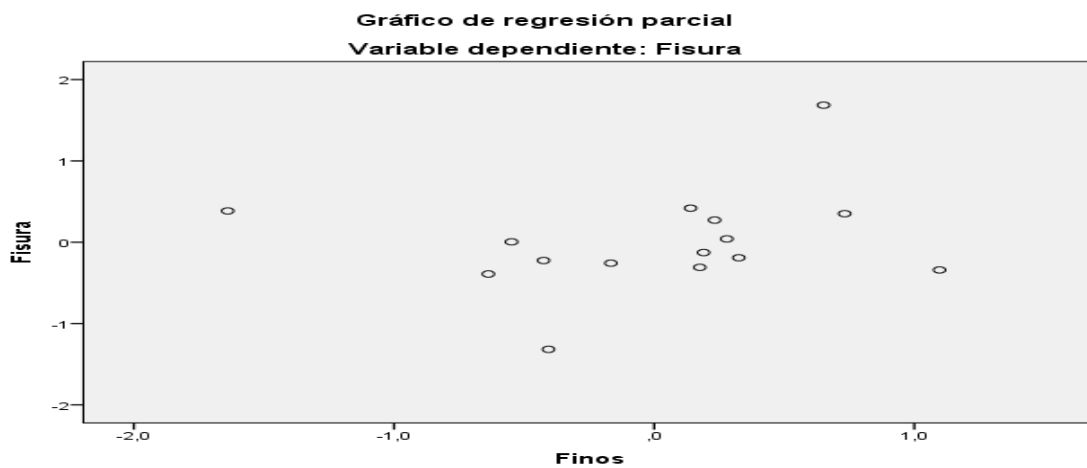




**Gráfico 3-30** Regresión de la fisura con respecto a la granulometría de la malla 60, en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 5.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

En el presente gráfico (3-31), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (porcentaje de fisura) con respecto a las variables independientes (granulometría de los finos), para el silo # 5.



**Gráfico 3-31** Regresión de la fisura con respecto a la granulometría de los finos, en el método de regresión lineal múltiple para el silo # 5.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

## ***Análisis de resultados Regresión lineal múltiple***

### Correlación de Pearson (tabla 3-31)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable granulometría malla 40 con respecto a la variable fisura arrojó un valor de 0,509. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable granulometría malla 40 no es significativa con respecto a la variable fisura, es decir los valores de la fisura para el silo # 5 no dependen solo de la variable granulometría de la malla 40.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable granulometría malla 60 con respecto a la variable fisura arrojó un valor de 0,505. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable granulometría malla 60 no es significativa con respecto a la variable fisura, es decir los valores de la fisura para el silo # 5 no dependen solo de la variable granulometría de la malla 60.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable granulometría de los finos con respecto a la variable fisura arrojó un valor de 0,055. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable granulometría de los finos no es significativa con respecto a la variable fisura, es decir los valores de la fisura para el silo # 5 no dependen solo de la variable granulometría de los finos.

### R cuadrado (tabla 3-31)

La variable fisura queda explicada en un 93,5 % por las variables granulometría de las mallas 40, 60 finos, teniendo que el otro 6,5 % lo explican otras variables o parámetros inherentes al polvo atomizado y que infieren sobre el porcentaje fisura, según el modelo de regresión lineal múltiple con el método introducir.

### ANOVA (tabla 3-31)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, las variables granulometría de las mallas 40, 60 finos con respecto a la variable fisura arrojó un valor de 0,000. Por consiguiente se rechaza la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, las variables granulometría de las mallas 40, 60 finos influyen de forma conjunta y lineal con la variable fisura.

### Gráfico de regresión parcial

El gráfico 3-29 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la granulometría en la malla 40 con respecto al porcentaje de fisura, sus residuos no se hallan dispersos y siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-30 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la granulometría en la malla 60 con respecto al porcentaje de fisura, sus residuos no se hallan dispersos y siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-31 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la granulometría en los finos con respecto al porcentaje de fisura, sus residuos no se hallan dispersos y siguen una tendencia lineal.

### **Silos aleatorios**

En la tabla 3-32 se presentan los pesos para cada malla de tamices, para la determinación de la granulometría del polvo atomizado correspondientes a la descarga de los silos aleatorios en el silo 11, junto con los parámetros de calidad y defectos presentes en el producto final (Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43x43).

En la mencionada tabla se hallan diferenciados los valores que serán objeto de estudio para ser relacionados con el defecto presentado en el producto final, el cual es fisura (cuadro de color verde). Además se hallan identificados con color celeste los valores en norma y con naranja los valores fuera de norma.

**Tabla 3-32** Granulometría del llenado de los silos aleatorios para el silo 11, relacionada con los parámetros de calidad y defectos presentes en el producto final.

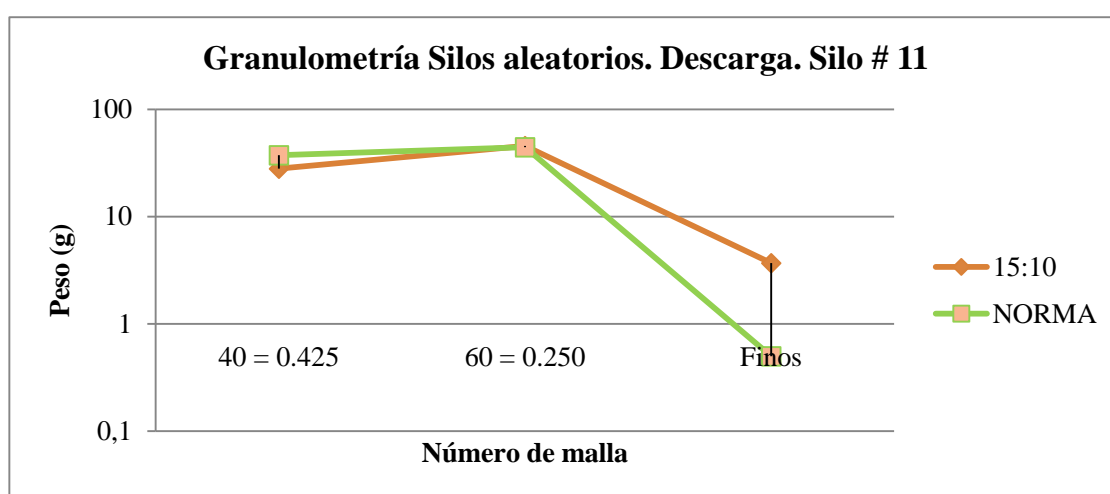
<b>Fecha (día/mes/año)</b>	<b>Granulometría/hora</b>	<b>15:10</b>	<b>16:10</b>	<b>17:10</b>
11/10/2017	Malla (mm)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)
<b>SILO (#)</b>	20 = 0.850	0,4	0,4	0,7
11	40 = 0.425	28,1	29,8	34,6
Horas de reposo = 24	60 = 0.250	45,7	46,8	44,9
<b>Calidad formato (cm)</b>	80 = 0.180	9,1	8,5	7,6
43 x 43	100 = 0.150	5,8	4,9	4,3
<b>Producción producto final (m<sup>2</sup>/día)</b>	200 = 0.075	7,2	8,3	7,2

4287	Finos	3,7	0,8	0,6
<b>Producto</b>	<b>Exportación (%)</b>	<b>Estándar (%)</b>	<b>Fisura (%)</b>	
Cataluña Pino	86	12	18	

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-32), se relacionan la granulometría de las mallas 40, 60 y finos, de la muestra con la cual se hizo el estudio morfológico del silo 11 (tabla 3.32. Cuadro de color amarillo), con la granulometría normada por el Laboratorio de Calidad de la empresa Ecuatoriana de Cerámica C. A.



**Gráfico 3-32** Relación entre la granulometría en la descarga de los silos aleatorios para el silo # 11 y la norma de granulometría.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

### **Análisis estadístico: Regresión Lineal Múltiple**

En la tabla 3-33 se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico con el método de Regresión lineal múltiple. En el que se analizó la correlación entre los valores de granulometría de la malla 40, 60 y finos correspondientes a los tres ensayos para el llenado de los silos aleatorios (11, 12 y 4) vs los porcentajes de fisura presentados en el producto final para los días en los se efectuaron los ensayos.

**Tabla 3-33** Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para el porcentaje de fisura frente a la granulometría, de los silos aleatorios para los silos 11, 12 y 4.

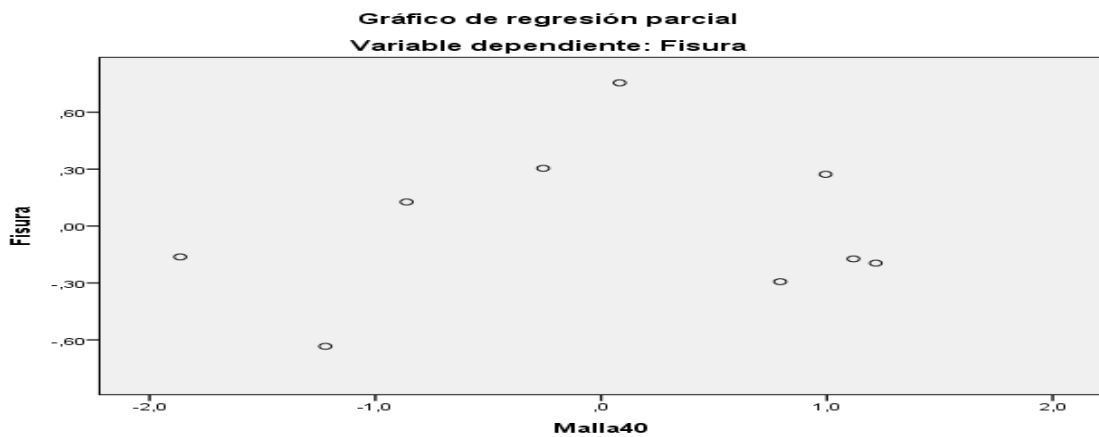
Estadísticos descriptivos						
Factores	Media	Desviación típica	N			
Fisura	11	6,53835	9			
Malla40	32,167	4,0623	9			
Malla60	44,233	3,3893	9			
Finos	2,622	3,0227	9			
Correlaciones						
Factores		Fisura	Malla40	Malla60	Finos	
Correlación de Pearson	Fisura	1	0,302	0,267	0,195	
	Malla40	0,302	1	-0,921	0,521	
	Malla60	0,267	-0,921	1	-0,664	
	Finos	0,195	0,521	-0,664	1	
Sig. (unilateral)	Fisura	.	0,215	0,243	0,308	
	Malla40	0,215	.	0	0,075	
	Malla60	0,243	0	.	0,026	
	Finos	0,308	0,075	0,026	.	
N	Fisura	9	9	9	9	
	Malla40	9	9	9	9	
	Malla60	9	9	9	9	
	Finos	9	9	9	9	
Resumen del modelo						
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio	
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F
1	,998 <sup>a</sup>	0,996	0,99	0,65925	0,996	156,783
ANOVA						
Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	340,696	5	68,139	156,783	,001 <sup>b</sup>
	Residual	1,304	3	0,435		
	Total	342	8			
Estadísticos sobre los residuos						
Factores	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N	
Valor pronosticado	2,7822	18,5664	11	6,52587	9	
Valor pronosticado tip.	-1,259	1,159	0	1	9	

<b>Error típico de valor pronosticado</b>	0,4	0,62	0,532	0,086	9
<b>Valor pronosticado corregido</b>	2,2798	20,3011	10,9785	6,84388	9
<b>Residual</b>	-0,56639	0,75002	0	0,4037	9

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

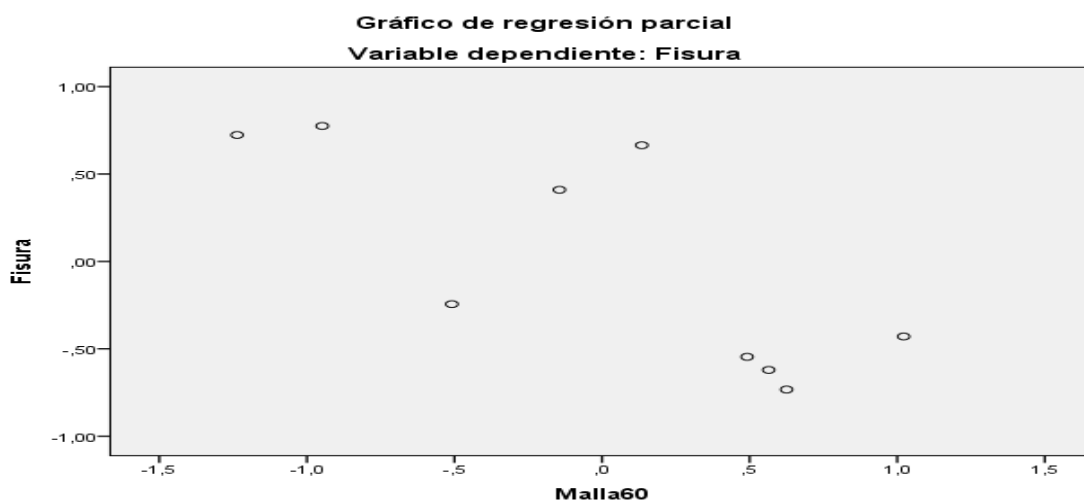
En el presente gráfico (3-33), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (porcentaje de fisura) con respecto a las variables independientes (granulometría de la mallas 40), para los silos aleatorios.



**Gráfico 3-33** Regresión de la fisura con respecto a la granulometría de la malla 40, en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

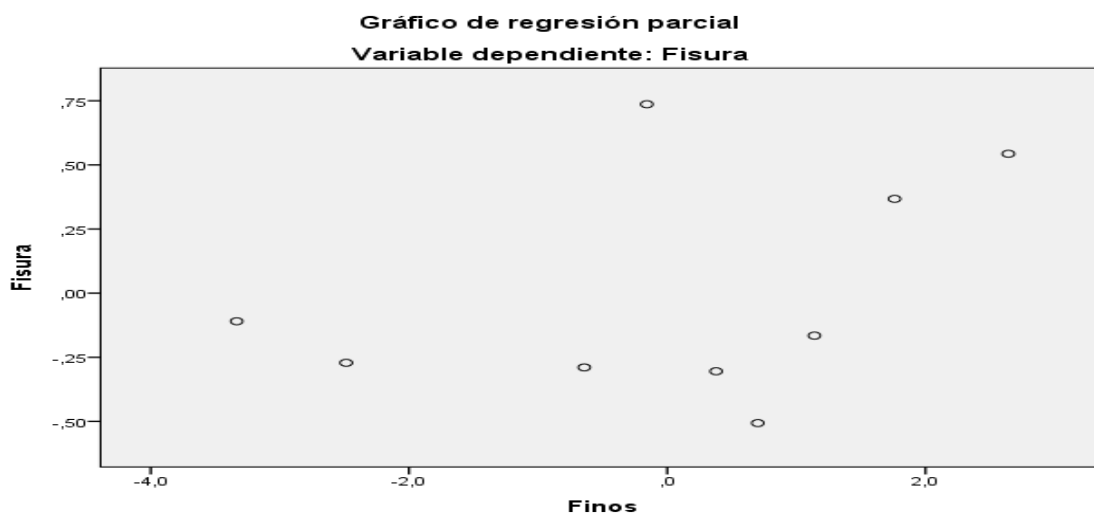
En el presente gráfico (3-34), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (porcentaje de fisura) con respecto a las variables independientes (granulometría de la mallas 60), para el silos aleatorios.



**Gráfico 3-34** Regresión de la fisura con respecto a la granulometría de la malla 60, en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

En el presente gráfico (3-35), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (porcentaje de fisura) con respecto a las variables independientes (granulometría de los finos), para los silos aleatorios.



**Gráfico 3-35** Regresión de la fisura con respecto a la granulometría de los finos, en el método de regresión lineal múltiple para los silos aleatorios.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

## *Análisis de resultados estadísticos*

### Correlación de Pearson (tabla 3-33)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable granulometría malla 40 con respecto a la variable fisura arrojó un valor de 0,302. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable granulometría malla 40 no es significativa con respecto a la variable fisura, es decir los valores de la fisura para los silos aleatorios no dependen solo de la variable granulometría de la malla 40.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable granulometría malla 60 con respecto a la variable fisura arrojó un valor de 0,267. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable granulometría malla 60 no es significativa con respecto a la variable fisura, es decir los valores de la fisura para los silos aleatorios no dependen solo de la variable granulometría de la malla 60.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable granulometría de los finos con respecto a la variable fisura arrojó un valor de 0,195. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable granulometría de los finos no es significativa con respecto a la variable fisura, es decir los valores de la fisura para los silos aleatorios no dependen solo de la variable granulometría de los finos.

### R cuadrado (tabla 3-33)

La variable fisura queda explicada en un 99,6 % por las variables granulometría de las mallas 40, 60 finos, teniendo que el otro 0,4 % lo explican otras variables o parámetros inherentes al polvo atomizado y que infieren sobre el porcentaje fisura, según el modelo de regresión lineal múltiple con el método introducir.

### ANOVA (tabla 3-33)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, las variables granulometría de las mallas 40, 60 finos con respecto a la variable fisura arrojó un valor de 0,001. Por consiguiente se rechaza la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, las variables granulometría de las mallas 40, 60 finos influyen de forma conjunta y lineal con la variable fisura.



### Gráfico de regresión parcial

El gráfico 3-33 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la granulometría en la malla 40 con respecto al porcentaje de fisura, sus residuos se hallan dispersos y no siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-34 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la granulometría en la malla 60 con respecto al porcentaje de fisura, sus residuos se hallan dispersos y no siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-35 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la granulometría en los finos con respecto al porcentaje de fisura, sus residuos se hallan dispersos y no siguen una tendencia lineal.

#### 1.10.2.2.5. Morfología




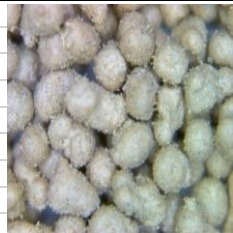
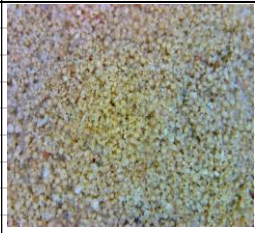

Para el análisis de esta variable cualitativa es importante denotar que las imágenes fueron capturadas por un microscopio digital (40 y 100x), y que estas serán analizadas tomando en cuenta la forma del grano, si presentan oquedad, distribución granulométrica y los parámetros funcionales de las lanzas (inyectores de barbotina en el atomizador).

### **Silo # 5**

En la tabla 3-34 se presentan las imágenes de la morfología del grano del polvo atomizado junto con los parámetros relacionados a la producción del mismo para el llenado y descarga del silo # 5 en el ensayo 1. Dichas imágenes han sido capturadas tomando pequeñas porciones de la cantidad en peso determinada de la granulometría de las mallas 40, 60 y finos.

Adicionalmente a esto, también se tabularon los datos correspondientes a la producción, calidad y defectos del producto final Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43 x 43.

**Tabla 3-34** Morfología del llenado y descarga del silo # 5 para el ensayo 1, relacionada con los parámetros de calidad y defectos presentes en el producto final.

FECHA (día/mes/año)	MORFOLOGÍA (40x)	LLENADO DEL SILO	DESCARGA DEL SILO
22/09/2017	Malla (mm) / Peso (g)	40 = 0.425 / 35,5	40 = 0.425 / 25,9
<b>SILO</b>	Imagen		
# 5			
<b>PRODUCCIÓN POLVO ATOMIZADO (Kg)</b>			
229238			
<b>DESPERDICIOS (Kg)</b>			
700			
<b>NÚMERO DE LANZAS (#)</b>			
9			
<b>BOQUILLAS (#)</b>			
26	Malla (mm) / Peso (g)		
<b>DIÁMETRO DE PASTILLAS (mm)</b>	Imagen		
2,4 - 2,8			
<b>PRODUCCIÓN PRODUCTO FINAL (m<sup>2</sup>/día)</b>			
1810,4			
<b>PRODUCTO</b>			
Pietra Levante			
<b>EXPORTACIÓN (%)</b>			
98			
<b>ESTÁNDAR (%)</b>			
1	Malla (mm) / Peso (g)		
<b>FISURA (%)</b>	Imagen		
1			
<b>HUMEDAD PROMEDIO (%)</b>			
7,36			

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### *Análisis de Resultados*

El análisis morfológico se empleó en los tres ensayos del silo # 5, haciendo capturas con un microscopio digital al polvo retenido en las mallas 40, 60 y finos en el llenado y descarga del silo antes mencionado.

En el ensayo 1 (tabla 3-34), se puede apreciar que las imágenes para las mallas 40 y 60, en el llenado del silo, los granos del polvo atomizado presentan una morfología óptima, es decir, tiene forma esferoidal y oquedad en el centro, lo cual permite que el polvo atomizado sea correctamente empaquetado en los moldes para su posterior prensado. En la posición de los finos la imagen es totalmente diferente, puesto que ni siquiera es apreciable el grano atomizado.



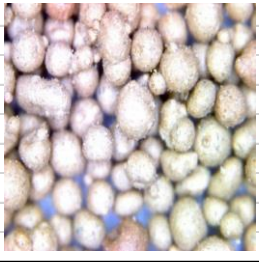

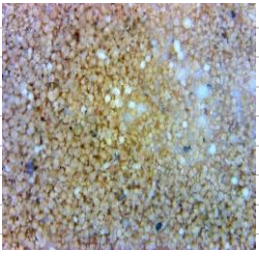
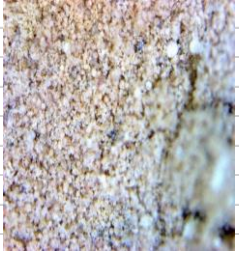
De forma casi ajena al ensayo en cuestión las imágenes para las mallas 40, 60 y finos en la descarga del silo, muestran un grano destruido, sin forma y oquedad, es decir, granos falsos.

## Silos aleatorios

En la tabla 3-35 se presentan las imágenes de la morfología del grano del polvo atomizado junto con los parámetros relacionados a la producción del mismo para el llenado y descarga de los silos aleatorios en el silo 11. Dichas imágenes han sido capturadas tomando pequeñas porciones de la cantidad en peso determinada de la granulometría de las mallas 40, 60 y finos.

Adicionalmente a esto, también se tabularon los datos correspondientes a la producción, calidad y defectos del producto final Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43 x 43.

**Tabla 3-35** Morfología del llenado y descarga de los silos aleatorios para el silo 11, relacionada con los parámetros de calidad y defectos presentes en el producto final.

FECHA (día/mes/año)	MORFOLOGÍA (40x)	LLENADO DEL SILO	DESCARGA DEL SILO
10/10/2017	Malla (mm) / Peso (g)	40 = 0.425 / 28,4	40 = 0.425 / 28,1
SILO	Imagen		
# 11			
PRODUCCIÓN POLVO ATOMIZADO (Kg)			
156229			
DESPERDICIOS (Kg)			
1400			
NÚMERO DE LANZAS (#)			
9			
BOQUILLAS (#)			
26	Malla (mm) / Peso (g)	60 = 0.250 / 48,8	60 = 0.250 / 45,7
DIÁMETRO DE PASTILLAS (mm)	Imagen		
1,6 - 2,0			
PRODUCCIÓN PRODUCTO FINAL (m <sup>2</sup> /día)			
4287			
PRODUCTO			
Cataluña Pino			
EXPORTACIÓN (%)			
86			
ESTÁNDAR (%)			
12	Malla (mm) / Peso (g)	Finos / 0,5	Finos / 3,7
FISURA (%)	Imagen		
18			
HUMEDAD PROMEDIO (%)			
8,06			

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### ***Análisis de Resultados***

El análisis morfológico se empleó en los tres silos 11, 12 y 4, haciendo capturas con un microscopio digital al polvo retenido en las mallas 40, 60 y finos en el llenado y descarga de los silos antes mencionado.

En el silo 11 (tabla 3-35), se puede observar que las imágenes para las mallas 40 y 60, en el llenado del silo, los granos del polvo atomizado no presentan una morfología óptima, es decir, no tienen forma esferoidal y oquedad en el centro, lo cual es un impedimento para que el polvo atomizado sea correctamente empaquetado en los moldes para su posterior prensado. En la poción de los finos en la imagen no se aprecian granos sino un conglomerado de partículas finas.

De forma casi ajena al ensayo en cuestión las imágenes para las mallas 40, 60 y finos en la descarga del silo, muestran un grano destruido, sin forma y oquedad, es decir, granos falsos.

#### *1.10.2.3. Determinación del rango de pérdida de humedad para los silos*

En este apartado se analizó de manera estadística haciendo uso de la desviación estándar los rangos de pérdida de humedad del polvo atomizado en el llenado y descarga de los silos 5 y 9 por triplicado y 3 silos aleatorios (11,12 y 4).

##### *1.10.2.3.1. Silo # 5*

En la tabla 3-36 se presentan las humedades correspondientes al llenado y descarga del silo # 5 para el ensayo 3, la cual se utilizó para la determinación del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado, en un día soleado de temperatura y humedad ambiental de 28 ° C y 46 %, respectivamente, en el punto de muestreo respectivo (ver tabla 3-2).

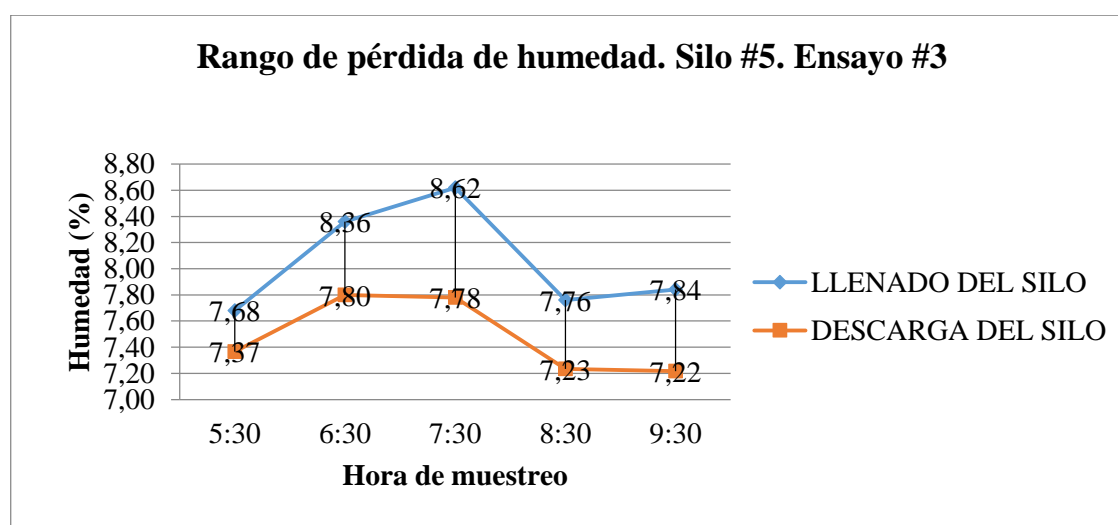
**Tabla 3-36** Resultados obtenidos para la determinación del rango de pérdida de humedad. Ensayo # 3. Silo # 5

Llenado del silo			Descarga del silo					
Fecha	Hora	Humedad promedio	Fecha	Hora	Humedad promedio	Rango		
día/mes/año	hora:min	%	día/mes/año	hora:min	%			
19/10/2017	17:20	7,68	21/10/2017	5:30	7,37	0,31		
	18:20	8,36		6:30	7,80	0,56		
	19:20	8,62		Horas de reposo	7:30	7,78	0,84	
	20:20	7,76			36	8:30	7,23	0,53
	21:20	7,84			9:30	7,22	0,62	

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-36), se relacionan las humedades del llenado y descarga del silo # 5 para el ensayo 3, en el mismo se representan los rangos de pérdida de humedad que sufre el polvo atomizado al ingresar y salir del silo mencionado.



**Gráfico 3-36** Rango de pérdida de humedad en el llenado y descarga del silo # 5 para el ensayo 3.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

### Resultados estadísticos

En la tabla 3-37 se presenta los resultados con respecto al estudio estadístico de la determinación del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado del llenado y descarga del silo # 5 para los ensayos 1, 2 y 3.

**Tabla 3-37** Resultados estadísticos del rango de pérdida de humedad. Silo # 5

Horas de reposo	Promedio	Desviación	Valor Min	Valor Max
Hora	%			
24	0,49	0,34	0,15	0,82
30	0,53	0,25	0,28	0,77
36	0,57	0,13	0,45	0,70

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### *Análisis de resultados estadísticos*

En la tabla 3-37 se puede observar que los valores promediales, mínimos y máximos para el rango de pérdida de humedad para el silo # 5 están relacionados al tiempo de reposo del polvo atomizado en los silos. Siendo que para el tiempo de reposo de 36 horas presenta un rango de pérdida de humedad mucho más grande a los otros, lo cual es debido a que para este ensayo se dio una homogenización más completa del polvo atomizado.

Aunque también es importante destacar que las condiciones ambientales para este experimento puede que hayan influido mucho ya que se efectuó en un día soleado los tres ensayos y eso sumado a las horas de reposo genera mayor pérdida de humedad, denotando también que la infraestructura en la fábrica se presta para que se den estas fallas en el polvo atomizado.

#### 1.10.2.3.2. Silos aleatorios

En la tabla 3-38 se presentan las humedades correspondientes al llenado y descarga de los silos aleatorios para el silo 11, la cual se utilizó para la determinación del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado, en un día nublado de temperatura y humedad ambiental de 29 ° C y 54 %, respectivamente, en el punto de muestreo respectivo (ver tabla 3-4).

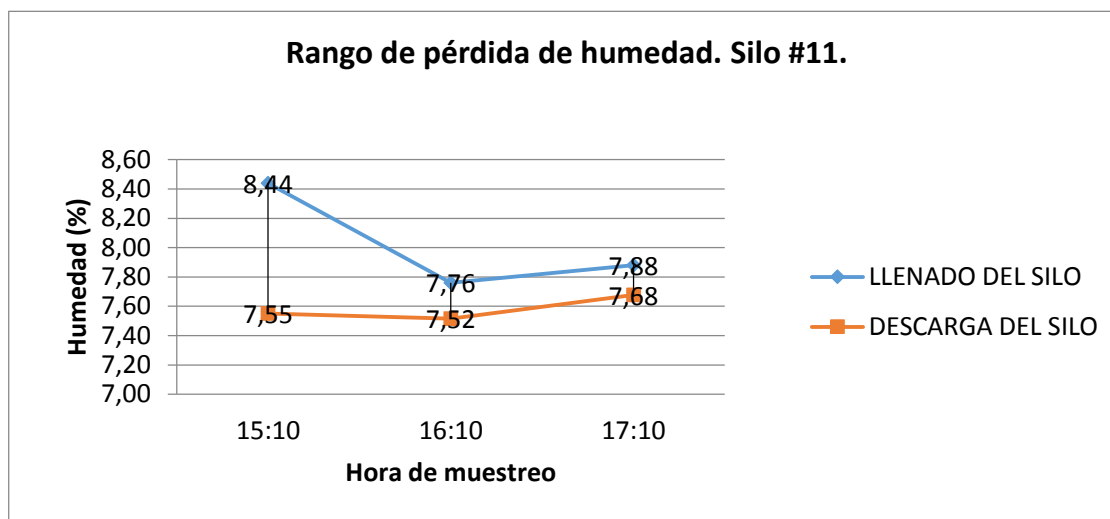
**Tabla 3-38** Resultados obtenidos para la determinación del rango de pérdida de humedad. Silos aleatorios. Silo # 11

Llenado del silo			Descarga del silo			
Fecha	Hora	Humedad promedio	Fecha	Hora	Humedad promedio	Rango
día/mes/año	hora:min	%	día/mes/año	hora:min	%	
10/10/2017	15:00	8,44	11/10/2017	15:10	7,55	0,89
	16:00	7,76	<b>Horas de reposo</b>	16:10	7,52	0,24
	17:00	7,88	24	17:10	7,68	0,20

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-37), se relacionan las humedades del llenado y descarga de los silos aleatorios para el silo # 11, en el mismo se representan los rangos de pérdida de humedad que sufre el polvo atomizado al ingresar y salir del silo mencionado.



**Gráfico 3-37** Rango de pérdida de humedad en el llenado y descarga de los silos aleatorios para el silo # 11.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

### Resultados estadísticos

En la tabla 3-39 se presenta los resultados con respecto al estudio estadístico de la determinación del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado del llenado y descarga de los silos aleatorios para los silos 11, 12 y 4.

**Tabla 3-39** Resultados estadísticos del rango de pérdida de humedad. Silos aleatorios

Horas de reposo	Promedio	Desviación	Valor min	Valor máx.
Hora	%			
24	0,45	0,30	0,15	0,74
25	0,23	0,09	0,13	0,32
21	0,35	0,19	0,16	0,54

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### *Análisis de resultados estadísticos*

En la tabla 3-39 se puede observar que los valores promediales, mínimos y máximos para el rango de pérdida de humedad para los silos aleatorios están relacionados al tiempo de reposo del polvo atomizado en los silos. Siendo que para el tiempo de reposo de 24 horas (silo 11), presenta un rango de pérdida de humedad mucho más grande a los otros, lo cual es debido a que para este ensayo se dio una homogenización más completa del polvo atomizado.

Aunque también es importante destacar que las condiciones ambientales para este experimento puede que hayan influido mucho ya que se efectuó en un día nublado para el silo 11 y soleado para los silos 12 y 4, eso sumado a las horas de reposo genera mayor fluctuación en los valores del rango de pérdida de humedad, denotando también que la infraestructura en la fábrica se presta para que se den estas fallas en el polvo atomizado.

#### *1.10.3. Evaluación de la pasta (barbotina) empleada en el proceso de atomización*

Se evaluaron los parámetros comprendidos para la calidad de la pasta líquida (barbotina), siendo estos; plasticidad y módulos de ruptura en húmedo, seco y cocido.

##### *1.10.3.1. Determinación de la plasticidad de las pasta empleadas para la fabricación de Gres Rojo (Monoquema- Revestimientos de pisos cerámicos)*

###### *1.10.3.1.1. MQ-2016-7/C*

En la tabla 3-40 se tabularon los datos correspondientes a los parámetros de calidad de la barbotina producida en el laboratorio con y sin defloculante, de fórmula MQ-2016-7/C. También en la tabla antes mencionada se hallan los datos correspondientes a la plasticidad, módulos de ruptura, contracciones y absorciones de la barbotina de fórmula ya mencionada.

**Tabla 3-40** Parámetros de calidad y plasticidad de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/C.

Parámetros barbotina mq-2016-7/c							Parámetros placas			Plasticidad
Fecha	Defloculante	Densidad	Viscosidad	Residuo	Contracción promedial	Absorción promedial	Módulo en húmedo	Módulo en seco	Módulo en cocido	Índice de plasticidad
dia/mes/año		g/cm <sup>3</sup>	S	%	%	%	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%

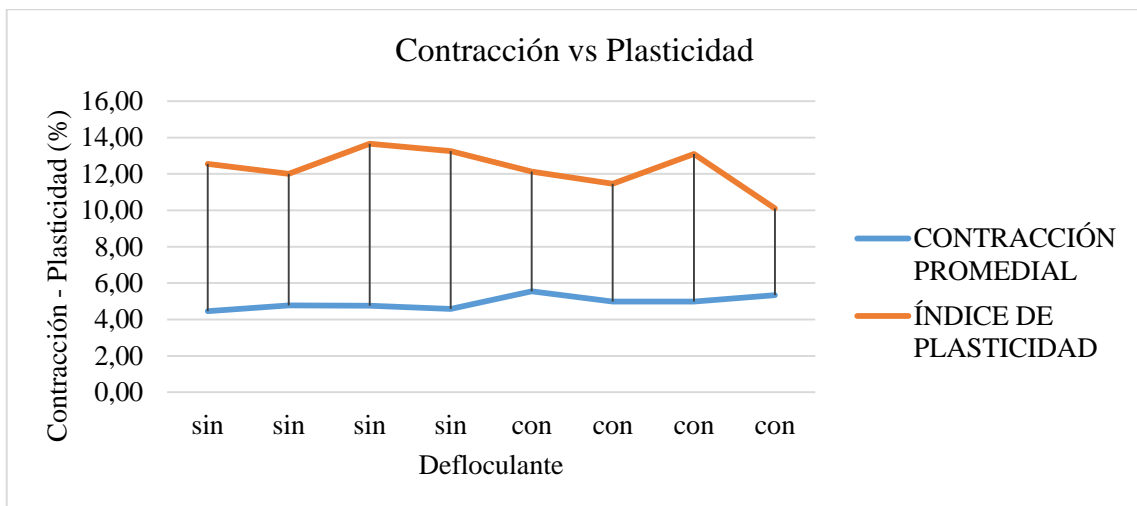


07/12/2017	Con	1,6	59,6	7,58	4,47	9,20	11,27	23,29	281,05	9,51
08/12/2017	Con	1,638	81	7,53	4,55	8,55	8,54	16,41	271,39	12,77
16/12/2017	Con	1,639	-	6,92	4,48	8,80	3,59	23,95	254,07	11,86
17/12/2017	Con	1,6345	55	6,86	3,44	10,35	2,57	10,5	225,67	10,9
07/12/2017	Sin	1,5572	-	6,75	4,49	8,51	7,03	44	253,69	11,16
08/12/2017	Sin	1,5518	-	6,97	4,09	8,48	7,52	14,6	250,41	12,48
16/12/2017	Sin	1,5144	-	6,03	4,04	9,76	7,31	33,86	118,27	10,96
17/12/2017	Sin	1,5461	-	7,11	3,71	9,06	7,36	32,45	250,43	12,19

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

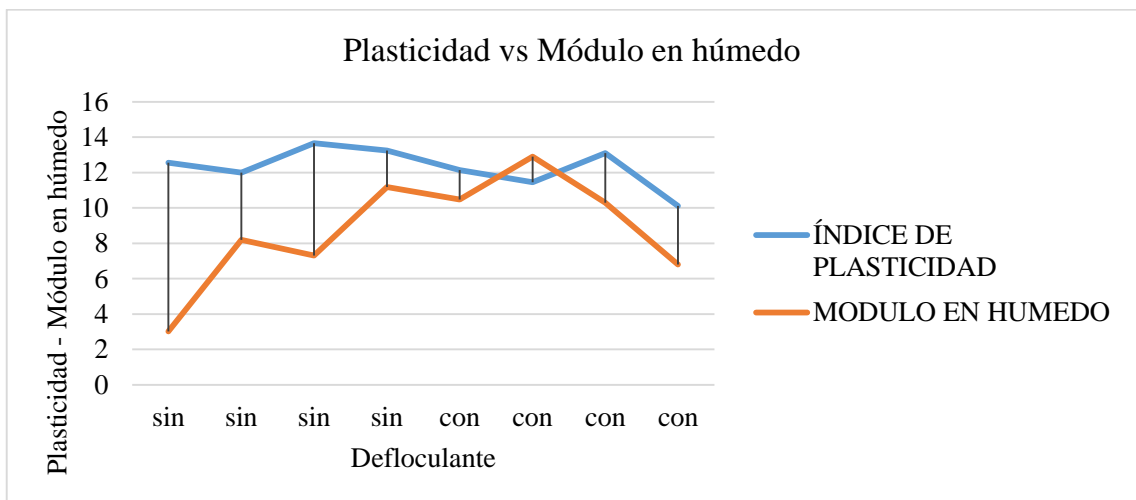
En el gráfico 3-38 se presenta la relación entre los valores del índice de plasticidad y contracción de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/C.



**Gráfico 3-38** Relación entre los valores del índice de plasticidad y contracción de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/C.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

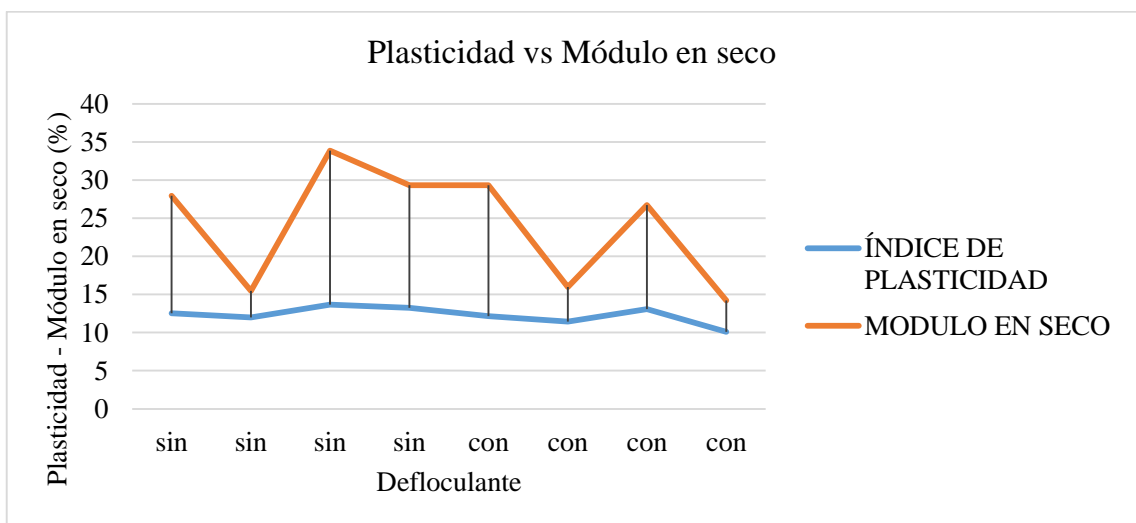
En el gráfico 3-39 se presenta la relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en húmedo de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/C.



**Gráfico 3-39** Relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en húmedo de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/C8

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

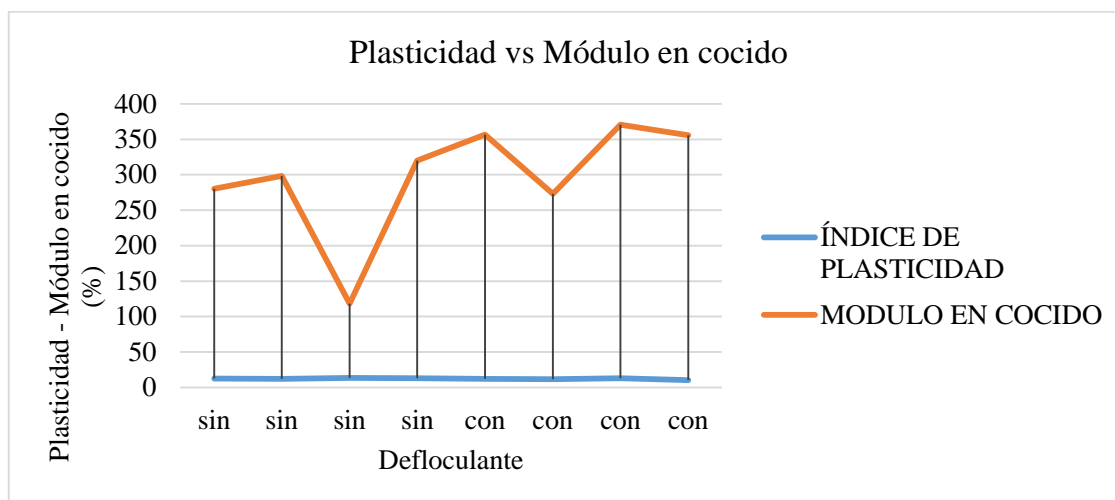
En el gráfico 3-40 se presenta la relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en seco de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/C.



**Gráfico 3-40** Relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en seco de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/C.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

En el gráfico 3-41 se presenta la relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en cocido de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/C.



**Gráfico 3-41** Relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en cocido de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/C.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

#### *Análisis estadístico de resultados*

En la tabla 3-41 se presentan los estadísticos descriptivos en base a la desviación típica de los datos recabados. En esta tabla se detallan los valores descriptivos de: el índice de plasticidad, residuo, densidad, viscosidad, contracción, absorción y módulos de ruptura de la pasta producida en laboratorio para la fórmula MQ-2016-7/C con defloculante.

**Tabla 3-41** Estadísticos descriptivos de los parámetros de calidad de la barbotina. MQ-2016-7/C. Con defloculante

<b>MQ-2016-7/C: CON DEFLOCULANTE</b>				
<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>
<b>Viscosidad</b>	48,9	24,45	73,35	24,45
<b>Densidad</b>	1,627875	0,0139375	1,6418125	1,6139375
<b>Residuo</b>	7,2225	0,3325	7,555	6,89
<b>Contracción Promedial</b>	4,24	0,399218461	4,634766217	3,836329295
<b>Absorción Promedial</b>	9,22	0,563398224	9,787071457	8,660275008
<b>Módulo en Húmedo</b>	6,4925	3,4125	9,905	3,08
<b>Módulo en Seco</b>	18,5375	5,0825	23,62	13,455
<b>Módulo en cocido</b>	258,045	18,175	276,22	239,87
<b>Índice de plasticidad</b>	11,26	1,055	12,315	10,205

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 3-42 se presentan los estadísticos descriptivos en base a la desviación típica de los datos recabados. En esta tabla se detallan los valores descriptivos de: el índice de plasticidad, residuo, densidad, viscosidad, contracción, absorción y módulos de ruptura de la pasta producida en laboratorio para la fórmula MQ-2016-7/C sin defloculante.

**Tabla 3-42** Estadísticos descriptivos de los parámetros de calidad de la barbotina. MQ-2016-7/C. Sin defloculante

<b>MQ-2016-7/C: SIN DEFLOCULANTE</b>				
<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>
<b>Viscosidad</b>	0	0	0	0
<b>Densidad</b>	1,542375	0,0139875	1,5563625	1,5283875
<b>Residuo</b>	6,715	0,3425	7,0575	6,3725
<b>Contracción Promedial</b>	4,09	0,207644736	4,29292693	3,877637457
<b>Absorción Promedial</b>	8,95	0,456994638	9,410327035	8,496337758
<b>Módulo en Húmedo</b>	7,305	0,1375	7,4425	7,1675
<b>Módulo en Seco</b>	31,2275	8,31375	39,54125	22,91375
<b>Módulo en cocido</b>	218,2	49,965	268,165	168,235
<b>Índice de plasticidad</b>	11,6975	0,6375	12,335	11,06

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### *Análisis de resultados del estudio estadístico*

Para analizar y comparar las tablas 3-41 y 3-42 nos regiremos estrictamente a cuatro parámetros, los cuales son densidad, viscosidad, residuo e índice de plasticidad, debido a que estos son importantes para el proceso de atomización. En la formulación preparada sin defloculante (tabla 3-42), se tiene viscosidad nula (imposible medir-material muy viscoso), densidad baja, residuo bajo e índice de plasticidad levemente bajo con respecto a la formulación preparada con defloculante (tabla 3-41), lo cual se debe a que el defloculante es un agente químico que se encarga de mantener dispersas las partículas finas evitando la floculación. Esto genera en la pasta una disminución de viscosidad, aumento de densidad y residuo y el índice de plasticidad aumento un poco por la interacción molecular del defloculante con los componentes plásticos de la pasta.

1.10.3.1.2. MQ-2016-7/D

En la tabla 3-43 se tabularon los datos correspondientes a los parámetros de calidad de la barbotina producida en el laboratorio con y sin defloculante, de fórmula MQ-2016-7/D. También en la tabla antes mencionada se hallan los datos correspondientes a la plasticidad, módulos de ruptura, contracciones y absorciones de la barbotina de fórmula ya mencionada.

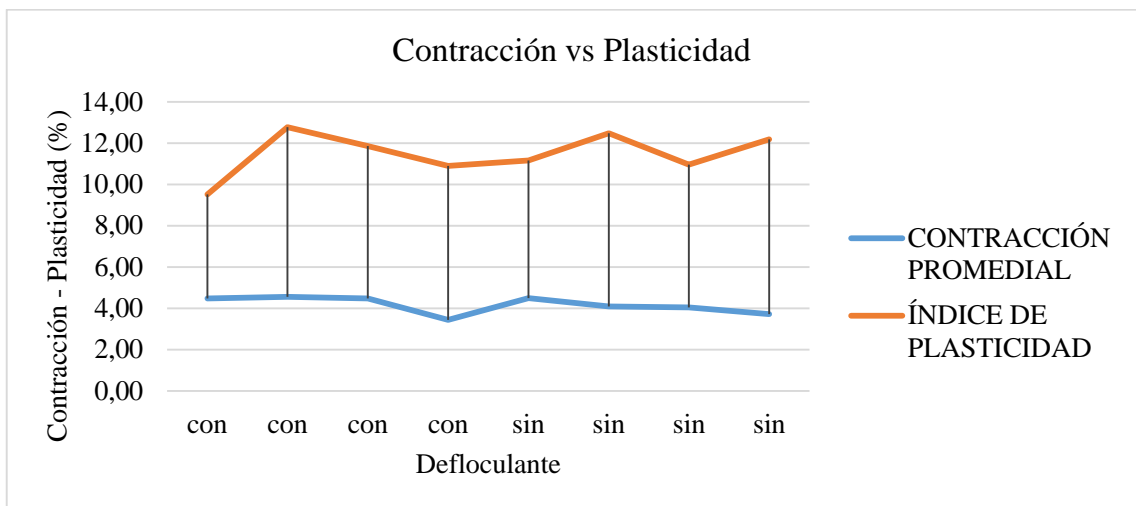
**Tabla 3-43** Parámetros de calidad y plasticidad de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/D.

Parámetros barbotina mq-2016-7/d							Parámetros placas			Plasticidad
Fecha	Defloculante	Densidad	Viscosidad	Residuo	Contracción promedio	Absorción promedio	Módulo en húmedo	Módulo en seco	Módulo en cocido	Índice de plasticidad
dia/mes/año		g/cm <sup>3</sup>	S	%	%	%	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%
20/11/2017	Sin	1,554	-	7,38	4,45	7,90	3,02	27,94	280,25	12,55
21/11/2017	Sin	1,525	-	6,78	4,78	7,01	8,2	15,48	298,27	12
22/11/2017	Sin	1,536	-	8,3	4,75	7,45	7,31	33,86	118,27	13,66
23/11/2017	Sin	1,521	-	5,22	4,58	7,03	11,19	29,33	320,19	13,25
27/11/2017	Con	1,624	84	7,68	5,55	6,08	10,48	29,31	356,76	12,14
28/11/2017	Con	1,621	67	8,43	4,98	6,26	12,91	15,99	273,01	11,46
29/11/2017	Con	1,641	-	6,34	4,98	7,04	10,29	26,74	370,74	13,1
30/11/2017	Con	1,636	-	7,64	5,33	8,09	6,8	14,22	355,7	10,11

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

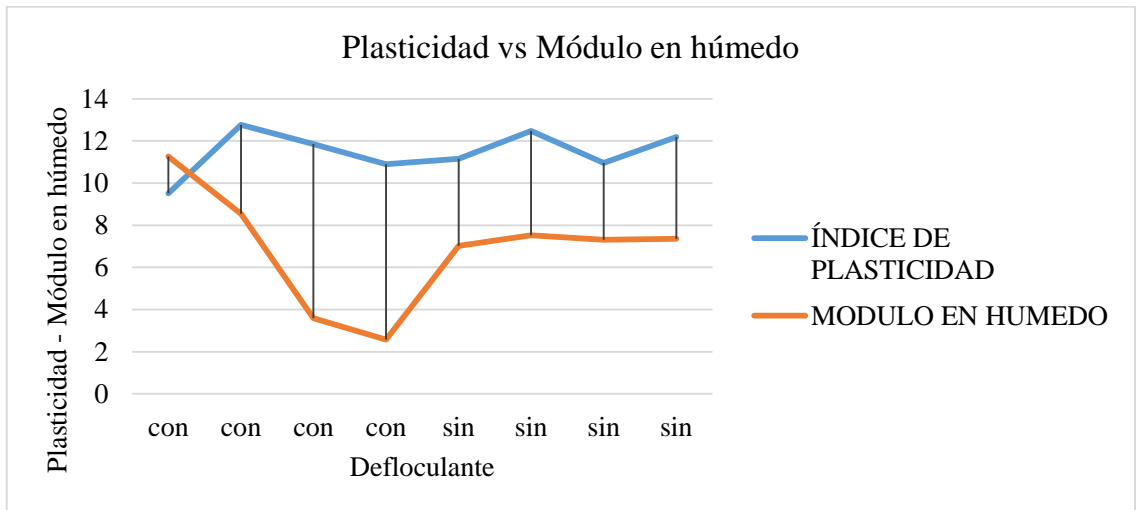
En el gráfico 3-42 se presenta la relación entre los valores del índice de plasticidad y contracción de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/D.



**Gráfico 3-42** Relación entre los valores del índice de plasticidad y contracción de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/D.

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

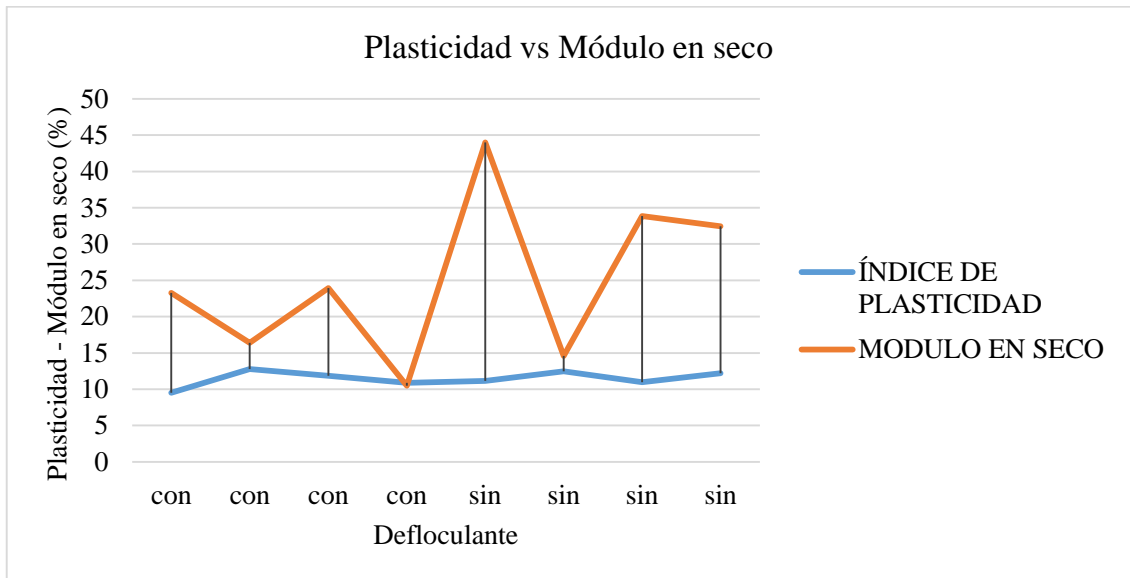
En el gráfico 3-43 se presenta la relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en húmedo de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/D.



**Gráfico 3-43** Relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en húmedo de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/D.

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

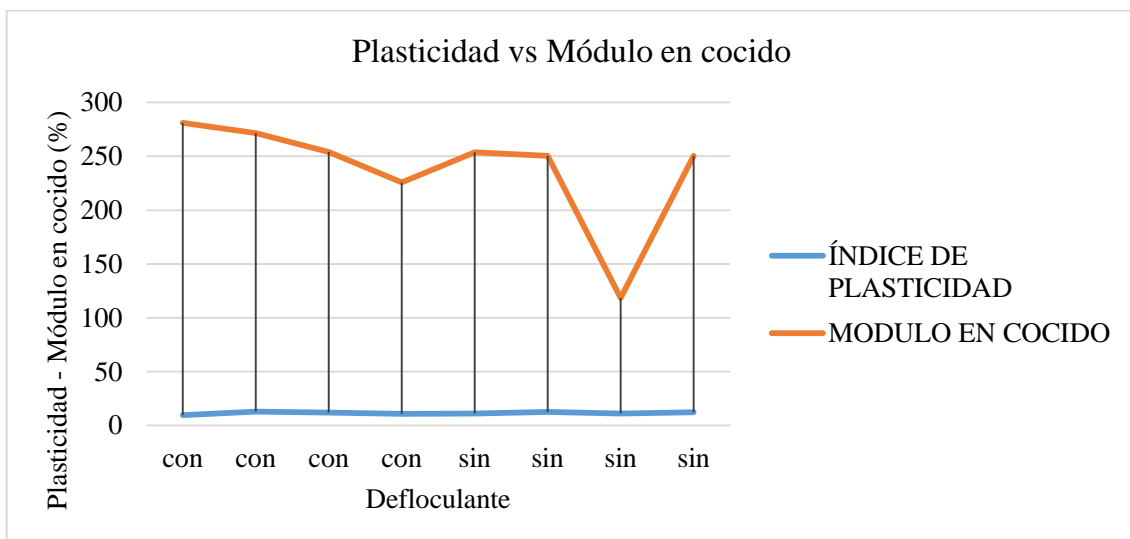
En el gráfico 3-44 se presenta la relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en seco de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/D.



**Gráfico 3-44** Relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en seco de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/D.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

En el gráfico 3-45 se presenta la relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en cocido de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/D.



**Gráfico 3-45** Relación entre los valores del índice de plasticidad y módulo de ruptura en cocido de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/D.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

### *Análisis estadístico de resultados*

En la tabla 3-44 se presentan los estadísticos descriptivos en base a la desviación típica de los datos recabados. En esta tabla se detallan los valores descriptivos de: el índice de plasticidad, residuo, densidad, viscosidad, contracción, absorción y módulos de ruptura de la pasta producida en laboratorio para la fórmula MQ-2016-7/D con defloculante.

**Tabla 3-44** Estadísticos descriptivos de los parámetros de calidad de la barbotina. MQ-2016-7/D. Con defloculante

<b>MQ-2016-7/D: CON DEFLOCULANTE</b>				
<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>
<b>Viscosidad</b>	37,75	37,75	75,5	0
<b>Densidad</b>	1,6305	0,008	1,6385	1,6225
<b>Residuo</b>	7,5225	0,59125	8,11375	6,93125
<b>Contracción Promedial</b>	5,21	0,230024871	5,441658625	4,981608883
<b>Absorción Promedial</b>	6,87	0,69566199	7,563462059	6,172138079
<b>Módulo en Húmedo</b>	10,12	1,66	11,78	8,46
<b>Módulo en Seco</b>	21,565	6,46	28,025	15,105
<b>Módulo en cocido</b>	339,0525	33,02125	372,07375	306,03125
<b>Índice de plasticidad</b>	11,7025	0,9175	12,62	10,785

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 3-45 se presentan los estadísticos descriptivos en base a la desviación típica de los datos recabados. En esta tabla se detallan los valores descriptivos de: el índice de plasticidad, residuo, densidad, viscosidad, contracción, absorción y módulos de ruptura de la pasta producida en laboratorio para la fórmula MQ-2016-7/D sin defloculante.

**Tabla 3-45** Estadísticos descriptivos de los parámetros de calidad de la barbotina. MQ-2016-7/D. Sin defloculante

<b>MQ-2016-7/D: SIN DEFLOCULANTE</b>				
<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>
<b>Viscosidad</b>	0	0	0	0
<b>Densidad</b>	1,534	0,011	1,545	1,523
<b>Residuo</b>	6,92	0,92	7,84	6
<b>Contracción Promedial</b>	4,64	0,123869876	4,766052763	4,51831301
<b>Absorción Promedial</b>	7,35	0,326517028	7,672766831	7,019732776
<b>Módulo en Húmedo</b>	7,43	2,265	9,695	5,165
<b>Módulo en Seco</b>	26,6525	5,58625	32,23875	21,06625



<b>Módulo en cocido</b>	254,245	67,9875	322,2325	186,2575
<b>Índice de plasticidad</b>	12,865	0,59	13,455	12,275

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### ***Análisis de resultados del estudio estadístico***

Para analizar y comparar las tablas 3-44 y 3-45 nos regiremos estrictamente a cuatro parámetros, los cuales son densidad, viscosidad, residuo e índice de plasticidad, debido a que estos son importantes para el proceso de atomización. En la formulación preparada sin defloculante (tabla 3-45), se tiene viscosidad nula (imposible medir-material muy viscoso), densidad baja, residuo bajo e índice de plasticidad levemente alto con respecto a la formulación preparada con defloculante (tabla 3-44), lo cual se debe a que el defloculante es un agente químico que se encarga de mantener dispersas las partículas finas evitando la floculación. Esto genera en la pasta una disminución de viscosidad, aumento de densidad y residuo y el índice de plasticidad disminuyo un poco por la interacción molecular del defloculante con los componentes plásticos de la pasta y por la proporción de estos últimos.

#### ***1.10.4. Determinación final del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado en el llenado y descarga de los silos (formato 43 x43).***

En este punto se tabularon los datos correspondientes a los tres últimos ensayos referentes al llenado y descarga del polvo atomizado de los silos 5, 9 y 4, siendo este último el representante de los silos aleatorios. Con los datos tabulados se hicieron los análisis estadísticos respectivos a los datos que así lo permitieron, para validar las mejoras aplicadas en el proceso de atomización.

##### ***1.10.4.1. Mejoras aplicadas en la producción y transporte del polvo atomizado para la fabricación de Gres Rojo (Monoquema- revestimientos de pisos cerámicos) formato 43 x43.***

El presente diagnóstico se efectuará tomando nota de los parámetros operacionales y de calidad del polvo atomizado en la producción y almacenamiento del mismo, descrito en el Manual de Gestión de la calidad de la empresa. Dichos parámetros se detallan a continuación (tabla 3-46):

**Tabla 3-46** Condiciones operacionales y parámetros de calidad en la producción del polvo atomizado.

PARÁMETRO	VARIABLE OPERACIONAL	CANTIDAD O RANGO	OBSERVACIÓN O PROCEDIMIENTO
Atomizador Chino	Temperatura de quema	700 – 740 °C	Durante cada hora el operador revisa las variables operacionales y sube a revisar el funcionamiento de las boquillas, por si alguna se ha tapado y en caso de haberse tapado procede a destaparla limpiándola. También propina golpes en la entrada de cada lanza para soltar la barbotina que se adhiere a las boquillas.
	Producción	14800 Kg/s	
	Número de lanzas	10	
	Número de boquillas	28	
	Diámetro de pastillas	2 – 2,5 mm (intercaladas)	
	Presión de bombeo	19 – 20 Bares	
	Depresión	30	
Ventosas	Abertura de 100%		
Barbotina	Densidad	1.65 g/cm <sup>3</sup>	El operador antes de atomizar toma una muestra de barbotina de la cisterna central que alimenta el atomizador, para determinar si su viscosidad, densidad y residuos, están dentro de los rangos de acuerdo a la norma preestablecida.
	Sólidos Totales	61 – 65 %	
	Viscosidad	50 – 60 s	
	Residuo	8 – 9.5 %	
Silos (13 silos para pasta Monoquema)	-	-	Silos limpios del 1-9
Hidrociclón	Depresión	140 Ventilador principal 30 Ciclones	Los valores se mantuvieron constantes. Polvos finos son retirados de la banda de producción del polvo atomizado y se almacenan en una cisterna para ser mezclados con agua y defloculante para producir barbotina.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

1.10.4.2. Evaluación final de las variables que intervienen en la producción del polvo atomizado después de la implementación de mejoras

1.10.4.2.1. Humedad vs temperatura de calefacción

**Silo # 5**

En la tabla 3-47 se presentan tabulados los datos correspondientes a la evaluación final del polvo atomizado en lo que tiene que ver a humedades de llenado y temperaturas de calefacción de los silos 5, 9 y 4. Silo # 5.

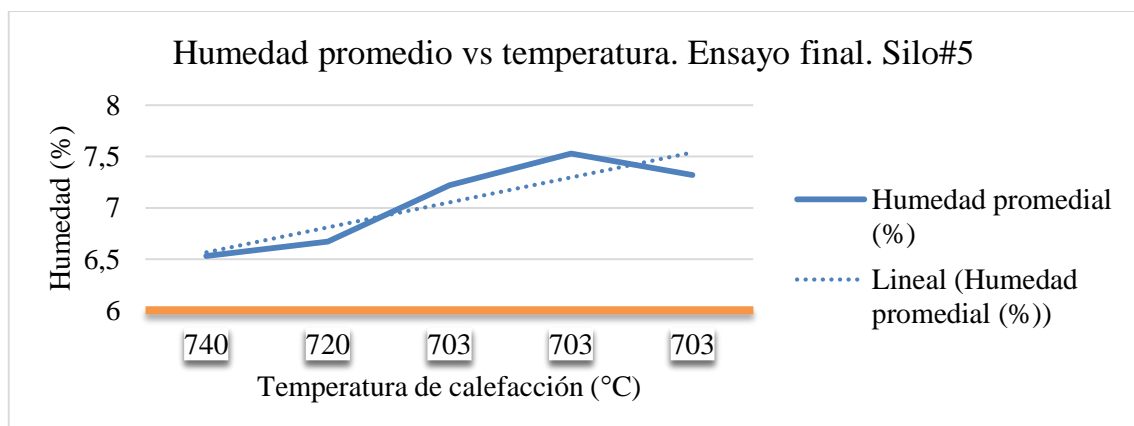
**Tabla 3-47** Humedades de llenado del silo # 5 vs temperaturas de calefacción. Ensayo final

FECHA (día/mes/año)	LLENADO DEL SILO (hora:min)	8:10	9:10	10:10	11:10	12:10
14/12/2017	Humedad promedial (%)	6,53	6,67	7,22	7,53	7,32
	Temperatura de calefacción (°C)	740	720	703	703	703
	Humedad ambiente (%)	55	55	55	55	55
	Temperatura ambiente (%)	21	21	21	21	21

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el gráfico 3-46 se muestra la relación entre la humedad promedio en el llenado del silo # 5 versus temperatura de calefacción. Ensayo final.



**Gráfico 3-46** Humedad promedio en el llenado del silo # 5 vs temperatura de calefacción

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

### *Análisis estadístico: Regresión Lineal Múltiple*

En la tabla 3-48 se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico con el método de Regresión lineal múltiple.

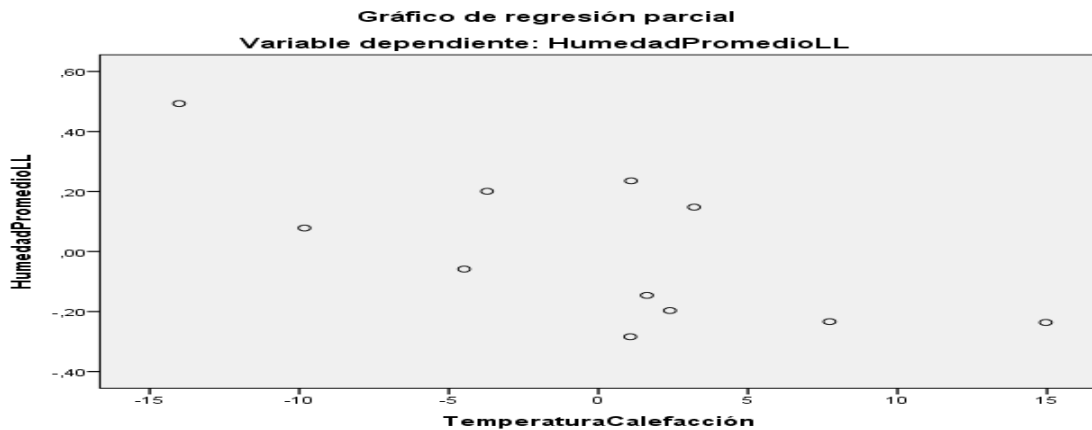
**Tabla 3-48** Regresión lineal múltiple para la relación temperatura de calefacción vs humedad de llenado de los silos 5, 9 y 4.

Estadísticos descriptivos						
Factores	Media	Desviación típica	N			
Humedad Promedio LL	7,4355	0,45964	11			
Temperatura Calefacción	708,64	11,664	11			
Correlaciones						
Factores		Humedad Promedio LL	Temperatura Calefacción	Silo		
Correlación de Pearson	Humedad Promedio LL	1	0,824	0,687		
	Temperatura Calefacción	0,824	1	0,39		
	Silo	0,687	-0,39	1		
Sig. (unilateral)	Humedad Promedio LL	.	0,001	0,01		
	Temperatura Calefacción	0,001	.	0,118		
	Silo	0,01	0,118	.		
N	Humedad Promedio LL	11	11	11		
	Temperatura Calefacción	11	11	11		
	Silo	11	11	11		
Resumen del modelo						
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio	
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F
1	,921	0,848	0,783	0,21399	0,848	13,045
ANOVA						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1,792	3	0,597	13,045	,003 <sup>b</sup>
	Residual	0,321	7	0,046		
	Total	2,113	10			

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-47), se relacionan las regresiones de humedades con respecto a las temperaturas de calefacción correspondientes al llenado de los silos 5, 9 y 4. Ensayo final



**Gráfico 3-47** Regresión de humedad promedio vs temperatura de calefacción. Silos 5,9, y 4.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

### *Análisis de resultados Regresión lineal múltiple*

#### Correlación de Pearson (tabla 3-48)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable temperatura de calefacción con respecto a la variable humedad promedial arroja un valor de 0,824. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable temperatura de calefacción no es significativa con respecto a la variable humedad promedial, es decir los valores de humedad promedial para los silos 5, 9 y 4 del ensayo final no dependen de la temperatura de calefacción.

#### R cuadrado (tabla 3-48)

La variable humedad queda explicada en un 84,8 % por la variable temperatura de calefacción, teniendo que el otro 15,2 % lo explican otras variables o parámetros inherentes al proceso de atomización y que infieren sobre la humedad del polvo atomizado, según el modelo de regresión lineal múltiple con el método introducir.

### ANOVA (tabla 3-48)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable temperatura de calefacción con respecto a la variable humedad promedial arrojó un valor de 0,03. Por consiguiente se rechaza la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable temperatura de calefacción influye de forma conjunta y lineal con la variable humedad promedial

### Gráfico de regresión parcial

El gráfico 3-47 muestra como los residuos se hallan dispersos, siendo que para los datos de humedad con respecto a la temperatura de calefacción los residuos no se hallan dispersos por lo cual siguen una tendencia lineal.

#### 1.10.4.2.2. Humedad vs fisura

### **Silo # 5**

En la tabla 3-49 se presentan las humedades correspondientes a la descarga del silo 5 en el ensayo final relacionadas con el porcentaje de fisura del producto final (Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43x43). Los cuadros pintados de color naranja son los valores que están en norma (humedad para prensado 6,8 – 7,2), más los cuadros pintados de celeste son los valores que no están en norma y los cuadros pintados de amarillo corresponden al porcentaje de fisura.

**Tabla 3-49** Humedades de la descarga del silo # 5 para el ensayo final vs porcentaje de fisura.

Fecha (día/mes/año)	Descarga del silo (hora:min)	8:15	9:15	10:15	11:1 5	12:1 5
15/12/2017	Humedad promedial (%)	6,48	6,57	6,88	7,25	7,18
Horas de reposo = 24	Humedad ambiente (%)	55	55	55	55	55
	Temperatura ambiente (%)	21	21	21	21	21
Calidad formato (cm)	Producción producto final (m <sup>2</sup> /día)	Producto	Estándar (%)	Exportación (%)	Fisura (%)	
43 x 43	3189	Lajas Gris	7	91	0	

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### 1.10.4.2.3. Granulometría vs temperatura de calefacción-presión de bombeo-viscosidad

#### Silo # 5

En la tabla 3-50 se presentan los pesos para cada malla de tamices para la determinación de la granulometría del polvo atomizado, junto con los parámetros físico-químicos de la barbotina (materia prima pulverizada en el atomizador), las temperaturas de calefacción del atomizador y las presiones de bombeo de la barbotina al atomizador, correspondientes al llenado del silo 5 en el ensayo final.

En la mencionada tabla se hallan diferenciados los valores que cumplen con la norma (tabla 4-1), preestablecida por el Laboratorio de Calidad de la empresa, teniendo que el color celeste son los valores que no cumplen con la norma y el naranja los que si cumplen.

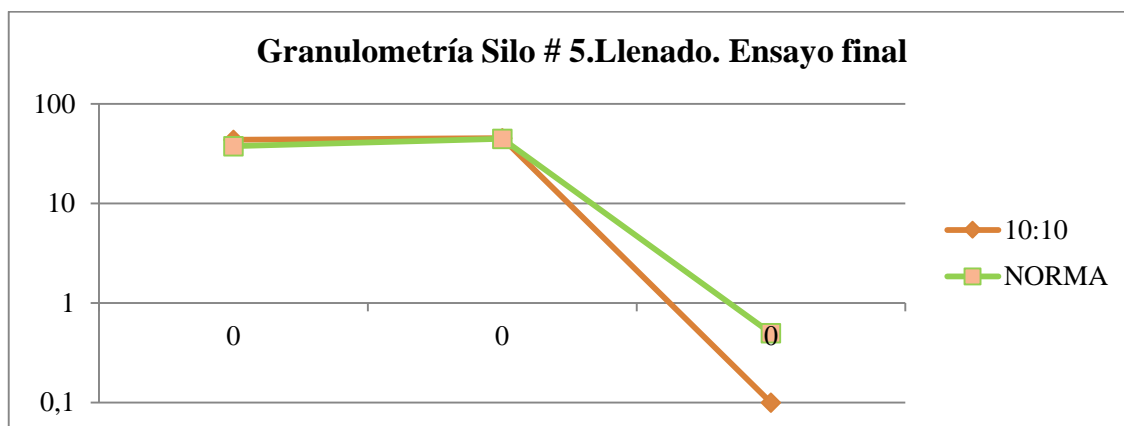
**Tabla 3-50** Granulometría del llenado del silo # 5 para el ensayo final, relacionada con los parámetros físico-químicos de la barbotina y las temperaturas de calefacción del atomizador.

Fecha (día/mes/año)	Granulometría/Hora	8:10	9:10	10:10	11:10	12:10
14/12/2017	Malla (mm)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)
<b>Silo (#)</b>	20 = 0.850	0,5	0,6	0,8	0,9	0,7
5	40 = 0.425	36,7	38,3	43,5	41,3	39,6
<b>Densidad (g/cm3)</b>	60 = 0.250	49,4	49,3	45,1	47,3	46,3
1,65	80 = 0.180	6,6	6,2	5,5	5,5	6,5
<b>Viscosidad (s)</b>	100 = 0.150	3,3	2,8	2,6	2,4	3,3
53	200 = 0.075	3,1	2,6	2,3	2,2	3
<b>Residuo (%)</b>	Finos	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
10	<b>Presión (bar)</b>	20	20	19	19	19
<b>Humedad promedio (%)</b>	<b>Temperatura de calefacción (°C)</b>	740	720	703	703	703
7,05	<b>Humedad (%)</b>	6,53	6,67	7,22	7,53	7,32

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-48), se relacionan la granulometría (mallas 40, 60 y finos), de la muestra con la cual se hizo el estudio morfológico del silo # 5 para el ensayo final (tabla 4-50). Cuadro de color amarillo), con la granulometría normada por el Laboratorio de Calidad de la empresa Ecuatoriana de Cerámica C. A.



**Gráfico 3-48** Relación entre la granulometría en el llenado del silo # 5 para el ensayo final y la norma de granulometría

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

### *Análisis estadístico: Regresión Lineal Múltiple*

#### **Malla 40**

En la tabla 3-51 se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico con el método de Regresión lineal múltiple. En el que se analizó la correlación entre los valores de granulometría de la malla 40 correspondientes al ensayo final para el llenado de los silos 5, 9 y 4 vs los valores de viscosidad de la barbotina, presión de bombeo de la barbotina al atomizador y las temperaturas de calefacción del atomizador.

**Tabla 3-51** Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de la malla 40, de los silos 5, 9 y 4 del ensayo final.

Estadísticos descriptivos					
Factores	Media	Desviación típica	N		
Malla40	42	2,9927	11		
Temperatura	708,64	11,664	11		
Presión de bombeo	19,27	0,467	11		
Correlaciones					
Factores		Malla40	Silo	Presión de bombeo	Temperatura
Correlación de Pearson	Malla40	1	0,166	-0,658	-0,668
	Silo	0,166	1	0,158	-0,138
	Temperatura	-0,668	-0,138	0,626	1
	Presión de bombeo	-0,658	0,158	1	0,626

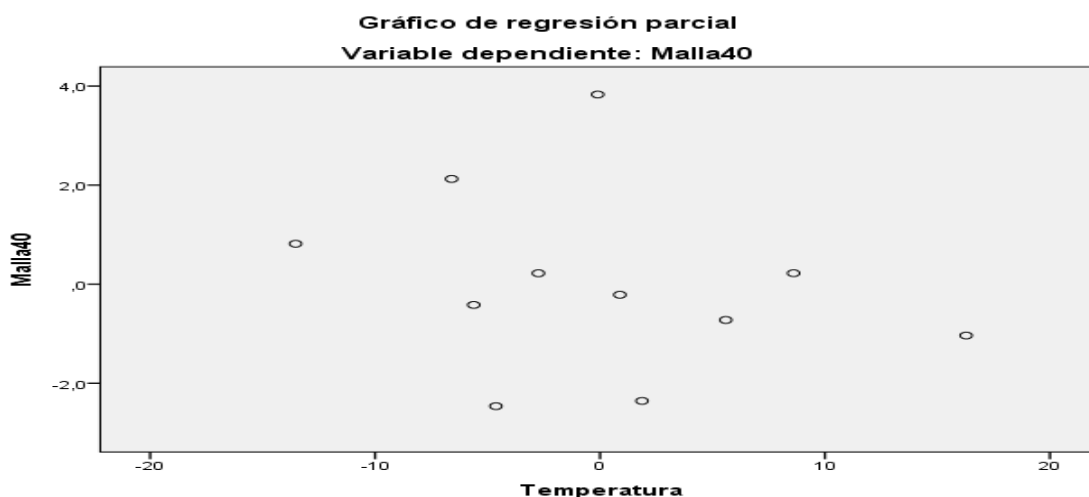


<b>Sig. (unilateral)</b>	Malla40	.	0,312	0,014	0,012	
	Silo	0,312	.	0,321	0,342	
	Temperatura	0,012	0,342	0,02	.	
	Presión de bombeo	0,014	0,321	.	0,02	
<b>N</b>	Malla40	11	11	11	11	
	Silo	11	11	11	11	
	Temperatura	11	11	11	11	
	Presión de bombeo	11	11	11	11	
<b>Resumen del modelo</b>						
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R cuadrado</b>	<b>R cuadrado corregida</b>	<b>Error típ. de la estimación</b>	<b>Estadísticos de cambio</b>	
					<b>Cambio en R cuadrado</b>	<b>Cambio en F</b>
1	,806 <sup>a</sup>	0,649	0,415	2,2891	0,649	2,773
<b>ANOVA</b>						
<b>Modelo</b>		<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
1	Regresión	58,12	4	14,53	2,773	,127 <sup>b</sup>
	Residual	31,44	6	5,24		
	Total	89,56	10			
<b>Estadísticos sobre los residuos</b>						
<b>Factores</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>N</b>	
<b>Valor pronosticado</b>	36,853	44,319	42	2,4108	11	
<b>Valor pronosticado tip.</b>	-2,135	0,962	0	1	11	
<b>Error típico de valor pronosticado</b>	1,104	2,134	1,51	0,332	11	
<b>Valor pronosticado corregido</b>	37,537	45,583	41,997	2,5118	11	
<b>Residual</b>	-2,7141	3,8245	0	1,7731	11	

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-49), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-malla 40) con respecto a la variable independiente (temperatura de calefacción del atomizador), para los silos 5, 9 y 4.



**Gráfico 3-49** Regresión parcial de la malla 40 con respecto a la temperatura (tabla 3-51), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4.

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

En el presente gráfico (3-50), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-malla 40) con respecto a la variable independiente (Presión de bombeo de la barbotina al atomizador), para los silos 5, 9 y 4.



**Gráfico 3-50** Regresión parcial de la malla 40 con respecto a la presión de bombeo (tabla 3-51), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4.

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

En el presente gráfico (3-51), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-malla 40) con respecto a la variable independiente (Número de silo), para los silos 5, 9 y 4.



**Gráfico 3-51** Regresión parcial de la malla 40 con respecto al número de silo (tabla 3-51), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

### *Análisis de resultados Regresión lineal múltiple*

#### Correlación de Pearson (tabla 3-51)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable número de silo con respecto a la variable granulometría en la malla 40 arrojo un valor de 0,166. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable número de silo no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 40, es decir los valores de la granulometría en la malla 40 para los silos 5, 9 y 4 no dependen solo de la variable número de silo.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable temperatura de calefacción con respecto a la variable granulometría en la malla 40 arrojo un valor de 0,668. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable temperatura de calefacción no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 40, es decir los valores de la granulometría en la malla 40 para los silos 5, 9 y 4 no dependen solo de la variable temperatura de calefacción.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable presión de bombeo con respecto a la variable granulometría en la malla 40 arrojo un valor de 0,658. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable presión de bombeo no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 40, es decir los valores de la granulometría en la malla 40 para los silos 5, 9 y 4 no dependen solo de la variable presión de bombeo.

### R cuadrado (tabla 3-51)

La variable granulometría en la malla 40 queda explicada en un 64,9 % por las variables independientes temperatura de calefacción, número de silo y presión de bombeo de la barbotina, teniendo que el otro 35,1 % lo explican otras variables o parámetros inherentes al polvo atomizado y que infieren sobre el porcentaje en peso de granulometría en la malla 40, según el modelo de regresión lineal múltiple con el método introducir.

### ANOVA (tabla 3-51)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, las variables independientes temperatura de calefacción, número de silo y presión de bombeo de la barbotina con respecto a la variable granulometría en la malla 40 arrojó un valor de 0,127. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, las variables independientes temperatura de calefacción, número de silo y presión de bombeo de la barbotina no influyen de forma conjunta y lineal con la variable granulometría en la malla 40.

### Gráfico de regresión parcial

El gráfico 3-49 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la temperatura de calefacción con respecto a la granulometría en la malla 40, sus residuos no se hallan muy dispersos y siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-50 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la presión de bombeo de la barbotina con respecto a la granulometría en la malla 40, sus residuos no se hallan muy dispersos y siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-51 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos del número de silo con respecto a la granulometría en la malla 40, sus residuos no se hallan muy dispersos y siguen una tendencia lineal.

### **Malla 60**

En la tabla 3-52 se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico con el método de Regresión lineal múltiple. En el que se analizó la correlación entre los valores de granulometría de la malla 60 correspondientes al ensayo final para el llenado de los silos 5, 9 y 4 vs los valores

de viscosidad de la barbotina, presión de bombeo de la barbotina al atomizador y las temperaturas de calefacción del atomizador.

**Tabla 3-52** Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de la malla 60, de los silos 5, 9 y 4 del ensayo final.

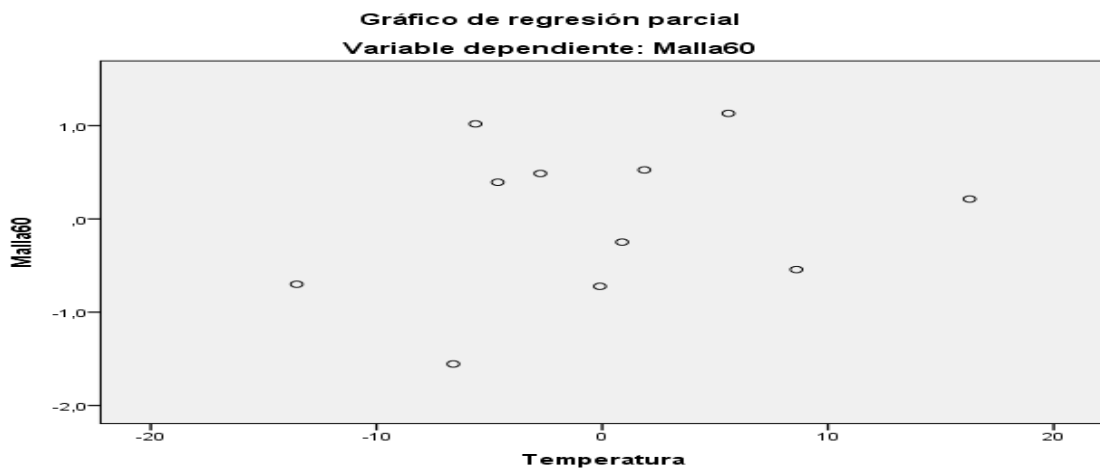
Estadísticos descriptivos						
Factores	Media	Desviación típica	N			
Malla60	45,555	2,2425	11			
Silo	5,82	2,089	11			
Temperatura	708,64	11,664	11			
Presión de bombeo	19,27	0,467	11			
Correlaciones						
Factores		Malla60	Silo	Presión de bombeo	Temperatura	
Correlación de Pearson	Malla60	1	-0,324	0,653	0,704	
	Silo	-0,324	1	0,158	-0,138	
	Temperatura	0,704	-0,138	0,626	1	
	Presión de bombeo	0,653	0,158	1	0,626	
Sig. (unilateral)	Malla60	.	0,165	0,015	0,008	
	Silo	0,165	.	0,321	0,342	
	Temperatura	0,008	0,342	0,02	.	
	Presión de bombeo	0,015	0,321	.	0,02	
N	Malla60	11	11	11	11	
	Silo	11	11	11	11	
	Temperatura	11	11	11	11	
	Presión de bombeo	11	11	11	11	
Resumen del modelo						
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio	
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F
1	,934 <sup>a</sup>	0,873	0,788	1,0321	0,873	10,301
ANOVA						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	43,895	4	10,974	10,301	,007 <sup>b</sup>
	Residual	6,392	6	1,065		
	Total	50,287	10			
Estadísticos sobre los residuos						
Factores	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N	

<b>Valor pronosticado</b>	43,111	49,601	45,555	2,0951	11
<b>Valor pronosticado tip.</b>	-1,166	1,931	0	1	11
<b>Error típico de valor pronosticado</b>	0,498	0,962	0,681	0,15	11
<b>Valor pronosticado corregido</b>	42,328	50,499	45,851	2,3966	11
<b>Residual</b>	-1,3874	1,1617	0	0,7995	11

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

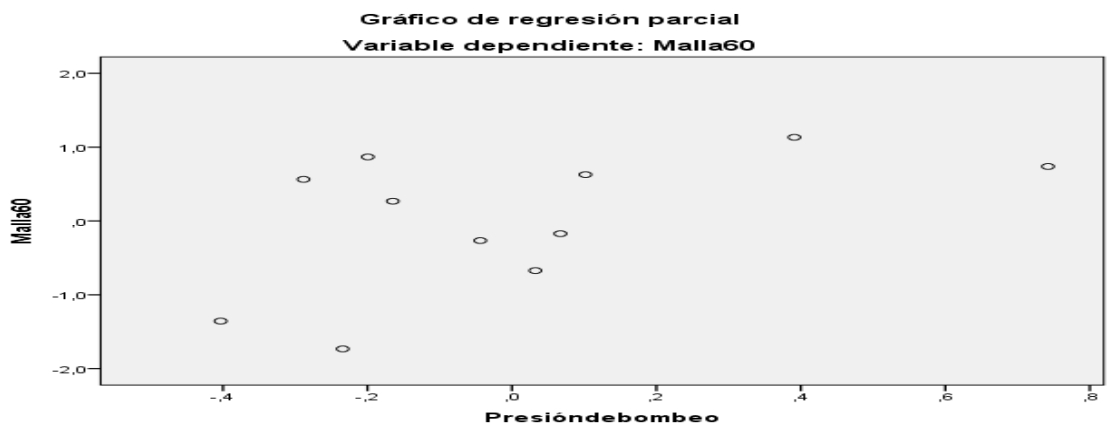
En el presente gráfico (3-52), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-malla 60) con respecto a la variable independiente (temperatura de calefacción del atomizador), para los silos 5, 9 y 4.



**Gráfico 3-52** Regresión parcial de la malla 60 con respecto a la temperatura (tabla 3-52), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

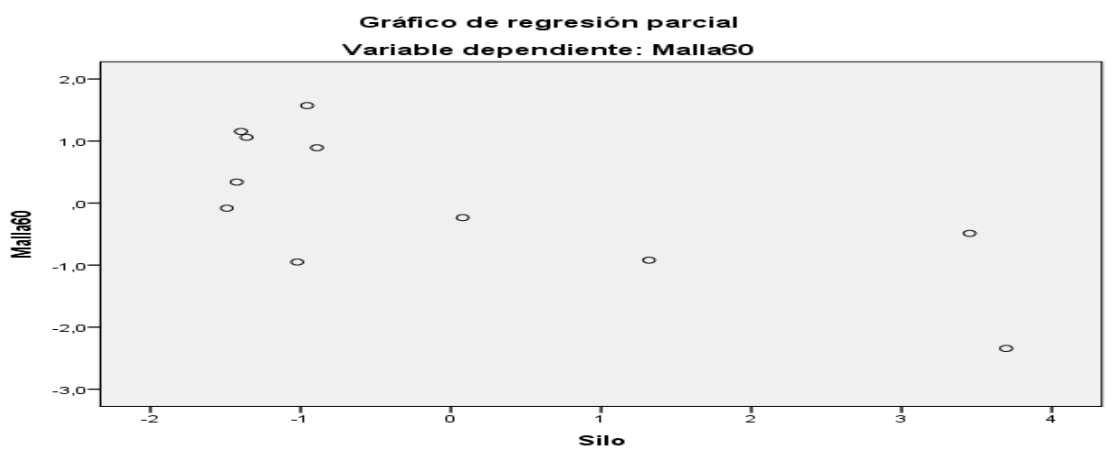
En el presente gráfico (3-53), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-malla 60) con respecto a la variable independiente (Presión de bombeo de la barbotina al atomizador), para los silos 5, 9 y 4.



**Gráfico 3-53** Regresión parcial de la malla 60 con respecto a la presión de bombeo (tabla 3-52), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

En el presente gráfico (3-54), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-malla 60) con respecto a la variable independiente (Número de silo), para los silos 5, 9 y 4.



**Gráfico 3-54** Regresión parcial de la malla 60 con respecto al número de silo (tabla 3-52), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

## ***Análisis de resultados Regresión lineal múltiple***

### Correlación de Pearson (tabla 3-52)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable número de silo con respecto a la variable granulometría en la malla 60 arrojo un valor de 0,324. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable número de silo no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 60, es decir los valores de la granulometría en la malla 60 para los silos 5, 9 y 4 no dependen solo de la variable número de silo.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable temperatura de calefacción con respecto a la variable granulometría en la malla 60 arrojo un valor de 0,704. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable temperatura de calefacción no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 60, es decir los valores de la granulometría en la malla 60 para los silos 5, 9 y 4 no dependen solo de la variable temperatura de calefacción.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable presión de bombeo con respecto a la variable granulometría en la malla 60 arrojo un valor de 0,653. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable presión de bombeo no es significativa con respecto a la variable granulometría en la malla 60, es decir los valores de la granulometría en la malla 60 para los silos 5, 9 y 4 no dependen solo de la variable presión de bombeo.

### R cuadrado (tabla 3-52)

La variable granulometría en la malla 60 queda explicada en un 87,3 % por las variables independientes temperatura de calefacción, número de silo y presión de bombeo de la barbotina, teniendo que el otro 12,7 % lo explican otras variables o parámetros inherentes al polvo atomizado y que infieren sobre el porcentaje en peso de granulometría en la malla 60, según el modelo de regresión lineal múltiple con el método introducir.

### ANOVA (tabla 3-52)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, las variables independientes temperatura de calefacción, número de silo y presión de bombeo de la barbotina con respecto a la variable granulometría en la malla 60 arrojo un valor de 0,07. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, las variables independientes temperatura de calefacción, número de silo y



presión de bombeo de la barbotina no influyen de forma conjunta y lineal con la variable granulometría en la malla 60.

#### Gráfico de regresión parcial

El gráfico 3-52 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la temperatura de calefacción con respecto a la granulometría en la malla 60, sus residuos no se hallan muy dispersos y siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-53 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la presión de bombeo de la barbotina con respecto a la granulometría en la malla 60, sus residuos no se hallan muy dispersos y siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-54 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos del número de silo con respecto a la granulometría en la malla 60, sus residuos no se hallan muy dispersos y siguen una tendencia lineal.

#### **Finos**

En la tabla 3-53 se presentan los resultados correspondientes al análisis estadístico con el método de Regresión lineal múltiple. En el que se analizó la correlación entre los valores de granulometría de los finos correspondientes al ensayo final para el llenado de los silos 5, 9 y 4 vs los valores de viscosidad de la barbotina, presión de bombeo de la barbotina al atomizador y las temperaturas de calefacción del atomizador.

**Tabla 3-53** Resultados del estudio estadístico con el método de regresión lineal múltiple para la granulometría de los finos, de los silos 5, 9 y 4 del ensayo final.

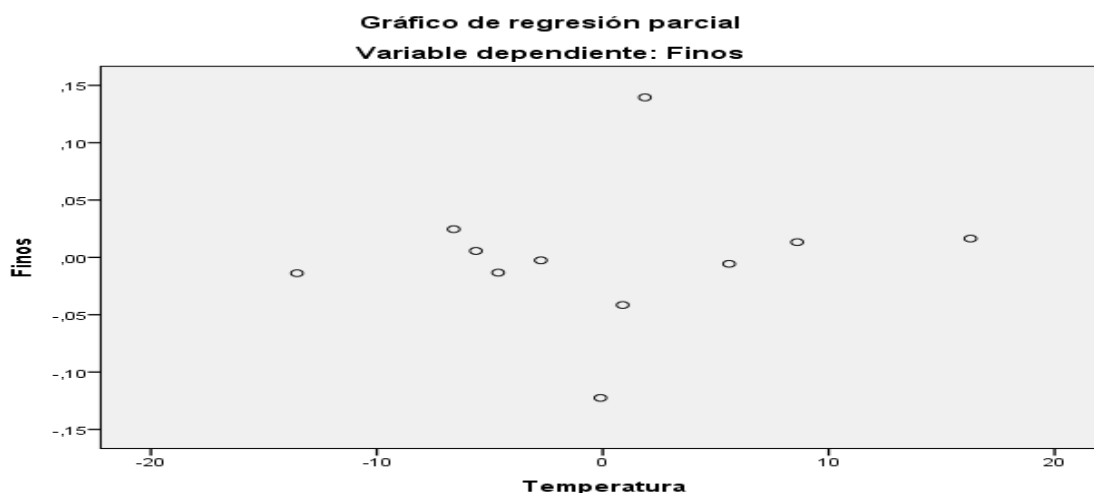
<b>Estadísticos descriptivos</b>				
<b>Factores</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>N</b>	
<b>Finos</b>	0,136	0,0924	11	
<b>Silo</b>	5,82	2,089	11	
<b>Temperatura</b>	708,64	11,664	11	
<b>Presión de bombeo</b>	19,27	0,467	11	
<b>Correlaciones</b>				
<b>Factores</b>	<b>Finos</b>	<b>Silo</b>	<b>Presión de bombeo</b>	<b>Temperatura</b>

<b>Correlación de Pearson</b>	Finos	1	-0,377	-0,253	-0,172	
	Silo	-0,377	1	0,158	-0,138	
	Temperatura	-0,172	-0,138	0,626	1	
	Presión de bombeo	-0,253	0,158	1	0,626	
<b>Sig. (unilateral)</b>	Finos	.	0,127	0,227	0,307	
	Silo	0,127	.	0,321	0,342	
	Temperatura	0,307	0,342	0,02	.	
	Presión de bombeo	0,227	0,321	.	0,02	
<b>N</b>	Finos	11	11	11	11	
	Silo	11	11	11	11	
	Temperatura	11	11	11	11	
	Presión de bombeo	11	11	11	11	
<b>Resumen del modelo</b>						
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R cuadrado</b>	<b>R cuadrado corregida</b>	<b>Error típ. de la estimación</b>	<b>Estadísticos de cambio</b>	
					<b>Cambio en R cuadrado</b>	<b>Cambio en F</b>
1	,752 <sup>a</sup>	0,566	0,277	0,0786	0,566	1,958
<b>ANOVA</b>						
<b>Modelo</b>		<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
1	Regresión	0,048	4	0,012	1,958	,220 <sup>b</sup>
	Residual	0,037	6	0,006		
	Total	0,085	10			
<b>Estadísticos sobre los residuos</b>						
<b>Factores</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>N</b>	
<b>Valor pronosticado</b>	0,069	0,262	0,136	0,0696	11	
<b>Valor pronosticado tip.</b>	-0,969	1,811	0	1	11	
<b>Error típico de valor pronosticado</b>	0,038	0,073	0,052	0,011	11	
<b>Valor pronosticado corregido</b>	0,047	0,265	0,131	0,0712	11	
<b>Residual</b>	-0,1225	0,1377	0	0,0609	11	

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-55), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-finos) con respecto a la variable independiente (temperatura de calefacción del atomizador), para los silos 5, 9 y 4.



**Gráfico 3-55** Regresión parcial de los finos con respecto a la temperatura (tabla 3-53), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

En el presente gráfico (3-56), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-finos) con respecto a la variable independiente (Presión de bombeo de la barbotina al atomizador), para los silos 5, 9 y 4.



**Gráfico 3-56** Regresión parcial de los finos con respecto a la presión de bombeo (tabla 3-53), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

En el presente gráfico (3-57), detalla la significancia entre la variable dependiente estudiada (granulometría-finos) con respecto a la variable independiente (Número de silo), para los silos 5, 9 y 4.



**Gráfico 3-57** Regresión parcial de los finos con respecto al número de silo (tabla 3-53), en el método de regresión lineal múltiple para los silos 5, 9 y 4.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

### *Análisis de resultados Regresión lineal múltiple*

#### Correlación de Pearson (tabla 3-53)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable número de silo con respecto a la variable granulometría en los finos arroja un valor de 0,377. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable número de silo no es significativa con respecto a la variable granulometría en los finos, es decir los valores de la granulometría en los finos para los silos 5, 9 y 4 no dependen solo de la variable número de silo.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable temperatura de calefacción con respecto a la variable granulometría en los finos arroja un valor de 0,172. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable temperatura de calefacción no es significativa con respecto a la variable granulometría en los finos, es decir los valores de la granulometría en los finos para los silos 5, 9 y 4 no dependen solo de la variable temperatura de calefacción.

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, la variable presión de bombeo con respecto a la variable granulometría en los finos arroja un valor de 0,253. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable presión de bombeo no es significativa con respecto a la variable granulometría en los finos, es decir los valores de la granulometría en lo finos para los silos 5, 9 y 4 no dependen solo de la variable presión de bombeo.

### R cuadrado (tabla 3-53)

La variable granulometría en los finos queda explicada en un 56,6 % por las variables independientes temperatura de calefacción, número de silo y presión de bombeo de la barbotina, teniendo que el otro 43,4 % lo explican otras variables o parámetros inherentes al polvo atomizado y que infieren sobre el porcentaje en peso de granulometría en los finos, según el modelo de regresión lineal múltiple con el método introducir.

### ANOVA (tabla 3-53)

De acuerdo con el nivel de significancia del 0,05, las variables independientes temperatura de calefacción, número de silo y presión de bombeo de la barbotina con respecto a la variable granulometría en los finos arrojan un valor de 0,220. Por consiguiente se acepta la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, las variables independientes temperatura de calefacción, número de silo y presión de bombeo de la barbotina no influyen de forma conjunta y lineal con la variable granulometría en los finos.

### Gráfico de regresión parcial

El gráfico 3-55 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la temperatura de calefacción con respecto a la granulometría en los finos, sus residuos no se hallan dispersos y siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-56 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos de la presión de bombeo de la barbotina con respecto a la granulometría en los finos, sus residuos no se hallan dispersos y siguen una tendencia lineal.

El gráfico 3-57 muestra dispersión de la regresión parcial de los residuos, siendo que para los datos del número de silo con respecto a la granulometría en los finos, sus residuos no se hallan dispersos y siguen una tendencia lineal.

1.10.4.2.4. Granulometría vs fisura

**Silo # 5**

En la tabla 3-54 se presentan los pesos para cada malla de tamices, para la determinación de la granulometría del polvo atomizado correspondientes a la descarga del silo 5 en el ensayo final, junto con los parámetros de calidad y defectos presentes en el producto final (Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43x43).

En la mencionada tabla se hallan diferenciados los valores que serán objeto de estudio para ser relacionados con el defecto presentado en el producto final, el cual es fisura (cuadro de color verde). Además se hallan identificados con color celeste los valores en norma y con naranja los valores fuera de norma.

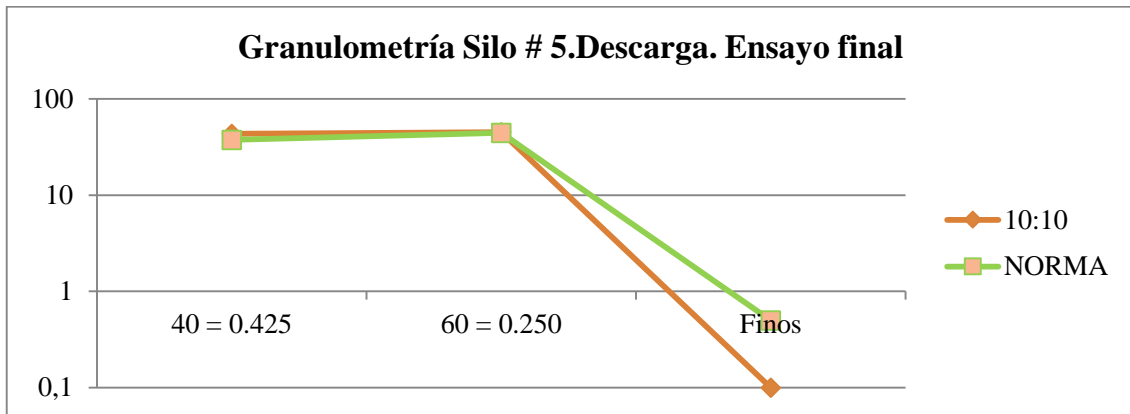
**Tabla 3-54** Granulometría del llenado del silo # 5 para el ensayo final, relacionada con los parámetros de calidad y defectos presentes en el producto final.

Fecha (día/mes/año)	Granulometría/Hor a	8:15	9:15	10:15	11:1 5	12:15
15/12/2017	Malla (mm)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)
<b>SILO (#)</b>	20 = 0.850	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
<b>5</b>	40 = 0.425	26,1	27,8	27,3	28	26,6
<b>Horas de reposo = 24</b>	60 = 0.250	54,5	51,9	53,7	50,5	53,2
	80 = 0.180	8,7	8,9	8,5	9,1	8,6
	100 = 0.150	4,6	4,8	4,5	5	4,8
	200 = 0.075	5,4	5,8	5,5	6,4	5,6
	Finos	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6
<b>Calidad formato (cm)</b>	<b>Producción producto final (m<sup>2</sup>/día)</b>	<b>Product o</b>	<b>Estánda r (%)</b>	<b>Exportació n (%)</b>	<b>Fisura (%)</b>	
43 x 43	3189	Lajas Gris	7	91	0	

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-58), se relacionan la granulometría de las mallas 40, 60 y finos, de la muestra con la cual se hizo el estudio morfológico del silo # 5 para el ensayo final (tabla 3-54. Cuadro de color amarillo), con la granulometría normada por el Laboratorio de Calidad de la empresa Ecuatoriana de Cerámica C. A.



**Gráfico 3-58** Relación entre la granulometría en la descarga del silo # 5 para el ensayo final y la norma de granulometría.

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

#### 1.10.4.2.5. Morfología







Para el análisis de esta variable cualitativa es importante denotar que las imágenes fueron capturadas por un microscopio digital (40 y 100x), y que estas serán analizadas tomando en cuenta la forma del grano, si presentan oquedad, distribución granulométrica y los parámetros funcionales de las lanzas (inyectores de barbotina en el atomizador).

#### **Silo # 5**

En la tabla 3-55 se presentan las imágenes de la morfología del grano del polvo atomizado junto con los parámetros relacionados a la producción del mismo para el llenado y descarga del silo # 5 para el ensayo final. Dichas imágenes han sido capturadas tomando pequeñas porciones de la cantidad en peso determinada de la granulometría de las mallas 40, 60 y finos.

Adicionalmente a esto, también se tabularon los datos correspondientes a la producción, calidad y defectos del producto final Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43 x 43.

**Tabla 3-55** Morfología del llenado y descarga del silo # 5 para el ensayo final, relacionada con los parámetros de calidad y defectos presentes en el producto final.

FECHA (día/mes/año)	MORFOLOGÍA (40x)	LLENADO DEL SILO	DESCARGA DEL SILO
14/12/2017	Malla (mm) / Peso (g)	40 = 0.425 / 43,5	40 = 0.425 / 27,3
<b>SILO</b>	Imagen		
# 5			
<b>PRODUCCIÓN POLVO ATOMIZADO (Kg)</b>			
107771			
<b>DESPERDICIOS (Kg)</b>			
700			
<b>NÚMERO DE LANZAS (#)</b>			
8			
<b>BOQUILLAS (#)</b>			
23	Malla (mm) / Peso (g)	60 = 0.250 / 45,1	60 = 0.250 / 53,7
<b>DIÁMETRO DE PASTILLAS (mm)</b>	Imagen		
2,0 - 2,5			
<b>PRODUCCIÓN PRODUCTO FINAL (m<sup>2</sup>/día)</b>			
3189			
<b>PRODUCTO</b>			
Lajas Gris			
<b>ESTÁNDAR (%)</b>			
7			
<b>EXPORTACIÓN (%)</b>			
91	Malla (mm) / Peso (g)	Finos / 0,1	Finos / 0,4
<b>FISURA (%)</b>	Imagen		
0			
<b>HUMEDAD PROMEDIO (%)</b>			
7,05			

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### *Análisis de Resultados*

El análisis morfológico se empleó en los tres silos 5, 9 y 4, correspondientes al ensayo final haciendo capturas con un microscopio digital al polvo retenido en las mallas 40, 60 y finos en el llenado y descarga de los silos antes mencionados.

En el silo # 5 (tabla 3-55), se puede observar que las imágenes para las mallas 40 y 60, en el llenado del silo, los granos del polvo atomizado presentaron una morfología óptima, es decir, tienen forma esferoidal y oquedad en el centro, lo cual favorece a que el polvo atomizado sea correctamente empaquetado en los moldes para su posterior prensado. En la posición de los finos en la imagen se aprecian granos que aunque pequeños tienen forma esferoidal lo cual sirve para llenar los espacios vacíos a nivel microscópico en el empaquetado del polvo atomizado en el molde.

En lo que concierne a la descarga del silo # 5 las imágenes para las mallas 40, 60 y finos, muestran un grano muy poco destruido y que conserva su forma esferoidal y su oquedad en el centro.



1.10.4.3. *Determinación del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado en los silos y en el recorrido del polvo a las prensas 2000 y 4900 (formato 40x40 y 43x43 respectivamente).*

1.10.4.3.1. *Determinación del rango de pérdida de humedad para los silos*

En este apartado se analizó de manera estadística haciendo uso de la desviación estándar los rangos de pérdida de humedad del polvo atomizado en el llenado y descarga de los silos 5, 9 y 4 para el ensayo final.

En la tabla 3-56 se presentan las humedades correspondientes al llenado y descarga de los silos 5, 9 y 4 para el ensayo final, la cual se utilizó para la determinación del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado, en un día nublado de temperatura y humedad ambiental de 21 ° C y 55 %, respectivamente, en el punto de muestreo respectivo (ver tabla 3-3).

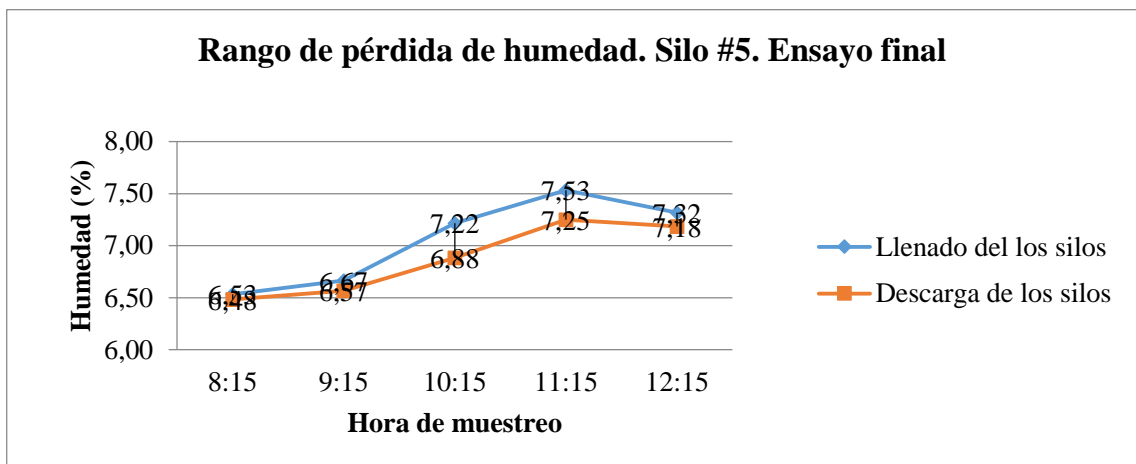
**Tabla 3-56** Resultados obtenidos para la determinación del rango de pérdida de humedad. Ensayo final

Llenado de los silos					Descarga de los silos			
Silo	Fecha	Hora	Promedio	Fecha	Hora	Reposo	Promedio	Rango
#	día/mes/año	hora:mi n	%	día/mes/año	hora:mi n	Horas	%	
5	14/12/2017	8:10	6,53	15/12/2017	8:15	24	6,48	0,05
		9:10	6,67		9:15		6,57	0,10
		10:10	7,22		10:15		6,88	0,33
		11:10	7,53		11:15		7,25	0,28
		12:10	7,32		12:15		7,18	0,13
9	14/12/2017	13:05	7,80	15/12/2017	14:09	24	7,57	0,23
		14:05	7,73		15:09		7,53	0,20
		15:05	7,83		16:09		7,55	0,28
4	14/12/2017	17:06	7,62	15/12/2017	17:16	24	7,38	0,23
		18:06	7,72		18:16		7,47	0,25
		19:06	7,82		19:16		7,57	0,25

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

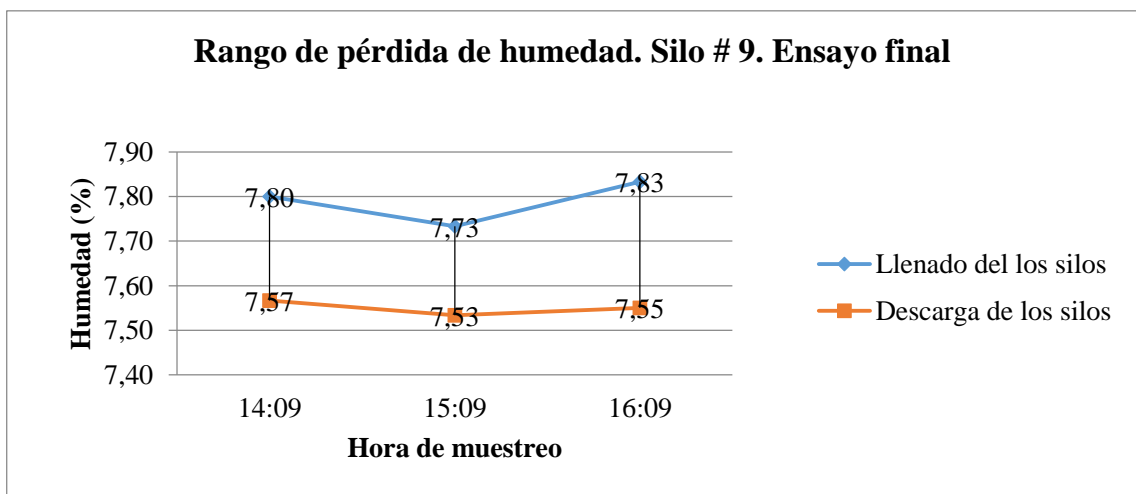
En el presente gráfico (3-59), se relacionan las humedades del llenado y descarga del silo # 5 para el ensayo final, en el mismo se representan los rangos de pérdida de humedad que sufre el polvo atomizado al ingresar y salir del silo mencionado.



**Gráfico 3-59** Rango de pérdida de humedad en el llenado y descarga del silo # 5 para el ensayo final

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

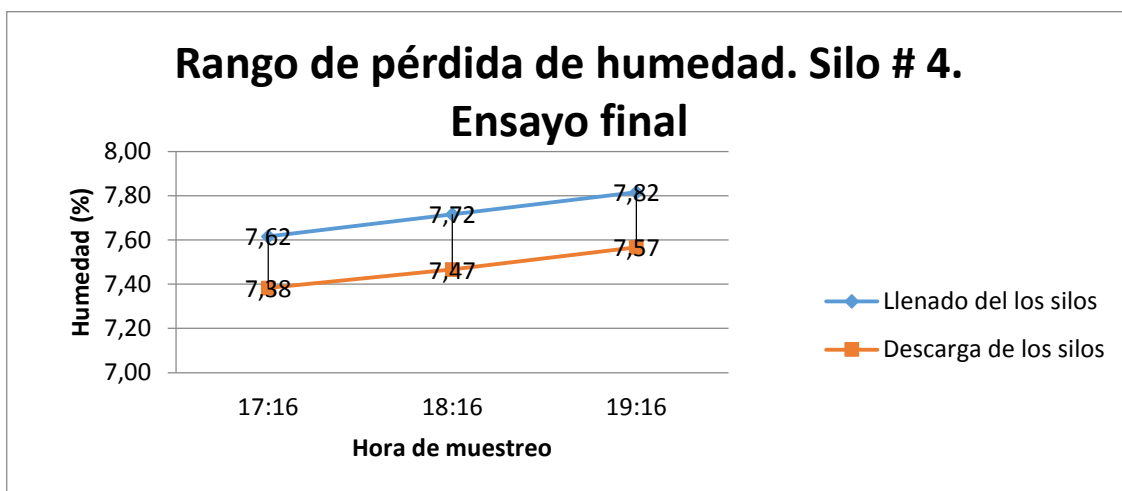
En el presente gráfico (3-60), se relacionan las humedades del llenado y descarga del silo # 9 para el ensayo final, en el mismo se representan los rangos de pérdida de humedad que sufre el polvo atomizado al ingresar y salir del silo mencionado.



**Gráfico 3-60** Rango de pérdida de humedad en el llenado y descarga del silo # 9 para el ensayo final.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

En el presente gráfico (4-61), se relacionan las humedades del llenado y descarga del silo # 4 para el ensayo final, en el mismo se representan los rangos de pérdida de humedad que sufre el polvo atomizado al ingresar y salir del silo mencionado.



**Gráfico 3-61** Rango de pérdida de humedad en el llenado y descarga del silo # 9 para el ensayo final.

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

#### *Estudio estadístico de datos*

En la tabla 3-57 se presentan los resultados estadísticos para la determinación del rango de pérdida de humedad en realización del ensayo final con los silos 5, 9 y 4.

**Tabla 3-57** Resultados estadísticos de la determinación de la pérdida de humedad de los silos 5, 9 y 4. Ensayo final

Silo	Promedio	Desviación	Valor min	Valor máx.
	%			
5	0,18	0,10	0,08	0,28
9	0,24	0,03	0,21	0,27
4	0,24	0,01	0,24	0,25

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

#### *Análisis de resultados estadísticos*

En la tabla 3-57 se puede observar que los valores promediales, mínimos y máximos para el rango de pérdida de humedad del ensayo final silos 5, 9 y 4), están relacionados al número de silo con el cuál se hizo la determinación del rango de humedad, puesto que todos tuvieron un tiempo de reposo de 24 horas. Siendo que los silos 9 y 4 presentaron un rango de pérdida de humedad igual y más alto que el silo # 5, lo cual se atribuye directamente a la capacidad y forma estructural de

los silos, ya que los silos 9 y 4 son cilíndricos y de 40 tt de capacidad a diferencia del silo 5 que es rectangular y de 90 tt de capacidad.

Aunque también es importante destacar que las condiciones ambientales para este experimento puede que hayan influido mucho ya que se efectuó en un día nublado el ensayo final para los tres silos y eso sumado a las horas de reposo genera mayor pérdida de humedad, denotando también que la infraestructura en la fábrica se presta para que se den estas fallas en el polvo atomizado.

1.10.4.3.2. Determinación del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado en el recorrido del polvo a las prensas 2000 y 4900 (formato 40x40 y 43x43 respectivamente).

### **Recorrido prensa 2000 (40x40)**

La tabla 3-58 presenta las humedades día nublado (humedad ambiental 52 y temperatura ambiente 25), determinadas en tres puntos a lo largo del recorrido del polvo atomizado por las bandas transportadoras, desde la descarga de los silos y su mezcla, pasando por la salida de los imanes y terminando en la tolva de la prensa 2000. Ensayo final

**Tabla 3-58** Humedades en el recorrido del polvo atomizado hacia la prensa 2000. Ensayo final

<b>HUMEDADES</b>							
<b>Prensa</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Mezcla de silos</b>	<b>Después de los imanes</b>	<b>Tolva de la prensa</b>	<b>Rango 1</b>	<b>Rango 2</b>
	dia/mes/año	hora:min	%	%	%		
2000	15/12/2017	14:00	7,40	7,32	7,27	0,08	0,05
			7,30	7,30	7,27	0,00	0,03
			7,40	7,37	7,31	0,03	0,06
			7,30	7,26	7,24	0,04	0,02
			7,30	7,27	7,25	0,03	0,02
			7,20	7,20	7,18	0,00	0,02

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### **Resultados estadísticos**

En la tabla 3-59 se presenta los resultados con respecto al estudio estadístico de la determinación del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado en el transporte del mismos desde las mezclas de las descargas de los silos, pasando por la salida de los imanes y terminando en la tolva de la prensa 2000. Ensayo final

**Tabla 3-59** Resultados estadísticos del rango de pérdida de humedad. Prensa 2000.

Factor	Media	Desviación Típica	Valor Máximo	Valor Mínimo
Rango 1	0,03	0,02	0,05	0,01
Rango 2	0,03	0,03	0,07	0,00

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### *Análisis de resultados estadísticos*

En la tabla 3-59 se puede observar que los valores promediales, mínimos y máximos para el rango de pérdida de humedad en el recorrido del polvo atomizado desde la descarga de los silos a la prensa 2000 son bajos. Siendo que el rango de pérdida de humedad del punto mezcla de los silos al punto después de los imanes y de los imanes a la tolva de la prensa es el mismo valor.

### **Recorrido prensa 4900 (43x43)**

La tabla 3-60 presenta las humedades para un día nublado (humedad ambiental 45 y temperatura ambiente 25), determinadas en tres puntos a lo largo del recorrido del polvo atomizado por las bandas transportadoras, desde la descarga de los silos y su mezcla, pasando por la salida de los imanes y terminando en la tolva de la prensa 4900. Ensayo final

**Tabla 3-60** Humedades en el recorrido del polvo atomizado hacia la prensa 4900. Ensayo final

Humedades							
Prensa	Fecha	Hora	Mezcla de silos	Después de los imanes	Tolva de la prensa	Rango 1	Rango 2
	día/mes/año	hora:min	%	%	%		
4900	15/12/2017	8:10	7,30	7,28	7,26	0,02	0,02
			7,30	7,27	7,24	0,03	0,03
			7,30	7,25	7,23	0,05	0,02
			7,20	7,17	7,14	0,03	0,03
			7,30	7,28	7,26	0,02	0,02
			7,50	7,47	7,44	0,03	0,03

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### *Resultados estadísticos*

En la tabla 3-61 se presenta los resultados con respecto al estudio estadístico de la determinación del rango de pérdida de humedad del polvo atomizado en el transporte del mismo desde las

mezclas de las descargas de los silos, pasando por la salida de los imanes y terminando en la tolva de la prensa 4900. Ensayo final

**Tabla 3-61** Resultados estadísticos del rango de pérdida de humedad. Prensa 4900

Factor	Media	Desviación Típica	Valor Máximo	Valor Mínimo
Rango 1	0,03	0,006666667	0,04	0,02
Rango 2	0,02	0,005	0,03	0,02

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### *Análisis de resultados estadísticos*

En la tabla 3-61 se puede observar que los valores promediales, mínimos y máximos para el rango de pérdida de humedad en el recorrido del polvo atomizado desde la descarga de los silos a la prensa 4900 son bajos. Siendo que el rango de pérdida de humedad del punto mezcla de los silos al punto después de los imanes es mayor que el rango presente del punto anterior a la tolva de la prensa, lo cual se debe a que en el primer trayecto se tiene mayor incidencia de las condiciones ambientales.

#### **1.11. Prueba de hipótesis**

Las hipótesis planteadas se comprobaron por medio del modelo estadístico de Regresión Lineal Múltiple bajo el análisis de del método introducir y correlación de Pearson con el software IBM SPSS, y la comparación de las variables de calidad con el Manual del Sistema de Gestión de Calidad C. A. Ecuatoriana de Cerámica. EC.LA.8.2.4.M01

##### **1.11.1. Hipótesis 1**

- Mediante la estandarización del método de determinación de humedad del polvo atomizado se asegurará que los operadores del equipo de atomización y los auditores de calidad del polvo atomizado guarden estrecha similitud en sus datos para así tomar decisiones acertadas en cuanto al envío del polvo a las prensas y eliminar las fluctuaciones en los valores de humedad recabados.

La hipótesis antes mencionada se comprobó, comparando el método de determinación de humedad empleado por el operador del atomizador (analista 1) y el método de determinación de humedad propuesto por el tesista (analista 2), también se empleó el análisis de regresión lineal

múltiple para obtener el porcentaje de correlación de Pearson, mediante el cual se buscó hallar significancia entre los valores de humedad en el llenado de los silos frente al tipo de analista (método de determinación de humedad).

*1.11.1.1. Comparación de los métodos empleados para la determinación de humedad del polvo atomizado.*

En la tabla 3-62 se muestra la comparación entre el método de determinación de humedad empleado por el operador del atomizador (analista 1) y el método de determinación de humedad propuesto por el tesista (analista 2), en esta tabla se puede observar a simple vista como ambos métodos difieren de forma protocolar para la determinación de humedad y a su vez se puede ver también el grado de veracidad que genera cada método en cuanto a la homogenización de la muestra.

**Tabla 3-62** Comparación entre los métodos de determinación de humedad

<b>Estandarización del método de determinación de humedad</b>			
<b>Método propuesto por el tesista</b>		<b>Método empleado por el operador del equipo de atomización</b>	
Frecuencia	6 humedades por hora y por muestra	Frecuencia	1 humedad cada media hora
Recipiente	Rectangular de dimensiones (36x15cm)	Número de lanzas	Cilíndrico (tarrina) de dimensiones
Norma	7,4 – 7,8	Norma	7,4 – 7,8
Tiempo de secado	Dos muestras cada 15 minutos (se emplean dos lámparas)	Tiempo de secado	Una muestras cada 15 minutos (se emplea una lámpara)
Procedimiento de toma de muestra	Se toma el recipiente, se pasa a lo largo y ancho de la banda y luego se homogeniza el polvo atomizado pasando tres veces el recipiente en forma diagonal al ancho de la banda.	Procedimiento de toma de muestra	Se toma el recipiente, se pasa a lo largo y ancho de la banda y luego se homogeniza el polvo atomizado pasando tres veces el recipiente en forma diagonal al ancho de la banda.
Tratamiento de muestra	Se almacena la muestra en bolsas de plástico de 5 lb de capacidad para conservar su humedad, de lo cual 2lb son introducidas en la misma por muestra tomada,	Tratamiento de muestra	No se realiza, debido a que la muestra es desechada después de efectuar el análisis granulométrico.

	permitiendo así su utilización en pruebas y análisis posteriores.		
--	---	--	--

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### 1.11.1.2. Análisis de correlación de Pearson

El resumen de los resultados de correlación de Pearson para cada ensayo efectuado con los silos 5, 9 y silos aleatorios (11, 12 y 4), se detallan a continuación en la tabla 3-63. En esta tabla se presentan los niveles de significancia entre las humedades del polvo atomizado determinadas por el operador del equipo de atomización chino (Monoquema- Gres rojo), en la empresa C. A. Ecuatoriana de Cerámica y las humedades del polvo atomizado determinadas por el testista proponente de un método de determinación de humedad mejorado.

**Tabla 3-63** Resumen de resultados de los porcentajes de correlación de Pearson para la estandarización del método de determinación de humedad del polvo atomizado.

Estandarización del método de determinación de humedad					
Número de Silo	Ensayo	Porcentaje de correlación	Desigualdad	Nivel de significancia	Resultado
#	#	%		%	
5	1	7,8	>	5	No hay relación de dependencia
	2	43,1	>	5	No hay relación de dependencia
	3	8,9	>	5	No hay relación de dependencia
9	1	4	<	5	Si hay relación de dependencia
	2	61,7	>	5	No hay relación de dependencia
	3	34,6	>	5	No hay relación de dependencia
11	Silos aleatorios	30,5	>	5	No hay relación de dependencia
12	Silos aleatorios	18,6	>	5	No hay relación de dependencia
4	Silos aleatorios	34,6	>	5	No hay relación de dependencia
<b>H<sup>0</sup> = Los valores humedad con respecto al analista no son significativos.</b>			<b>H<sup>1</sup> = Los valores humedad con respecto al analista si son significativos.</b>		
Si el % de correlación de Pearson es mayor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>			Si él % de correlación de Pearson es menor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>		
Para el silo # 9 en el ensayo 1 se presentó significancia, es decir las humedades depende del método de determinación de humedad para el polvo atomizado.					

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)



Silo 9. Ensayo # 1. En la tabla 3-64, se presentan los valores de los porcentajes de humedad determinados por el tesista y por el operador, donde se ve claramente como los datos del tesista son mucho más acercados a la realidad, puesto que se determinan seis valores de humedad por hora y la muestra es tomada con un recipiente de dimensiones (36x15cm), que recubren toda el área por la cual se transporta el polvo atomizado, por lo cual sus promedios dan como resultado valores más exactos, reales y libres de fluctuaciones, a diferencia del operador que determina un valor de humedad cada media hora y toma la muestra con un recipiente de dimensiones (10 cm de radio y 15 de altura), que no recubre el área total por la cual el polvo atomizado es transportado en la banda, de este hecho se puede afirmar la veracidad es baja, debido a que un solo valor de humedad cada media hora no representa la humedad real del polvo atomizado.

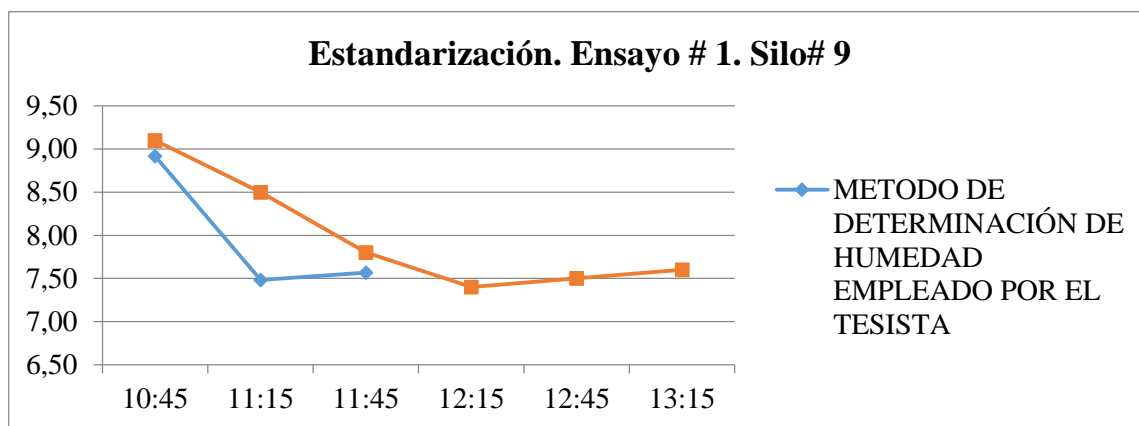
**Tabla 3-64** Resultados obtenidos para la estandarización del método de determinación de humedad. Ensayo # 1. Silo # 9

Fecha	Método de determinación de humedad empleado por el Tesista							Método de determinación de humedad empleado por el operador				
	Promedio: 8.0							Promedio: 8.0				
Día/mes/año	Hora	Humedad (%)						Promedio	Hora	Humedad (%)	Hora	Humedad (%)
27/09/2017	hora: min	L-2	L-3	L-2	L-3	L-2	L-3	%	hora: min	L-4	hora: min	L-4
<b>SILO # 9</b>	10:45	9.2	8.9	8.7	8.9	9.1	8.7	8.92	10:45	9.1	12:15	7.4
	11:45	7.4	7.3	7.6	7.2	7.7	7.7	7.48	11:15	8.5	12:45	7.5
	12:45	7.5	7.4	7.8	7.7	7.3	7.7	7.57	11:45	7.8	13:15	7.6
<b>Correlación (%)</b>	<b>Desigualdad</b>	<b>Nivel de significancia (%)</b>		<b>Observación</b>				<b>Resultado</b>				
4	<	5		Se rechaza $H^0$ y se acepta $H^1$				Los valores de humedad dependen del método para la determinación de humedad empleado por cada analista				

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En el presente gráfico (3-62), se relacionan las humedades y las horas de toma de muestra correspondientes al llenado del silo 9 (ensayo #1), también se representa esquemáticamente la diferencia entre el método de determinación de humedad empleado por el Tesista y el método empleado por el operador.



**Gráfico 3-62** Estandarización del método de humedad. Ensayo # 1. Silo # 9

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

Con el estudio de las humedades tomadas por el tesista proponente y el operador se logró conocer lo importante e imperativo que es estandarizar el método de humedad para así obtener valores más cercanos a la humedad real del polvo y tomar decisiones acertadas acerca del envío del polvo a la prensa para la fabricación del producto final.

**Nota:** El manual del método de humedad estandarizado se halla en el capítulo # 5 (propuesta), debido a que este método no ha sido aún implementado en la empresa.

### 1.11.2. Hipótesis 2

- Efectuando un análisis de las variables que intervienen en el proceso de atomización se logrará determinar los valores a los cuales el proceso de atomización debe operar para que el polvo atomizado sea el óptimo, y así eliminar las fallas presentes en el producto (Gres Rojo- Revestimiento para pisos cerámicos).

Mediante el análisis de regresión lineal múltiple se pudo obtener el porcentaje de correlación de Pearson, el R cuadrado y el análisis ANOVA de los datos recabados. Es importante aclarar que para el análisis de las variables que interviene en el proceso se tomó como variables dependientes la humedad, granulometría y morfología del polvo atomizado.

1.11.2.1. Humedad

1.11.2.1.1. Humedad vs temperatura

El resumen de los resultados de correlación de Pearson, R cuadrado y ANOVA para cada ensayo efectuado con los silos 5, 9 y silos aleatorios (11, 12 y 4), se detallan a continuación en la tabla 3-65. En esta tabla se presentan los niveles de significancia y porcentajes de dependencia entre las humedades del polvo atomizado en el llenado de los silos, frente a las temperaturas de calefacción con las cuales se seca la barbotina en el atomizador y se genera el polvo.

**Tabla 3-65** Resumen de resultados estadísticos para la relación entre la variable humedad de llenado de los silos y la temperatura de calefacción.

<b>Correlación de Pearson</b>				
<b>Número de Silo</b>	<b>Porcentaje de correlación</b>	<b>Desigualdad</b>	<b>Nivel de significancia</b>	<b>Resultado</b>
#	%		%	
5	8,6	>	5	No hay relación de dependencia
9	37,3	>	5	No hay relación de dependencia
Silos aleatorios	1,7	<	5	Si hay relación de dependencia
<b>H<sup>0</sup></b> = Los valores humedad con respecto a la temperatura de calefacción <b>no son significativos.</b>			<b>H<sup>1</sup></b> = Los valores humedad con respecto a la temperatura de calefacción <b>si son significativos.</b>	
Si él % de correlación de Pearson es mayor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>			Si él % de correlación de Pearson es menor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>	
Para el ensayo efectuado con silos aleatorios se presentó significancia, es decir las humedades del llenado de los silos depende de la temperatura de calefacción.				
<b>R cuadrado</b>				
<b>Número de Silo</b>	<b>Razón de dependencia</b>	<b>Resultado</b>		
#	%			
5	55,6	La variable humedad queda explicada en un 58,60 % por la variable temperatura de calefacción		
9	34,3	La variable humedad queda explicada en un 34,3 % por la variable temperatura de calefacción		
Silos aleatorios	3,1	La variable humedad queda explicada en un 3,1 % por la variable temperatura de calefacción		
<b>R cuadrado</b> debe sobrepasar el <b>80 %</b> , para que una variable “a” pueda ser <b>explicada</b> en su mayoría por otra variable “b”. Lo cual no ocurrió para ninguno de los silos sometidos a ensayos.				
<b>ANOVA</b>				
<b>Número de Silo</b>	<b>Porcentaje de correlación</b>	<b>Desigualdad</b>	<b>Nivel de significancia</b>	<b>Resultado</b>
#	%		%	
5	5	>	5	No hay significancia
9	28,4	>	5	No hay significancia

Silos aleatorios	98,2	>	5	No hay significancia
<b>H<sup>0</sup></b> = Los valores humedad con respecto a la temperatura de calefacción <b>no son significativos.</b>			<b>H<sup>1</sup></b> = Los valores humedad con respecto a la temperatura de calefacción <b>si son significativos.</b>	
Si él % de correlación de Pearson es mayor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>			Si él % de correlación de Pearson es menor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>	
En ninguno de los silos estudiados se rechazó la <b>H<sup>0</sup></b> , por lo tanto la variable temperatura de calefacción no influye de forma conjunta y lineal con la variable humedad promedial				

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 3-65 a pesar de que para el ensayo efectuado con silos aleatorios se obtuvo un porcentaje de correlación que cumple con la condición del nivel de significancia, el R cuadrado y el ANOVA no cumplieron con la condición por esta razón y porque para ninguno de los otros ensayos ( silo 5 y 9), se obtuvieron resultados satisfactorios que demuestren la relación de dependencia de las humedades al llenado del silo frente a la temperatura de calefacción, se puede decir que esta última no influye directamente en los valores de humedad.

#### 1.11.2.1.2. Humedad vs fisura

El resumen de los resultados de correlación de Pearson, R cuadrado y ANOVA para cada ensayo efectuado con los silos 5, 9 y silos aleatorios (11, 12 y 4), se detallan a continuación en la tabla 3-66. En esta tabla se presentan los niveles de significancia y porcentajes de dependencia entre las humedades del polvo atomizado en el llenado de los silos, frente al porcentaje de fisura que presenta el producto final: Gres rojo – Monoquema, revestimientos de pisos cerámicos brillantes, formato 43x43.

**Tabla 3-66** Resumen de resultados estadísticos para la relación entre la variable porcentaje fisura y la humedad en la descarga de los silos

<b>Correlación de Pearson</b>				
<b>Número de Silo</b>	<b>Porcentaje de correlación</b>	<b>Desigualdad</b>	<b>Nivel de significancia</b>	<b>Resultado</b>
#	%		%	
5	82,3	>	5	No hay relación de dependencia
9	20,6	>	5	No hay relación de dependencia
Silos aleatorios	84,1	>	5	No hay relación de dependencia
<b>H<sup>0</sup></b> = Los valores humedad con respecto al porcentaje de fisura <b>no son significativos.</b>			<b>H<sup>1</sup></b> = Los valores humedad con respecto al porcentaje de fisura <b>si son significativos.</b>	
Si él % de correlación de Pearson es mayor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>			Si él % de correlación de Pearson es menor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>	

Para ninguno de los silos hubo un nivel de significancia que permitirá rechazar la hipótesis nula ( $H^0$ )				
<b>R cuadrado</b>				
Número de Silo	Razón de dependencia	Resultado		
#	%			
5	67,8	La variable fisura queda explicada en un 67,8 % por la variable humedad promedial de descarga		
9	4,3	La variable fisura queda explicada en un 4,3 % por la variable humedad promedial de descarga		
Silos aleatorios	95,5	La variable fisura queda explicada en un 95,5 % por la variable humedad promedial de descarga		
<b>R cuadrado</b> debe sobrepasar el <b>80 %</b> , para que una variable “a” pueda ser <b>explicada</b> en su mayoría por otra variable “b”. Lo cual ocurrió en los ensayos efectuados para los silos aleatorios.				
<b>ANOVA</b>				
Número de Silo	Porcentaje de correlación	Desigualdad	Nivel de significancia	Resultado
#	%		%	
5	0,0	<	5	Si hay significancia
9	59,5	>	5	No hay significancia
Silos aleatorios	0,0	<	5	Si hay significancia
<b>H<sup>0</sup></b> = Los valores humedad con respecto al porcentaje de fisura <b>no son significativos.</b>			<b>H<sup>1</sup></b> = Los valores humedad con respecto al porcentaje de fisura <b>si son significativos.</b>	
Si él % de correlación de Pearson es mayor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>			Si él % de correlación de Pearson es menor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>	
Se rechaza la hipótesis nula ( $H^0$ ), teniendo que, la variable humedad promedio de descarga influye de forma conjunta y lineal con la variable fisura, para el ensayo efectuado con el silo 5 y con los silos aleatorios.				

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 3-66 se obtuvieron tres resultados favorables; el primero para los silos aleatorios con un R cuadrado de 95,5 %, lo cual sugiere que el porcentaje de fisura queda explicado casi en su totalidad por el porcentaje de humedad en la descarga de los silos (11, 12 y 4); el segundo para el silo 5 con un ANOVA de 0,000, lo cual dictamina que la variable humedad promedio de descarga influye de forma conjunta y lineal con la variable fisura; y el tercero para los silos aleatorios con un ANOVA de 0,000, lo cual dictamina que la variable humedad promedio de descarga influye de forma conjunta y lineal con la variable fisura.

De lo anterior emana la afirmación de que el producto final (Gres rojo – Monoquema, revestimientos de pisos cerámicos brillantes, formato 43x43), se ve afectado por el defecto de fisura cuando la humedad en la descarga de los silos no entra en la norma preestablecida por el departamento de calidad de la empresa C. A. Ecuatoriana de Cerámica, aunque no en su totalidad, debido a que hay otros factores involucrados que al estar fuera norma favorecen al apareamiento de fisura.

En las tablas 3-67 y 3-68 se muestran los porcentajes humedad en la descarga, que están dentro y fuera de norma (celeste dentro de norma y naranja fuera de norma), relacionados con los valores de fisura con respecto a los ensayos del silo # 5 y los silos aleatorios.

**Tabla 3-67** Relación del porcentaje de fisura en el producto final con los porcentajes de humedad en la descarga del silo # 5. Ensayos 1, 2 y 3.

Silo	Ensayo	Humedad promedial					Fisura	Producto	Estándar (%)	Exportación (%)
		%	%	%	%	%				
5	1	7	6,87	6,9	6,75	6,82	1	Pietra Levante	1	98
	2	7,72	7,72	7,93	7,52	7,48	6	Castaña Duela	24	61
	3	7,37	7,25	7,3	7,23	7,22	6	Marrol Spot	20	75

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

**Tabla 3-68** Relación del porcentaje de fisura en el producto final con los porcentajes de humedad en la descarga de los silos aleatorios (11, 12 y 4).

Silo	Ensayo	Humedad promedial			Fisura	Producto	Estándar (%)	Exportación (%)
		%	%	%				
Aleatorios	11	7,75	7,72	7,82	18	Cataluña Pino	12	86
	12	7,17	7,53	7,28	12	Tablilla Nogal	28	68
	4	7,2	7,2	7,25	3	Cataluña Roble	19	63

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### 1.11.2.2. Granulometría

#### 1.11.2.2.1. Granulometría vs temperatura de calefacción-viscosidad de barbotina-presión de bombeo de barbotina.

El resumen de los resultados de correlación de Pearson, R cuadrado y ANOVA para cada ensayo efectuado con los silos 5, 9 y silos aleatorios (11, 12 y 4), se detallan a continuación en las tablas 3-69; 3-70; y 3-71. En estas tablas se presentan los niveles de significancia y porcentajes de dependencia entre la granulometría de las mallas 40, 60 y finos en el llenado de los silos, frente a las temperaturas de calefacción, la viscosidad de la barbotina y la presión de bombeo de la barbotina, respectivamente para cada malla.

**Malla 40**

**Tabla 3-69** Resumen de resultados. Relación entre la granulometría de la malla 40 con respecto a la temperatura-viscosidad- presión. Para los silos 5, 9 y silos aleatorios

Correlación de Pearson					
Número de Silo	Parámetro	Porcentaje de correlación	Desigualdad	Nivel de significancia	Resultado
#		%		%	
5	Temperatura de calefacción	78,2	>	5	No hay relación de dependencia
	Viscosidad	23,7	>	5	No hay relación de dependencia
	Presión de bombeo	70,1	>	5	No hay relación de dependencia
9	Temperatura de calefacción	41,3	>	5	No hay relación de dependencia
	Viscosidad	20,2	>	5	No hay relación de dependencia
	Presión de bombeo	Cte	>	5	No hay relación de dependencia
Silos aleatorios	Temperatura de calefacción	82,5	>	5	No hay relación de dependencia
	Viscosidad	75,8	>	5	No hay relación de dependencia
	Presión de bombeo	79,2	>	5	No hay relación de dependencia
<b>H<sup>0</sup></b> = Los valores de temperatura, viscosidad y presión con respecto a la granulometría de la malla 40 <b>no son significativos.</b>			<b>H<sup>1</sup></b> = Los valores de temperatura, viscosidad y presión con respecto a la granulometría de la malla 40 <b>si son significativos.</b>		
Si él % de correlación de Pearson es mayor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>			Si él % de correlación de Pearson es menor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>		
Para ninguno de los silos hubo un nivel de significancia que permitirá rechazar la hipótesis nula ( <b>H<sup>0</sup></b> )					
R cuadrado					
Número de Silo	Razón de dependencia	Resultado			
#	%				
5	70,3	La variable Granulometría malla 40 queda explicada en un 70,3 % por las variables temperatura de calefacción-viscosidad y presión.			
9	27,3	La variable Granulometría malla 40 queda explicada en un 27,3 % por las variables temperatura de calefacción-viscosidad y presión.			
Silos aleatorios	85,2	La variable Granulometría malla 40 queda explicada en un 85,2 % por las variables temperatura de calefacción-viscosidad y presión.			
<b>R cuadrado</b> debe sobrepasar el <b>80 %</b> , para que una variable “a” pueda ser <b>explicada</b> en su mayoría por otra variable “b”. Lo cual ocurrió en los ensayos efectuados para los silos aleatorios.					
ANOVA					

Número de Silo	Porcentaje de correlación	Desigualdad	Nivel de significancia	Resultado
#	%		%	
5	1	<	5	Si hay relación de dependencia
9	81,7	>	5	No hay relación de dependencia
Silos aleatorios	5,9	>	5	No hay relación de dependencia
<b>H<sup>0</sup></b> = Los valores de temperatura, viscosidad y presión con respecto a la granulometría de la malla 40 <b>no son significativos.</b>		<b>H<sup>1</sup></b> = Los valores de temperatura, viscosidad y presión con respecto a la granulometría de la malla 40 <b>si son significativos.</b>		
Si él % de correlación de Pearson es mayor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>		Si él % de correlación de Pearson es menor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>		
Se rechaza la hipótesis nula (H <sup>0</sup> ), teniendo que, las variables temperatura, viscosidad y presión influyen de forma conjunta y lineal con la variable granulometría de la malla 40, para el ensayo efectuado con el silo 5.				

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

## Malla 60

**Tabla 3-70** Resumen de resultados. Relación entre la granulometría de la malla 60 con respecto a la temperatura-viscosidad- presión. Para los silos 5, 9 y silos aleatorios

Correlación de Pearson					
Número de Silo	Parámetro	Porcentaje de correlación	Desigualdad	Nivel de significancia	Resultado
#		%		%	
5	Temperatura de calefacción	63,4	>	5	No hay relación de dependencia
	Viscosidad	2,9	>	5	No hay relación de dependencia
	Presión de bombeo	49,6	>	5	No hay relación de dependencia
9	Temperatura de calefacción	8	>	5	No hay relación de dependencia
	Viscosidad	17,5	>	5	No hay relación de dependencia
	Presión de bombeo	Cte	>	5	No hay relación de dependencia
Silos aleatorios	Temperatura de calefacción	29,3	>	5	No hay relación de dependencia
	Viscosidad	43,7	>	5	No hay relación de dependencia
	Presión de bombeo	27,7	>	5	No hay relación de dependencia



<b>H<sup>0</sup></b> = Los valores de temperatura, viscosidad y presión con respecto a la granulometría de la malla 60 <b>no son significativos.</b>		<b>H<sup>1</sup></b> = Los valores de temperatura, viscosidad y presión con respecto a la granulometría de la malla 60 <b>si son significativos.</b>		
Si él % de correlación de Pearson es mayor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>		Si él % de correlación de Pearson es menor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>		
Para ninguno de los silos hubo un nivel de significancia que permitirá rechazar la hipótesis nula ( <b>H<sup>0</sup></b> )				
<b>R cuadrado</b>				
Número de Silo	Razón de dependencia	Resultado		
#	%			
5	71,1	La variable Granulometría malla 60 queda explicada en un 71,1 % por las variables temperatura de calefacción-viscosidad y presión.		
9	70,6	La variable Granulometría malla 60 queda explicada en un 70,6 % por las variables temperatura de calefacción-viscosidad y presión.		
Silos aleatorios	56,3	La variable Granulometría malla 60 queda explicada en un 56,3 % por las variables temperatura de calefacción-viscosidad y presión.		
<b>R cuadrado</b> debe sobrepasar el <b>80 %</b> , para que una variable “a” pueda ser <b>explicada</b> en su mayoría por otra variable “b”. Lo cual no ocurrió para ninguno de los silos.				
ANOVA				
Número de Silo	Porcentaje de correlación	Desigualdad	Nivel de significancia	Resultado
#	%		%	
5	0,9	<	5	Si hay relación de dependencia
9	20,9	>	5	No hay relación de dependencia
Silos aleatorios	40,5	>	5	No hay relación de dependencia
<b>H<sup>0</sup></b> = Los valores de temperatura, viscosidad y presión con respecto a la granulometría de la malla 60 <b>no son significativos.</b>		<b>H<sup>1</sup></b> = Los valores de temperatura, viscosidad y presión con respecto a la granulometría de la malla 60 <b>si son significativos.</b>		
Si él % de correlación de Pearson es mayor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>		Si él % de correlación de Pearson es menor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>		
Se rechaza la hipótesis nula ( <b>H<sup>0</sup></b> ), teniendo que, las variables temperatura, viscosidad y presión influyen de forma conjunta y lineal con la variable granulometría de la malla 60, para el ensayo efectuado con el silo 5.				

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

## Finos

**Tabla 3-71** Resumen de resultados. Relación entre la granulometría de la malla 40 con respecto a la temperatura-viscosidad- presión. Para los silos 5, 9 y silos aleatorios

Correlación de Pearson					
Número de Silo	Parámetro	Porcentaje de correlación	Desigualdad	Nivel de significancia	Resultado
#		%		%	
5	Temperatura de calefacción	32,0	>	5	No hay relación de dependencia
	Viscosidad	71,0	>	5	No hay relación de dependencia
	Presión de bombeo	33,0	>	5	No hay relación de dependencia
9	Temperatura de calefacción	76,2	>	5	No hay relación de dependencia
	Viscosidad	16,0	>	5	No hay relación de dependencia
	Presión de bombeo	Cte	>	5	No hay relación de dependencia
Silos aleatorios	Temperatura de calefacción	76,1	>	5	No hay relación de dependencia
	Viscosidad	79,5	>	5	No hay relación de dependencia
	Presión de bombeo	48,0	>	5	No hay relación de dependencia
<b>H<sup>0</sup></b> = Los valores de temperatura, viscosidad y presión con respecto a la granulometría de los finos <b>no son significativos.</b>			<b>H<sup>1</sup></b> = Los valores de temperatura, viscosidad y presión con respecto a la granulometría de los finos <b>si son significativos.</b>		
Si él % de correlación de Pearson es mayor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>			Si él % de correlación de Pearson es menor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>		
Para ninguno de los silos hubo un nivel de significancia que permitirá rechazar la hipótesis nula ( <b>H<sup>0</sup></b> )					
R cuadrado					
Número de Silo	Razón de dependencia	Resultado			
#	%				
5	51,9	La variable Granulometría finos queda explicada en un 70,3 % por las variables temperatura de calefacción-viscosidad y presión.			
9	73,4	La variable Granulometría finos queda explicada en un 27,3 % por las variables temperatura de calefacción-viscosidad y presión.			
Silos aleatorios	66,6	La variable Granulometría finos queda explicada en un 85,2 % por las variables temperatura de calefacción-viscosidad y presión.			
<b>R cuadrado</b> debe sobrepasar el <b>80 %</b> , para que una variable “a” pueda ser <b>explicada</b> en su mayoría por otra variable “b”. Lo cual no ocurrió para ninguno de los silos.					

ANOVA				
Número de Silo	Porcentaje de correlación	Desigualdad	Nivel de significancia	Resultado
#	%		%	
5	9,3	>	5	Si hay relación de dependencia
9	17,4	>	5	No hay relación de dependencia
Silos aleatorios	26,1	>	5	No hay relación de dependencia
<b>H<sup>0</sup></b> = Los valores de temperatura, viscosidad y presión con respecto a la granulometría de los finos <b>no son significativos.</b>		<b>H<sup>1</sup></b> = Los valores de temperatura, viscosidad y presión con respecto a la granulometría de los finos <b>si son significativos.</b>		
Si él % de correlación de Pearson es mayor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>		Si él % de correlación de Pearson es menor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>		
Se rechaza la hipótesis nula (H <sup>0</sup> ), teniendo que, las variables temperatura, viscosidad y presión no influyen de forma conjunta y lineal con la variable granulometría de los finos, debido a que ninguno de los silos presento valores del ANOVA menores al 5%.				

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 3-69, se identificaron dos valores favorables: el primero para los silos aleatorios con un R cuadrado de 85,2 %, lo cual sugiere que la granulometría de la malla 40 queda explicado casi en su totalidad por las variables temperatura de calefacción, viscosidad de la barbotina y presión de bombeo de la barbotina al atomizador para los silos (11, 12 y 4); el segundo para el silo 5 con un ANOVA del 1 %, lo cual dictamina que las variables temperatura de calefacción, viscosidad de la barbotina y presión de bombeo de la barbotina al atomizador influye de forma conjunta y lineal con la granulometría de la malla 40.

En la tabla 3-70, se identificó un valor favorable: para el silo 5 con un ANOVA de 0,9 %, lo cual dictamina que las variables temperatura de calefacción, viscosidad de la barbotina y presión de bombeo de la barbotina al atomizador influye de forma conjunta y lineal con la granulometría de la malla 60.

En la tabla 3-71, no se identificaron valores favorables por lo cual se puede decir que los finos no son influenciados de manera conjunta por las variables temperatura de calefacción, viscosidad de la barbotina y presión de bombeo de la barbotina al atomizador, sino por otros parámetros inherentes a la producción del polvo atomizado.

En las tablas 3-72 y 3-73 se muestran las granulometría correspondiente a la malla 40, que están dentro y fuera de norma (celeste dentro de norma y naranja fuera de norma), relacionados con los

valores de temperatura de calefacción, viscosidad de la barbotina y presión de bombeo de la barbotina al atomizador, con respecto a los ensayos del silo # 5 y los silos aleatorios.

**Tabla 3-72** Relación de la granulometría correspondiente a la malla 40 y valores de temperatura, viscosidad y presión de bombeo del silo # 5. Ensayos 1, 2 y 3.

Ensayo	Malla 40 = 0.425/ peso (g)					Presión (bar)	Temperatura de calefacción (°C)					Viscosidad
	1	35,1	39,7	38,8	35,5		39	19	757	757	758	
2	45	46	43,5	43	43,3	19	779	761	764	768	758	65
3	45,3	26,1	26,8	25,8	22,9	20	721	718	716	709	709	67

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

**Tabla 3-73** Relación de la granulometría correspondiente a la malla 40 y valores de temperatura, viscosidad y presión de bombeo de los silos aleatorios.

Silo	Malla 40 = 0.425/ peso (g)			Presión (bar)	Temperatura de calefacción (°C)			Viscosidad
	11	32,5	28,4		33,2	20	720	
12	34,4	37,3	35,2	19	730	733	730	50
4	26,2	25,7	28,9	20	714	714	714	67

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En las tablas 3-74 se muestran la granulometría correspondiente a la malla 60, que están dentro y fuera de norma (celeste dentro de norma y naranja fuera de norma), relacionados con los valores de temperatura de calefacción, viscosidad de la barbotina y presión de bombeo de la barbotina al atomizador, con respecto a los ensayos del silo # 5.

**Tabla 3-74** Relación de la granulometría correspondiente a la malla 60 y valores de temperatura, viscosidad y presión de bombeo del silo # 5. Ensayos 1, 2 y 3.

Ensayo	Malla 60 = 0.250/ peso (g)					Presión (bar)	Temperatura de calefacción (°C)					Viscosidad
	1	42,9	43,4	44,4	41,4		44,3	19	757	757	758	
2	38,4	38,2	35,2	39,1	41,6	19	779	761	764	768	758	65
3	38,4	44,5	44,6	46,2	50,6	20	721	718	716	709	709	67

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### 1.11.2.2.2. Granulometría vs fisura

El resumen de los resultados de correlación de Pearson, R cuadrado y ANOVA para cada ensayo efectuado con los silos 5, 9 y silos aleatorios (11, 12 y 4), se detallan a continuación en la tabla 3-75. En esta tabla se presentan los niveles de significancia y porcentajes de dependencia entre la granulometría de las mallas 40, 60 y finos en la descarga de los silos, frente al porcentaje de fisura que presenta el producto final: Gres rojo – Monoquema, revestimientos de pisos cerámicos brillantes, formato 43x43.

**Tabla 3-75** Resumen de resultados de la relación entre la granulometría de las mallas 40, 60 y finos con respecto al porcentaje de fisura que presenta el producto final

Correlación de Pearson					
Número de Silo	Parámetro	Porcentaje de correlación	Desigualdad	Nivel de significancia	Resultado
#		%		%	
5	Malla 40	50,9	>	5	No hay relación de dependencia
	Malla 60	50,5	>	5	No hay relación de dependencia
	Finos	5,5	>	5	No hay relación de dependencia
9	Malla 40	40,9	>	5	No hay relación de dependencia
	Malla 60	5,9	>	5	No hay relación de dependencia
	Finos	45,2	>	5	No hay relación de dependencia
Silos aleatorios	Malla 40	30,2	>	5	No hay relación de dependencia
	Malla 60	26,7	>	5	No hay relación de dependencia
	Finos	19,5	>	5	No hay relación de dependencia
<b>H<sup>0</sup></b> = Los valores la granulometría de las mallas 40, 60 y finos con respecto al porcentaje de fisura <b>no son significativos.</b>			<b>H<sup>1</sup></b> = Los valores la granulometría de las mallas 40, 60 y finos con respecto al porcentaje de fisura <b>si son significativos.</b>		
Si él % de correlación de Pearson es mayor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>			Si él % de correlación de Pearson es menor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>		
Para ninguno de los silos hubo un nivel de significancia que permitirá rechazar la hipótesis nula ( <b>H<sup>0</sup></b> )					
R cuadrado					
Número de Silo	Razón de dependencia		Resultado		
#	%				
5	93,5		La variable porcentaje de fisura queda explicada en un 93,5 % por las variables granulometría de las mallas 40, 60 y finos.		

9	61,9	La variable porcentaje de fisura queda explicada en un 61,9 % por las variables granulometría de las mallas 40, 60 y finos.		
Silos aleatorios	99,6	La variable porcentaje de fisura queda explicada en un 99,6 % por las variables granulometría de las mallas 40, 60 y finos.		
<b>R cuadrado</b> debe sobrepasar el <b>80 %</b> , para que una variable “a” pueda ser <b>explicada</b> en su mayoría por otra variable “b”. Lo cual ocurrió para el silo # 5 y los silos aleatorios.				
ANOVA				
Número de Silo	Porcentaje de correlación	Desigualdad	Nivel de significancia	Resultado
#	%		%	
5	0,000	<	5	Si hay relación de dependencia
9	54,4	>	5	No hay relación de dependencia
Silos aleatorios	1,0	<	5	Si hay relación de dependencia
<b>H<sup>0</sup></b> = Los valores la granulometría de las mallas 40, 60 y finos con respecto al porcentaje de fisura <b>no son significativos.</b>		<b>H<sup>1</sup></b> = Los valores la granulometría de las mallas 40, 60 y finos con respecto al porcentaje de fisura <b>si son significativos.</b>		
Si él % de correlación de Pearson es mayor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>		Si él % de correlación de Pearson es menor al % del nivel de significancia <b>SE ACEPTA</b> caso contrario <b>SE RECHAZA.</b>		
Se rechaza la hipótesis nula (H <sup>0</sup> ), teniendo que, las variables granulometría de las mallas 40, 60 y finos influyen de forma conjunta y lineal con el porcentaje de fisura del producto final, para el ensayo efectuado con el silo 5 y los silos aleatorios.				

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 3-75 se obtuvieron cuatro resultados favorables; el primero para el silo # 5 con un R cuadrado de 93,5 %, lo cual sugiere que el porcentaje de fisura queda explicado casi en su totalidad por las variables granulometría de las mallas 40, 60 y finos en la descarga de los silo 5; el segundo para los silos aleatorios con un R cuadrado de 99,6 %, lo cual sugiere que el porcentaje de fisura queda explicado casi en su totalidad por las variables granulometría de las mallas 40, 60 y finos en la descarga de los silos (11, 12 y 4); el tercero para el silo 5 con un ANOVA de 0,000, lo cual dictamina que las variables granulometría de las mallas 40, 60 y finos en la descarga del silo influye de forma conjunta y lineal con la variable fisura; y el cuarto para los silos aleatorios con un ANOVA de 1 %, lo cual dictamina que las variables granulometría de las mallas 40, 60 y finos en la descarga de los silos influyen de forma conjunta y lineal con la variable fisura.

De lo anterior emana la afirmación de que el producto final (Gres rojo – Monoquema, revestimientos de pisos cerámicos brillantes, formato 43x43), se ve afectado por el defecto de fisura cuando la granulometría de las mallas 40, 60 y finos en la descarga de los silos no entra en la norma preestablecida.

En las tablas 3-76 y 3-77 se muestran la granulometría de las mallas 40, 60 y finos en la descarga de los silos, que están dentro y fuera de norma (celeste dentro de norma y naranja fuera de norma), relacionados con los valores de fisura con respecto a los ensayos del silo # 5 y los silos aleatorios.

**Tabla 3-76** Relación de la granulometría a las mallas 40, 60 y finos y valores de fisura del silo # 5. Ensayos 1, 2 y 3.

Ensayo #	Granulometría/Hora						Fisura %	Producto	Estándar (%)	Exportación (%)
	Malla (mm)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)				
1	40 = 0.425	34,2	27,7	33,2	25,9	23,4	1	Pietra Levante	1	98
	60 = 0.250	46,6	46,8	42,5	45,9	45,7				
	Finos	1,9	1,2	1,3	0,9	1,7				
2	40 = 0.425	42	35,3	43,4	39,9	41,5	6	Castaña Duela	24	61
	60 = 0.250	36,3	42	36,7	38,8	39,3				
	Finos	0,3	1,7	3,2	0,7	4				
3	40 = 0.425	37,5	30,7	30,2	27,1	28,1	6	Marrol Spot	20	75
	60 = 0.250	45,1	44,5	44,2	46,4	44,4				
	Finos	0,8	0,8	1	1,3	1,3				

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

**Tabla 3-77** Relación de la granulometría a las mallas 40, 60 y finos y valores de fisura de los silos aleatorios. Ensayos 11, 12 y 4.

Silos #	Granulometría/Hora				Fisura %	Producto	Estándar (%)	Exportación (%)
	Malla (mm)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)				
11	40 = 0.425	28,1	29,8	34,6	18	Cataluña Pino	12	86
	60 = 0.250	45,7	46,8	44,9				
	Finos	3,7	0,8	0,6				
12	40 = 0.425	35,7	38,4	36,2	12	Tablilla Nogal	28	68
	60 = 0.250	40,1	39,5	40				
	Finos	1,1	5,5	9,3				
4	40 = 0.425	27,3	30,2	29,2	3	Cataluña Roble	19	63
	60 = 0.250	48,1	46,7	46,3				
	Finos	1,1	0,8	0,7				

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

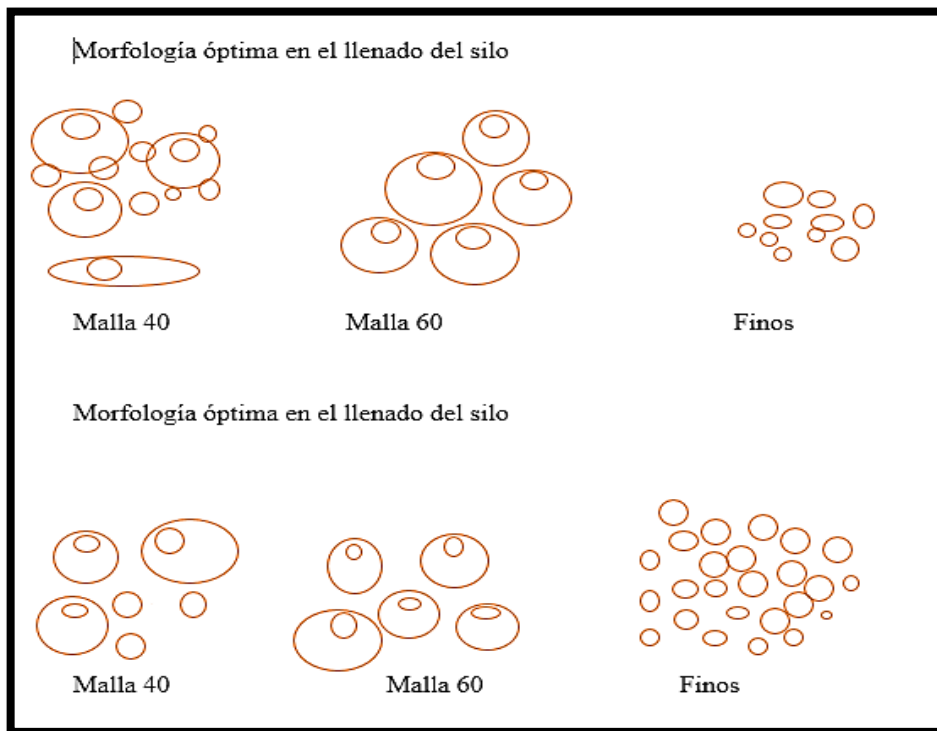
Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### 1.11.2.3. Morfología

Para el análisis de esta variable cualitativa es importante denotar que las imágenes fueron capturadas por un microscopio digital (40 y 100x), y que estas serán analizadas tomando en cuenta la forma del grano, si presentan oquedad, distribución granulométrica y los parámetros funcionales de las lanzas (inyectores de barbotina en el atomizador).

Esta variable desde un principio fue estudiada minuciosamente, debido a que fuentes bibliográficas sugieren que un grano atomizado óptimo, es decir, de forma esferoidal y con oquedad en el centro, genera un empaquetado del polvo atomizado óptimo para el prensado y a su vez una pieza cerámica cruda en excelentes condiciones para el proceso de cocción (producto final).

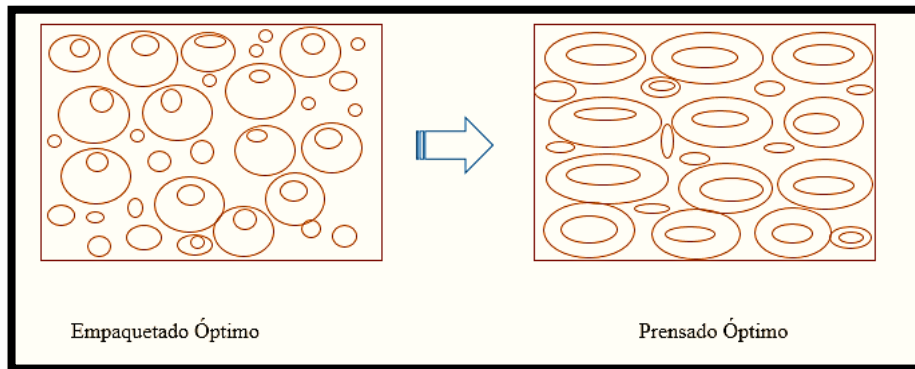
Las fuentes bibliográficas sugieren que el grano atomizado debe cumplir con las siguientes condiciones (figura 3-1):



**Figura 3-1** Morfología óptima del grano atomizado en el llenado y descarga de los silos  
Realizado por: Ortega Oscar, 2018

El gráfico anterior muestra la forma esferoidal y la oquedad que debe presentar el grano y la granulometría como debe estar distribuida para que se dé un empaquetado del polvo atomizado en el molde óptimo y subsecuentemente un prensado eficiente, (Figura 3-2).





**Figura 3-2** Empaquetado y prensado óptimo del polvo atomizado con un grano óptimo  
 Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Las figuras 3-1 y 3-2, nos sirvieron de apoyo para analizar la morfología que presentó el grano del polvo atomizado en el llenado y descarga de los silos 5, 9 y silos aleatorios (11, 12 y 4). Para lo cual se analizó pura exclusivamente el ensayo o el silo que presentó mayor porcentaje de fisura (tabla 3-78).

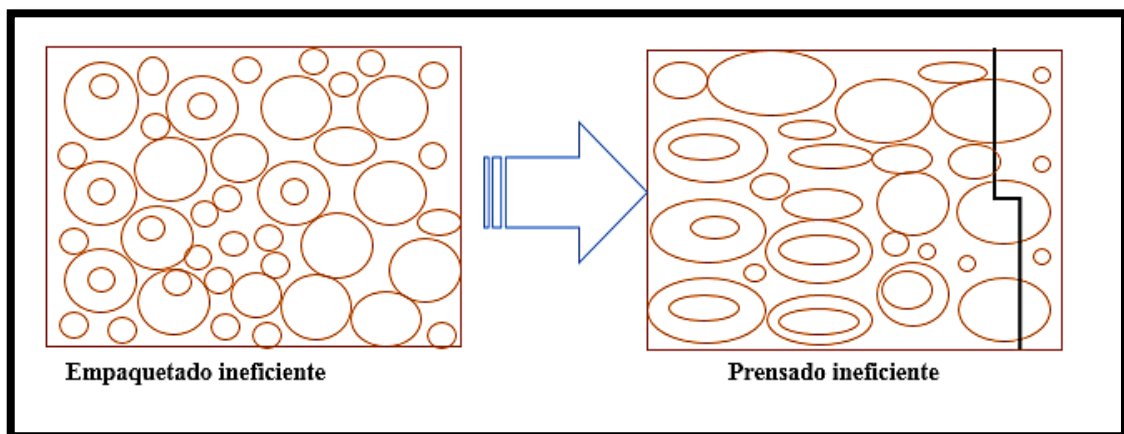
**Tabla 3-78** Morfología del silo # 11 con mayor porcentaje de fisura en el producto terminado

MORFOLOGÍA (40x)	LLENADO DEL SILO	DESCARGA DEL SILO
Malla (mm) / Peso (g)	40 = 0.425 / 28,4	40 = 0.425 / 28,1
Imagen		
Malla (mm) / Peso (g)	60 = 0.250 / 48,8	60 = 0.250 / 45,7
Imagen		
Malla (mm) / Peso (g)	Finos / 0,5	Finos / 3,7
Imagen		
<b>EXPORTACIÓN (%)</b>	<b>FISURA (%)</b>	<b>ESTÁNDAR (%)</b>
86	18	12

Realizado por: Ortega Oscar, 2018  
 Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla anterior se puede observar como el grano del polvo atomizado no presenta oquedad en el llenado del silo y tampoco en la descarga del mismo, lo cual nos da una idea tomando en cuenta las imágenes 3-1 y 3-2, que el polvo no será empaquetado eficientemente, por lo cual no se procederá a tener un prensado óptimo debido que un grano sin oquedad impide la salida de la humedad presente en su interior, siendo así que al momento de ser prensado este explota y genera el defecto de fisura en la pieza cruda a nivel microscópico que al ser cocida se aprecia a nivel macroscópico.

En las figuras 3-3 y 3-4, se muestra la fisura en su máxima expresión cuando el grano del polvo atomizado no presenta oquedad en el centro y la distribución granulométrica no es la adecuada, en estas imágenes se muestra una vista microscópica y macroscópica de la fisura respectivamente.



**Figura 3-3** Empaquetado y prensado ineficiente del polvo atomizado con un grano si oquedad en el centro

Realizado por: Ortega Oscar, 2018



**Figura 3-4** Cerámica con fisura

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica , 2015)

Con las imágenes anteriores y la morfología del silo # 11 se puede afirmar que ese 18 % de fisura que se produjo en el producto final se debe en su mayoría a la geomorfología del grano, es decir, a una distribución granulométrica mal fraccionada y a la falta de oquedad en el grano, no se está obviando el porcentaje de humedad, puesto que este si es importante, pero si solucionamos el problema de morfología y granulometría se podrá trabajar con rangos de humedad más permisibles en cuanto a la norma, por lo cual se ha decidido emplear mejoras al proceso de atomización.

### 1.11.3. Hipótesis 3

- Implementando mejoras en las condiciones operacionales y de transporte del polvo atomizado se pretende mejorar las propiedades estructurales del grano y su pérdida excesiva de humedad antes de llegar a la prensa.

Con el objetivo de demostrar esta hipótesis se implementaron mejoras en el proceso de atomización más no en las líneas de transportes del polvo atomizado por asuntos de la empresa. Luego de emplear las mejoras se realizó un último ensayo para tres silos; 5, 9 y 4. En los que se analizó la humedad, granulometría para las mallas 40, 60 y finos, la morfología del grano atomizado.

#### 1.11.3.1. Mejoras aplicadas al proceso de atomización.

Las presentes mejoras fueron aplicadas tomando en cuenta los resultados de los ensayos empleados con los silos 5, 9 y silos aleatorios (11, 12 y 4). Dichos parámetros de mejoras se detallan a continuación (tabla 3-79):

**Tabla 3-79** Condiciones operacionales y parámetros de calidad en la producción del polvo atomizado.

PARÁMETRO	VARIABLE OPERACIONAL	CANTIDAD O RANGO	OBSERVACIÓN O PROCEDIMIENTO
Atomizador Chino	Temperatura de quema	700 – 740 °C	Durante cada hora el operador revisa las variables operacionales y sube a revisar el funcionamiento de las boquillas, por si alguna se ha tapado y en caso de haberse tapado procede a destaparla limpiándola. También propina golpes en la entrada de cada
	Producción	14800 Kg/s	
	Número de lanzas	10	
	Número de boquillas	28	
	Díámetro de pastillas	2 – 2,5 mm (intercaladas)	
	Presión de bombeo	19 – 20 Bares	
	Depresión	30	
	Ventosas	Abertura de 100%	

			lanza para soltar la barbotina que se adhiere a las boquillas.
Barbotina	Densidad	1.65 g/cm <sup>3</sup>	El operador antes de atomizar toma una muestra de barbotina de la cisterna central que alimenta el atomizador, para determinar si su viscosidad, densidad y residuos, están dentro de los rangos de acuerdo a la norma preestablecida.
	Sólidos Totales	61 – 65 %	
	Viscosidad	50 – 60 s	
	Residuo	8 – 9.5 %	
Silos (13 silos para pasta Monoquema)	-	-	Silos limpios del 1-9
Hidrociclón	Depresión	140 Ventilador principal 30 Ciclones	Los valores se mantuvieron constantes. Polvos finos son retirados de la banda de producción del polvo atomizado y se almacenan en una cisterna para ser mezclados con agua y defloculante para producir barbotina.

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

### 1.11.3.2. Validación de las mejoras aplicadas al proceso de atomización

#### 1.11.3.2.1. Humedad

#### Llenado de los silos

**Tabla 3-80** Resultados de los porcentajes de humedad de llenado frente a los valores de temperaturas para los silos 5, 9 y 4. Ensayo final.

Humedad llenado de los silos				Temperatura de calefacción			
Media	Desviación Típica	V máximo	V mínimo	Media	Desviación Típica	V máximo	V mínimo
7,435	0,45964	7,89464	6,97536	708,64	11,664	720,304	696,976

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 3-80 se muestran los valores promedios de los porcentajes de humedad con sus máximos y mínimos permisibles (celeste fuera de norma y naranja dentro de norma), para que el polvo atomizado tenga un comportamiento óptimo al ser almacenado en los silos para su subsecuente reposo. En esta tabla también se muestran los valores promedios de las temperaturas con sus máximos y mínimos permisibles para obtener porcentajes de humedad óptimas para la etapa de maduración o reposo.

## Descarga de los silos

**Tabla 3-81** Resultados de los porcentajes de humedad de descarga frente a los valores de fisura para los silos 5, 9 y 4. Ensayo final.

Silo # 5			
Humedad descarga de los silos			
Media	Desviación Típica	V máximo	V mínimo
6,872	0,27760	7,14960	6,59440
Producto	Estándar (%)	Exportación (%)	Fisura (%)
Lajas Gris	7	91	0
Silo# 9			
Humedad descarga de los silos			
Media	Desviación Típica	V máximo	V mínimo
7,550	0,01333	7,56333	7,53667
Producto	Estándar (%)	Exportación (%)	Fisura (%)
Lajas Gris	7	91	0
Silo # 4			
Humedad descarga de los silos			
Media	Desviación Típica	V máximo	V mínimo
7,473	0,06444	7,53778	7,40889
Producto	Estándar (%)	Exportación (%)	Fisura (%)
Riviera Gris	9	85	0

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 3-81, se muestran los valores de humedad en la descarga permisibles (celeste fuera de norma y naranja dentro de norma), de los silos 5, 9 y 4, para el ensayo final relacionadas con los porcentajes de fisura y calidad del producto final (Gres rojo – Monoquema, revestimientos de pisos cerámicos brillantes, formato 43x43). En la cual se puede observar que la fisura es nula y la calidad de exportación es alta.

Es importante recalcar que en la tabla 3-81, se muestran en su mayoría valores que no están en norma, pero aun así no se presenta fisura en el producto final, lo cual se debe a que la humedad entre los silos es mezclada para homogeneizar el polvo, por ejemplo se mezclan los silos 5 y 9 o 5 y 4, lo cual permite que las humedades se estabilicen y se tengan valores de humedad en norma.

### 1.11.3.2.2. Granulometría

#### Llenado de los silos

**Tabla 3-82** Granulometría de las mallas 40, 60 y finos del llenado de los silos 5, 9 y 4.

Malla 40 = 0.425			
Media	Desviación Típica	V máximo	V mínimo
42	2,9927	44,9927	39,0073
Malla 60 = 0.250			
Media	Desviación Típica	V máximo	V mínimo
45,555	2,2425	47,7975	43,3125
Finos			
Media	Desviación Típica	V máximo	V mínimo
0,136	0,0924	0,2284	0,0436

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 3-82, se muestran los valores de la granulometría de las mallas 40, 60 y finos en el llenado de los silos 5, 9 y 4, para el ensayo final, con una presión de bombeo de 19- 20 bar, una temperatura de calefacción de 696-720 °C y una viscosidad de la barbotina de 53 s.

#### Descarga de los silos

**Tabla 3-83** Granulometría de las mallas 40, 60 y finos de descarga de los silos 5, 9 y 4. Ensayo final.

Silo # 5			
Malla 40 = 0.425			
Media	Desviación Típica	V máximo	V mínimo
27,16	0,648	27,808	26,512
Malla 60 = 0.250			
Media	Desviación Típica	V máximo	V mínimo
52,76	1,248	54,008	51,512
Finos			
Media	Desviación Típica	V máximo	V mínimo
0,52	0,467	0,987	0,053
Silo # 9			
Malla 40 = 0.425			
Media	Desviación Típica	V máximo	V mínimo
40,43333	2,88889	43,32222	37,54444
Malla 60 = 0.250			
Media	Desviación Típica	V máximo	V mínimo

45,36667	1,68889	47,05556	43,67778
<b>Finos</b>			
<b>Media</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>V máximo</b>	<b>V mínimo</b>
0,43333	0,17778	0,61111	0,25556
<b>Silo # 4</b>			
<b>Malla 40 = 0.425</b>			
<b>Media</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>V máximo</b>	<b>V mínimo</b>
35	1	36	34
<b>Malla 60 = 0.250</b>			
<b>Media</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>V máximo</b>	<b>V mínimo</b>
48,6667	0,5111	49,1778	48,1556
<b>Finos</b>			
<b>Media</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>V máximo</b>	<b>V mínimo</b>
0,5333	0,0889	0,6222	0,4444






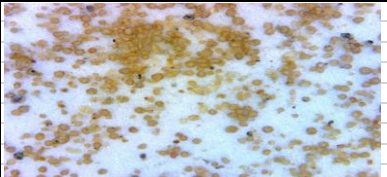
Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 3-83, se muestran los valores de la granulometría de las mallas 40, 60 y finos en la descarga de los silos 5, 9 y 4, para el ensayo final, para lo cual se tuvo para los tres silos fisura nula.

### 1.11.3.2.3. Morfología

**Tabla 3-84** Morfología del silo # 9 relacionado con la calidad y defecto de fisura del producto





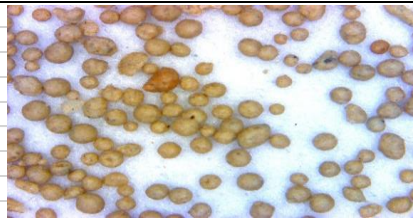
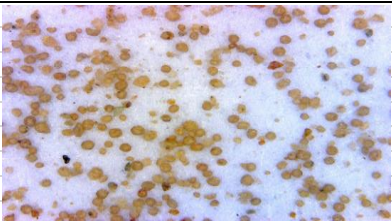
<b>MORFOLOGÍA (40x)</b>	<b>LLENADO DEL SILO</b>		<b>DESCARGA DEL SILO</b>
Malla (mm) / Peso (g)	40 = 0.425 / 43,9		40 = 0.425 / 36,1
Imagen			
Malla (mm) / Peso (g)	60 = 0.250 / 44,1		60 = 0.250 / 47,9
Imagen			
Malla (mm) / Peso (g)	Finos / 0,1		Finos / 0,7
Imagen			
<b>FISURA (%)</b>	<b>ESTÁNDAR (%)</b>		<b>EXPORTACIÓN (%)</b>
0	7		91

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)



**Tabla 3-85** Morfología del silo # 5 relacionado con la calidad y defecto de fisura del producto

<b>MORFOLOGÍA (40x)</b>	<b>LLENADO DEL SILO</b>	<b>DESCARGA DEL SILO</b>
Malla (mm) / Peso (g)	40 = 0.425 / 47,2	40 = 0.425 / 38,6
Imagen		
Malla (mm) / Peso (g)	60 = 0.250 / 43,8	60 = 0.250 / 48,9
Imagen		
Malla (mm) / Peso (g)	Finos / 0,1	Finos / 0,4
Imagen		
<b>FISURA (%)</b>	<b>EXPORTACIÓN (%)</b>	<b>ESTÁNDAR (%)</b>
0	85	9

Realizado por: Ortega Oscar, 2018  
Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En las tablas 3-84 y 3-85, se muestran las morfologías para la granulometría de las mallas 40, 60 y finos para los silos 5 y 9 correspondientes al ensayo final. Estas imágenes se han relacionado con la calidad y el porcentaje de fisura del producto final.

En esta última parte se puede observar como los cambios empleados en el proceso de atomización en miras de mejorar las características del grano del polvo atomizado fueron efectiva debido a que se eliminó el apareamiento de fisura y se aumentó el porcentaje de calidad de exportación en el producto Gres rojo-Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43x43.

#### 1.11.4. Hipótesis 4

- Con la comparación de las condiciones iniciales y finales del polvo atomizado se pretende dar valía a la evaluación y mejoramiento de las condiciones del mismo.





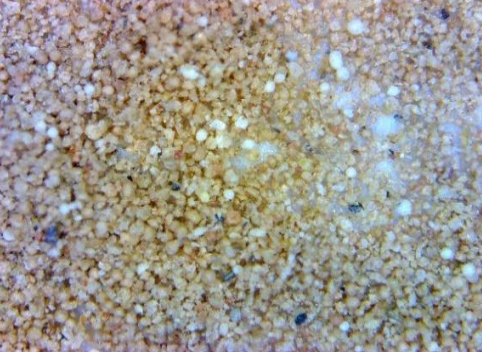

Para la comprobación de la hipótesis antes mencionada se procedió a comparar, primero las condiciones operacionales del atomizador, luego el rango de pérdida de humedad del polvo



atomizado del atomizador a los silos y de los silos a las prensas, granulometría de los finos, morfología del grao y porcentajes de fisuras en producto final. (Gres rojo-Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43x43). Los datos a los cuales se hace mención en el anterior párrafo se hallan tabulados en la tabla 3-86.

**Tabla 3-86** Comparación entre las condiciones iniciales y finales del polvo atomizado.

Condiciones iniciales del polvo atomizado		Condiciones finales del polvo atomizado	
Variable operacional	Cantidad o rango	Variable operacional	Cantidad o rango
<b>Variables inherentes al equipo Atomizador Chino (condiciones operacionales)</b>			
Temperatura de quema	690 – 750 °C	Temperatura de quema	700 – 740 °C
Producción	14000 Kg/s	Producción	14800 Kg/s
Número de lanzas	9	Número de lanzas	10
Número de boquillas	26	Número de boquillas	28
Diámetro de pastillas	2.5 – 3 mm (intercaladas)	Diámetro de pastillas	2 – 2,5 mm (intercaladas)
Hidrociclones	Polvos finos se vierten sobre las bandas que transportan el polvo atomizado a los silos.	Hidrociclones	Polvos finos son retirados de la banda de producción del polvo atomizado y se almacenan en una cisterna para ser mezclados con agua y defloculante para producir barbotina.
Depresión	30	Depresión	30
Ventosas	Abertura de 75%	Ventosas	Abertura de 100%
<b>Variables inherentes a la barbotina</b>			
Presión de bombeo	18 – 20 Bares	Presión de bombeo	19 – 20 Bares
Densidad	1.65 – 1.66 g/cm <sup>3</sup>	Densidad	1.65 g/cm <sup>3</sup>
Sólidos Totales	61 – 65 %	Sólidos Totales	61 – 65 %
Viscosidad	60 – 80 s	Viscosidad	50 – 60 s
Residuo	8 – 9.5 %	Residuo	8 – 9.5 %
<b>Variables inherentes del polvo atomizado</b>			
Humedad	Atomizado (7,4-7,8) Prensado (6,8-7,2)	Humedad	Atomizado (7,0-7,9) Prensado (6,9-7,5)
Granulometría	Malla 40 = (31-41) Malla 60 = (42-47) Finos = > 1	Granulometría	Malla 40 = (39-45) Malla 60 = (43-48) Finos = <1
Rango de pérdida de humedad. De los silos	Día soleado 24 horas de reposo = (0,15-0,82) Día nublado 24 horas de reposo = (0,15-0,74)	Rango de pérdida de humedad. De los silos	Día soleado 24 horas de reposo = (0,08-0,28) Día nublado 24 horas de reposo = (0,21-0,27)
Rango de pérdida de humedad. De las prensas	Prensa 2000	Rango de pérdida de humedad. De las prensas	Prensa 2000 Mezcla de silos – después de imanes = (0,01-0,05)

	<p>Mezcla de silos – después de imanes = (0,03-0,15)</p> <p>Después de imanes- tolva de la prensa = (0,01-0,10)</p>		<p>Después de imanes- tolva de la prensa = (0,00-0,07)</p>
	<p>Prensa 4900</p> <p>Mezcla de silos – después de imanes = (0,01-0,12)</p> <p>Después de imanes- tolva de la prensa = (0,01-0,12)</p>		<p>Prensa 4900</p> <p>Mezcla de silos – después de imanes = (0,02-0,04)</p> <p>Después de imanes- tolva de la prensa = (0,02-0,03)</p>
Morfología malla 40 (Silo # 11)		Morfología malla 40 (Silo # 4)	
			
Morfología malla 60 (Silo # 4)		Morfología malla 60 (Silo # 4)	
			
Morfología finos (Silo # 4)		Morfología finos (Silo # 4)	
			
<b>Porcentajes de calidad y defectos del producto final</b>			
Calidad de Exportación (%)		Calidad de Exportación (%)	
Silo # 5	61	Silo # 5	91
Silo # 9	68	Silo # 9	91
Silo # 4	63	Silo # 4	85
Calidad Estándar (%)		Calidad Estándar (%)	
Silo # 5	24	Silo # 5	7

Silo # 9	28	Silo # 9	7
Silo # 4	19	Silo # 4	9
Fisura (%)		Fisura (%)	
Silo # 5	6	Silo # 5	0
Silo # 9	12	Silo # 9	0
Silo # 4	3	Silo # 4	0

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 3-86 se pudo observar como las pequeñas mejoras en las condiciones operacionales de producción y parámetros de calidad del polvo atomizado, provocaron la eliminación de fisura y el aumento de la calidad de exportación en el producto final.

#### **1.11.5. Hipótesis 5**

- Mediante la implementación del análisis de plasticidad y morfología del polvo atomizado se quiere mantener un continuo control de ambos aspectos en la prensa para que en caso de fallas en la pieza cerámica ya se tenga más criterios de evaluación que permitan enmendar cualesquiera sean las fallas.

El análisis morfológico y la técnica de plasticidad son protocolos de calidad que hoy en día en la empresa C. A. Ecuatoriana de Cerámica se están empleando como parámetros inherentes a la calidad de la barbotina empleada para producción en planta. A continuación se explicará cómo se procede a con el análisis morfológico y con la técnica de plasticidad.

##### **1.11.5.1. Análisis morfológico**

###### **1.11.5.1.1. Método: determinación de la morfología**

- **Objeto**

Establecer el método de ensayo para la determinación de la morfología del grano de un material determinado.

- **Lugar**

Laboratorio y/o área de producción

- **Equipo**

- ✓ Torre de tamices
- ✓ Base vibratoria para tamices
- ✓ Microscopio digital USB 100X

- **Procedimiento**

a) Toma de muestra:

La muestra proviene del material atomizado, la misma que se toma de diferentes puntos, ya sea del material recién atomizado, de los silos o de la tolva de la prensa, que sea lo suficientemente representativa.

b) Pesar una cantidad de muestra (100 g) sobre un recipiente adecuando previamente tarado y anotar su peso como H1.

c) Colocar en la tapa del vibrotamiz y encender durante 10 min.

d) Pesar cada malla, encerar, guardar en un recipiente el polvo y volver a pesar la malla

e) Apuntar el peso, diferenciar el polvo de cada malla poniendo en diferentes recipientes según el caso y repetir la acción con cada malla hasta la base.

f) Una vez recolectado todo el polvo en diferentes recipientes, observar cada tamaño de partícula con el microscopio.

#### 1.11.5.1.2. ENSAYOS DE MORFOLOGÍA POR PRENSAS

En el laboratorio de Investigación y Desarrollo se realizan ensayos con respecto al análisis morfológico del polvo atomizado que entra en las prensas 2000 y 4900 (pisos), tomando como patrón las imágenes que se capturan del polvo atomizado de la prensa 3020 (azulejos). Estos ensayos se realizan una vez por semana o dado el caso que se esté empleando una pasta prueba se hace más ensayos en la semana y no solo con el polvo de las prensas, sino también con el polvo atomizado de los silos.

En la empresa se implementó el análisis morfológico como una alternativa de dar respuesta rápida en el caso de que aparezcan fisuras en el producto final (Gres rojo-Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43x43), no sólo para monoquema sino también para Porcelanato, debido a que con este análisis se puede dar juicios de valor con respecto a los parámetros operacionales y de calidad en la etapa de molienda y atomización.

#### 1.11.5.2. *Análisis de plasticidad*

##### 1.11.5.2.1. Método la-19: plasticidad casa grande

- **Objeto**

Determinar el límite líquido y límite plástico de las materias utilizadas en la elaboración de azulejos y baldosas, con el método Casa Grande.

- **Lugar**

Laboratorio de Investigación y Desarrollo

- **Equipo**

- ✓ Aparato de límite líquido según Casa Grande.
- ✓ Ranuradora.
- ✓ Estufa regulada a temperatura de 110 oC.
- ✓ Balanza con capacidad de  $3000 \pm 0,01$  g.
- ✓ Vidrios de reloj.
- ✓ Mortero.
- ✓ Tamiz Nro. 40 ASTM (0,425mm).

- **Procedimiento**

Para Límite Líquido.

- Preparar una muestra de alrededor de 250g que pase por el tamiz 40 ASTM (0,425mm).
- Ajuste el aparato: comprobar que la elevación máxima de la tasa sobre la base debe ser de 1 cm.

- Verificar que el pasador que une al plato de bronce no esté gastado, que no hayan canales en el plato de bronce debidos a la ranuración.
- Preparar una pasta húmeda y colocar en la taza una porción de esta, cuidando que no queden atrapadas burbujas de aire.
- Nivelar y alisar la superficie de la masa con la espátula, procurando obtener 1 cm en el punto máximo de espesor.
- Abrir una ranura en la muestra preparada, moviendo la ranuradora a lo largo del diámetro de la taza, desde el eje del aparato al borde libre formando un canal limpio y claro.
- Dar vuelta la manivela para alzar y dejar caer la tasa sobre la base a una frecuencia de 2 golpes por segundo, hasta que los labios de la ranura se unan, en una longitud de aproximadamente 1 cm.
- Anotar el número de golpes y tomar una muestra representativa, abarcando ambos lados de la ranura, para la determinación del contenido de humedad.
- Repetir estas operaciones limpiando y secando previamente la taza, variando el contenido de humedad de la muestra, hasta obtener 3 ensayos

Para Límite Plástico.

- De una muestra plástica homogénea tomar aproximadamente 10 g, moldearla entre los dedos, en una bola, luego amasar y rodar la bola entre las palmas de las manos hasta que aparezcan en su superficie pequeñas fisuras, con lo cual se asegura que el suelo este suficientemente seco.
- Formar 3 rollos de esta bola, con la punta de los dedos de la mano y la placa de vidrio, con una presión suficiente como para formar un rollo de 3 mm de diámetro en 5 a 15 movimientos completos de la mano, a una velocidad de 80 a 90 movimientos por minuto.
- En algunos suelos poco plásticos, el desmenuzamiento puede ocurrir cuando el rollo tiene un diámetro mayor a 3 mm, por lo cual el primer punto de rotura indicará el límite plástico del suelo ensayado.

- Pesar los rollos anotar como peso húmedo.
- Secar en la estufa y anotar el peso seco.

#### 1.11.5.2.2. Ensayos de plasticidad con y sin defloculante

En la empresa C. A. Ecuatoriana de cerámica se está implementando el análisis de plasticidad para todos los componentes de las formulaciones y para cada formulación, este análisis se realiza en el laboratorio de Investigación y Desarrollo dos veces por semana con el fin de conocer que tan plásticos es una pasta (barbotina), y como los componentes influyen en esta.

En la tabla 3-87 y 3-88 se muestran los valores correspondientes a los análisis de plasticidad efectuados para las formulaciones MQ-2016-7/D y MQ-2016-7/C, respectivamente. Teniendo en cuenta que estos análisis se efectuaron a nivel de laboratorio, debido a que se elabora barbotina con y sin defloculante.

**Tabla 3-87** Parámetros de calidad y plasticidad de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/D.

Parámetros barbotina mq-2016-7/d							Parámetros placas			Plasticidad
Fecha	Defloculante	Densidad	Viscosidad	Residuo	Contracción promedial	Absorción promedial	Modulo en húmedo	Modulo en seco	Modulo en cocido	Índice de plasticidad
dia/mes/año		g/cm3	S	%	%	%	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%
20/11/2017	Sin	1,554	-	7,38	4,45	7,90	3,02	27,94	280,25	12,55
21/11/2017	Sin	1,525	-	6,78	4,78	7,01	8,2	15,48	298,27	12
22/11/2017	Sin	1,536	-	8,3	4,75	7,45	7,31	33,86	118,27	13,66
23/11/2017	Sin	1,521	-	5,22	4,58	7,03	11,19	29,33	320,19	13,25
27/11/2017	Con	1,624	84	7,68	5,55	6,08	10,48	29,31	356,76	12,14
28/11/2017	Con	1,621	67	8,43	4,98	6,26	12,91	15,99	273,01	11,46
29/11/2017	Con	1,641	-	6,34	4,98	7,04	10,29	26,74	370,74	13,1
30/11/2017	Con	1,636	-	7,64	5,33	8,09	6,8	14,22	355,7	10,11

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

**Tabla 3-88** Parámetros de calidad y plasticidad de la barbotina de fórmula MQ-2016-7/C.

Parámetros barbotina mq-2016-7/c							Parámetros placas			Plasticidad
Fecha	Defloculante	Densidad	Viscosidad	Residuo	Contracción promedial	Absorción promedial	Modulo en húmedo	Modulo en seco	Modulo en cocido	Índice de plasticidad
dia/mes/año		g/cm <sup>3</sup>	S	%	%	%	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%
07/12/2017	Con	1,6	59,6	7,58	4,47	9,20	11,27	23,29	281,05	9,51
08/12/2017	Con	1,638	81	7,53	4,55	8,55	8,54	16,41	271,39	12,77
16/12/2017	Con	1,639	-	6,92	4,48	8,80	3,59	23,95	254,07	11,86
17/12/2017	Con	1,6345	55	6,86	3,44	10,35	2,57	10,5	225,67	10,9
07/12/2017	Sin	1,5572	-	6,75	4,49	8,51	7,03	44	253,69	11,16
08/12/2017	Sin	1,5518	-	6,97	4,09	8,48	7,52	14,6	250,41	12,48
16/12/2017	Sin	1,5144	-	6,03	4,04	9,76	7,31	33,86	118,27	10,96
17/12/2017	Sin	1,5461	-	7,11	3,71	9,06	7,36	32,45	250,43	12,19

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En las tablas 3-87 y 3-88, se muestran los valores que se toman en cuenta al momento de efectuar el análisis de plasticidad, y como se puede observar son datos que exponen un informe completo de las condiciones de la barbotina para cada fórmula empleada.

## 1.12. Discusión de resultados

El principal objetivo de la presente investigación fue evaluar las condiciones del polvo atomizado para crear un plan de mejoras que permitiera eliminar por completo el apareamiento de fisura en el producto Gres rojo-Monoquema para pisos cerámicos brillantes de formato 43x43.

Para cumplir con el objetivo general de esta investigación, se evaluaron las variables independientes que intervienen en la calidad y producción del polvo atomizado para pasta Monoquema. Las variables de las cuales se hacen mención son temperatura de quema o calefacción, presión de bombeo de la barbotina y viscosidad de la barbotina. Estas variables fueron correlacionadas con las variables dependientes de interés para nuestro estudio, las cuales son humedad, granulometría y morfología del polvo atomizado.



Para esta investigación se hizo un diseño experimental trifactorial de tres factores con tres repeticiones, en el cual se dio seguimiento a las variables de interés tomando 5 silos (tanques cilíndricos o rectangulares donde se almacena el polvo atomizado), siendo estos los silos 5, 9 y silos aleatorios (11, 12 y 4), con los cuales se elaboraron ensayos que consistían en tomar 6 humedades, 1 granulometría por hora y dos análisis morfológico por ensayo. Cabe recalcar que las determinaciones antes mencionadas se hicieron en el llenado y descarga de cada silo.

Esta evaluación de las condiciones del polvo atomizado no sólo se hizo para las variables de interés, sino también se analizaron las condiciones de operación del atomizador como: número de lanzas funcionales, número de boquillas funcionales parámetros de calidad de la barbotina, condiciones estructurales del atomizador y de las bandas de transporte. También se analizaron las condiciones de transporte del polvo atomizado desde la salida del atomizador hasta la entrada a las prensas, tomando temperaturas y humedades ambientales, así como también las condiciones estructurales del área de transporte del polvo atomizado y el rango de pérdida de humedad que sufre el polvo a lo largo de del trayecto hacia las prensas.

Todas y cada una de las actividades realizadas estuvieron encaminadas a encontrar la causas por la cual el producto final (Gres rojo-Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43x43), estaba siendo afectado en su calidad por el apareamiento de fisura, siendo esta un defecto se superficie que disminuye la calidad de exportación del producto final a calidad estándar, generando pérdidas monetarias a la empresa.

Es importante denotar que un principio el apareamiento de fisuras en el producto final se adjudicaba a la pérdida de humedad en el polvo atomizado, debido a que las prensas se manejan con rangos de humedad de 6,8 a 7,2 %, y la humedad del polvo no cumplía con este parámetro, por lo cual se hizo un estudio de las humedades en el llenado y descarga de los silos para determinar los rangos de pérdida de humedad del polvo atomizado, obteniendo los siguientes valores: para un día soleado el polvo atomizado en un tiempo de reposo de 24 horas sufrirá una pérdida de humedad de 0,15 a 0,82 % y para un día nublado de 0,15 a 0,74. No conformes con esto también se estudiaron las humedades en el trayecto de polvo atomizado en tres puntos de muestreo; mezcla del polvo en la descarga de los silos, después de los imanes (en las bandas de transporte), y en la tolva de la prensa. Este estudio se realizó para las líneas de transporte hacia la prensa 2000 y 4900, obteniendo los siguientes valores dos rangos (de acuerdo a los puntos de muestreo): prensa 2000, rango 1 de 0,03 a 0,15 y rango 2 de 0,01 a 0,10; prensa 4900, rango 1 de 0,01 a 0,12 y rango 2 de 0,01 a 0,012. Los rangos de pérdida de humedad en el polvo atomizado nos sirvieron para atomizar con una humedad de 7,2 a 8,0 % dependiendo del silo y la

disponibilidad de pasta (polvo atomizado ocupado directamente para el prensado) asegurando así, no entregar un polvo atomizado a las prensas con valores de humedad poco trabajables.

De lo anterior nació el interés de estandarizar el método de determinación de humedad el cual se efectuó comparando el método de determinación de humedad propuesto por el tesista y el método de determinación de humedad empleado por el operador del equipo de atomización. Para llevar a cabo la comparación se analizaron las humedades tomadas por cada analista y se evaluó si entre los datos y el analista había o no correlación mediante el modelo lineal de correlación múltiple, siendo que para el ensayo 2 del silo # 9, se obtuvo un porcentaje de correlación de 4 %, el mismo al ser menor al 5 % (nivel de aceptación), nos sugiere que las humedades dependen del método de determinación de humedad para el polvo atomizado.

Se analizaron también las variables de interés, humedad, granulometría y morfología para cada ensayo realizado con los silos 5, 9 y silos aleatorios, mediante el método estadístico de regresión lineal múltiple para obtener el porcentaje de correlación de estas variables con la aparición de fisura en el producto final. De lo cual se obtuvieron las siguientes interpretaciones:

Primero para los silos aleatorios con un R cuadrado de 95,5 %, nos sugiere que el porcentaje de fisura queda explicado en un 95,5 %, por la variable porcentaje de humedad en la descarga de los silos (11, 12 y 4); segundo para el silo # 5 con un ANOVA de 0,000, nos sugiere que la variable humedad promedio de descarga influye de forma conjunta y lineal con la variable fisura; y tercero para los silos aleatorios con un ANOVA de 0,000, nos sugiere que la variable humedad promedio de descarga influye de forma conjunta y lineal con la variable fisura.

De lo anterior emana la afirmación de que el producto final (Gres rojo – Monoquema, revestimientos de pisos cerámicos brillantes, formato 43x43), se ve afectado por el defecto de fisura cuando la humedad en la descarga de los silos no entra en la norma preestablecida por el departamento de calidad de la empresa C. A. Ecuatoriana de Cerámica, aunque no en su totalidad, debido a que hay otros factores involucrados que al estar fuera de norma favorecen al apareamiento de fisura.

Primero para el silo # 5 con un R cuadrado de 93,5 %, nos sugiere que el porcentaje de fisura queda explicado en un 93,5 % por las variables granulometría de las mallas 40, 60 y finos en la descarga de los silos # 5; segundo para los silos aleatorios con un R cuadrado de 99,6 %, nos sugiere que el porcentaje de fisura queda explicado en un 99,6 % por las variables granulometría de las mallas 40, 60 y finos en la descarga de los silos (11, 12 y 4); tercero para el silo # 5 con un

ANOVA de 0,000, nos sugiere que las variables granulometría de las mallas 40, 60 y finos en la descarga del silo influye de forma conjunta y lineal con la variable fisura; y cuarto para los silos aleatorios con un ANOVA de 1 %, no sugiere que las variables granulometría de las mallas 40, 60 y finos en la descarga de los silos influyen de forma conjunta y lineal con la variable fisura.

De lo anterior emana la afirmación de que el producto final (Gres rojo – Monoquema, revestimientos de pisos cerámicos brillantes, formato 43x43), se ve afectado por el defecto de fisura cuando la granulometría de las mallas 40, 60 y finos en la descarga de los silos no entra en la norma preestablecida por el departamento de calidad de la empresa C. A. Ecuatoriana de Cerámica, aunque no en su totalidad, debido a que hay otros factores involucrados que al estar fuera norma favorecen en el apareamiento de fisura.



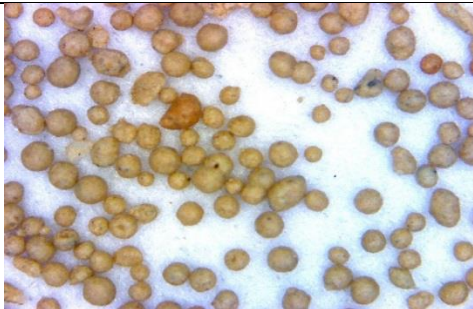
Se tuvo que las condiciones del grano del polvo atomizado como se muestra en la tabla 164-4 no son las óptimas para un correcto prensado siendo así que el porcentaje de fisura ascendió al 18 %, lo cual ocurrió por no tener las condiciones sugeridas según (Castells, 2012), para el grano atomizado, el cual debe tener forma esferoidal y con un orificio u oquedad en el centro para facilitar el empaquetamiento del polvo atomizado en el molde y así obtener un prensado eficiente.

De lo descrito anteriormente pudimos saber a ciencia cierta cuál es la variable de interés más relacionada con el apareamiento de fisura siendo esta la morfología. De esta afirmación y de los estudios realizados anteriormente se sugirieron los cambios estipulados en la tabla 114-4, los cuales una vez efectuados se procedió a realizar un último ensayo con la finalidad de validar dichos cambios.

El último ensayo se realizó con los silos 5, 9 y 4, en los cuales se analizaron una vez más las variables de interés obteniendo valores satisfactorios, los cuales se muestran a continuación: (tabla 3-89).

**Tabla 3-89** Mejoras en los valores de las variables de interés a mejoras para eliminar los porcentajes de fisura en el producto final.

<b>Humedad</b>	Atomizado (7,0-7,9) Prensado (6,9-7,5)
<b>Granulometría</b>	Malla 40 = (39-45) Malla 60 = (43-48) Finos =<1
<b>Rango de pérdida de humedad. De los silos</b>	Día soleado 24 horas de reposo = (0,08-0,28) Día nublado 24 horas de reposo = (0,21-0,27)

<b>Rango de pérdida de humedad. De las prensas</b>	Prensa 2000 Mezcla de silos – después de imanes = (0,01-0,05) Después de imanes- tolva de la prensa = (0,00-0,07)
	Prensa 4900 Mezcla de silos – después de imanes = (0,02-0,04) Después de imanes- tolva de la prensa = (0,02-0,03)
<b>Morfología malla 40 (Silo # 4)</b>	
	
<b>Morfología malla 60 (Silo # 4)</b>	
	
<b>Morfología finos (Silo # 4)</b>	
	
<b>Calidad de Exportación (%)</b>	
Silo # 5	91
Silo # 9	91
Silo # 4	85
<b>Calidad Estándar (%)</b>	
Silo # 5	7
Silo # 9	7
Silo # 4	9
<b>Fisura (%)</b>	
Silo # 5	0
Silo # 9	0
Silo # 4	0

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2018

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 3-89, los valores de calidad de exportación, calidad estándar y porcentajes de fisuras no muestran que los cambios efectuados en las variables operacionales del proceso de atomización son las correctas y que la variable de mayor interés elegida, la morfología al ser mejorada, mejora las condiciones del producto Gres rojo- Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43x43.

Para culminar con esta investigación se evaluó la barbotina (pasta líquida empleada para el proceso de atomización), con y sin defloculante, para lo cual se efectuó el análisis de plasticidad, referente a las fórmulas utilizadas a lo largo de la experimentación.

Siendo MQ-2016-7/C y MQ-2016-7/D, las formulaciones utilizadas y para las cuales se obtuvieron los siguientes valores del índice de plasticidad con y sin defloculante: MQ-2016-7/C: 11,26 y 11,70; MQ-2016-7/D: 11,7 y 12,9.

Los valores antes mencionados sirvieron para conocer qué tan plástica es la barbotina que se utiliza para el proceso de atomización, y también como punto de referencia para que el análisis de plasticidad sea un parámetro de calidad evaluado continuamente en la empresa.

## CAPÍTULO IV

### 4. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

#### 1.13. Propuesta para la solución del problema.

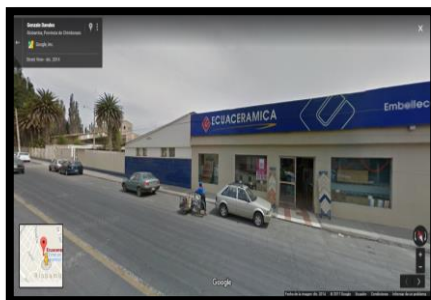
##### 1.13.1. Plan de mejoras

Medidas especiales de mejora para el área de atomización de la empresa C.A. Ecuatoriana de Cerámica.

##### 1.13.1.1. Datos de la Empresa

- Localización de la empresa:

C.A. Ecuatoriana de Cerámica se encuentra ubicada en la Av. Gonzalo Dávalos 3974 y Brasil, en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.



**Figura 4-1** Localización de la empresa  
Fuente: GOOGLE.MAPS (2017)

**Tabla 4-1** Coordenadas geográficas

COORDENADAS GEOGRAFICAS	
<b>Provincia</b>	Chimborazo
<b>Cantón</b>	Riobamba
<b>Parroquia</b>	Riobamba
<b>Latitud</b>	-1.66667
<b>Longitud</b>	-78.6333

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: Fuente: GOOGLE.MAPS (2017)

- Representante de la titularidad:

Ingeniero Marco Núñez – **Gerente General C. A, Ecuatoriana de Cerámica**

- Breve descripción de las características de la Empresa:

C.A. Ecuatoriana de Cerámica es una empresa ecuatoriana que desde sus inicios (septiembre de 1960), ha mantenido un fiel compromiso por brindar productos de calidad, amigables con el medio ambiente y ofertando precios módicos para sus clientes. Sus primeras líneas de producción estuvieron encaminadas a producir Revestimientos Cerámicos de pared y piso en formatos pequeños. Hoy en día con el fin de mejorar la calidad de sus productos Ecuacerámica produce Porcelanato, Revestimientos cerámicos de pared y piso, Cenefas y Mosaicos. Siendo que los productos de pisos son los más solicitados debido a la elegancia, resistencia y finura de sus acabados.

La producción de Revestimientos para pisos cerámicos y otros productos en C.A. Ecuatoriana de Cerámica está regida a estándares y normas de calidad muy rigurosos, teniendo que esta empresa desde el año de 1994 cuenta con certificación ISO 9001.

- Breve descripción del entorno.

C.A. Ecuatoriana de Cerámica es una empresa, ubicada en el centro de la ciudad de Riobamba por ende a sus alrededores se hallan una innumerable cantidad de negocios, instituciones públicas y privadas, inclusive en medio de esta se halla una institución educativa. De esta realidad emana en la empresa un ferviente compromiso con los habitantes de la ciudad de Riobamba

#### *1.13.1.2. Diagnóstico de la situación*

- Situación general de la empresa.

La empresa C.A. Ecuatoriana de Cerámica, presenta problemas en lo que respecta a la humedad, la granulometría y morfología del grano del polvo atomizado parámetros que causan fallas en el producto terminado (gres rojo-monoquema, revestimiento de pisos cerámicos brillantes, formato 43x43), fallas de superficie como lo es la fisura, uno de los más graves e importantes defectos a erradicar dentro de la empresa.

- Situación de la empresa en áreas específicas

Área de molienda y atomización. Es una de las áreas más importante de la empresa, debido a que en esta área de es la encargada de moler las materias primas (en húmedo) para obtener un material líquido viscoso (barbotina), que luego es inyectada en un atomizador para su pulverización.

El material pulverulento que se obtiene, es la materia prima empleada para el prensado que luego es empastado, diseño y cocción. De hecho se afirma que si los parámetros de calidad del polvo los cuales son humedad, granulometría y morfología no se hallan en norma, este no permite un correcto prensado y subsecuentes operaciones regidas al proceso.

El producto final gres rojo-monoquema, revestimiento de pisos cerámicos brillantes, formato 43x43, es uno de los cuales se fabrica en la empresa y el cual está sufriendo defectos de superficie como lo es la fisura. Este defecto genera pérdidas monetarias a la empresa, puesto que el producto final disminuye en su calidad de exportación a calidad estándar y de acuerdo con el nivel de gravedad a terceras hasta inclusive llegar a bajas.

Una de las causas para el apareamiento de defectos en el producto final es que en el área de atomización y molienda los equipos no funcionan adecuadamente por falta mantenimiento, por lo cual se quiere dar mantenimiento a los equipos del área de molienda y atomización, siendo este estrictamente al proceso de atomización.

- Pérdidas monetarias por fallas generadas en el producto final

En el presente inciso se presentan las pérdidas monetarias que se generan en la empresa por el apareamiento de fisura en el producto final, en un día de producción y en un año de producción.

**Tabla 4-2** Equivalencias porcentuales para calidad estándar generada por fisuras.

Calidad estimada	Calidad real por pérdidas		Porcentaje de fisura en calidad estándar	Fisura neta-Calidad Estándar
	Exportación (%)	Estándar (%)	Fisura (%)	%
90	65	25	80	20

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)



En la tabla 4-2, se muestran las equivalencias porcentuales para el porcentaje de fisura presente en el porcentaje de la calidad estándar.

**Tabla 4-3** Equivalencias de producción (m<sup>2</sup>/diaria), para calidad estándar generada por fisuras (formato 40x40).

Producción diaria (40x40)	Calidad estimada	Calidad real por pérdidas		Porcentaje de fisura en calidad estándar	Producción real diaria (40x40)
		Exportación (m <sup>2</sup> )	Estándar (m <sup>2</sup> )		
m <sup>2</sup>	Exportación (m <sup>2</sup> )	Exportación (m <sup>2</sup> )	Estándar (m <sup>2</sup> )	Fisura (m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>
4.500	4.050	2.925	1.125	900	5.400

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 4-3 se muestran los valores correspondientes a las equivalencias de producción en m<sup>2</sup>, para el porcentaje de fisura presente en el porcentaje de la calidad estándar. Formato 40x40.

**Tabla 4-4** Costos de producción diaria (formato 40x40).

Producción diaria (40x40)	Producción por fisura en calidad estándar	Costo de producción por m <sup>2</sup>	Costo por baja (fisura)	Costo de producción real	Costo de producción ideal por m <sup>2</sup> /día	Costo de producción real por m <sup>2</sup> /día	Costo por fisura real /día
m <sup>2</sup>	Fisura (m <sup>2</sup> )	\$	\$	\$	\$	\$	\$
4.500	900	4,5	0,9	5,4	20.250	24.300	4.050

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 4-4, se muestran los valores correspondientes a los costos de producción diaria de 4500 m<sup>2</sup> de cerámica para el formato 40x40.

**Tabla 4-5** Equivalencias de producción (m<sup>2</sup>/año), para calidad estándar generada por fisuras (formato 40x40).

Producción por 4 meses (40x40)	Calidad estimada	Calidad real por pérdidas		Porcentaje de fisura en calidad estándar	Producción real diaria (40x40)
		Exportación (m <sup>2</sup> )	Estándar (m <sup>2</sup> )		
m <sup>2</sup>	Exportación (m <sup>2</sup> )	Exportación (m <sup>2</sup> )	Estándar (m <sup>2</sup> )	Fisura (m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>
1000000	900000	650000	250000	200000	800000

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 4-5 se muestran los valores correspondientes a las equivalencias de producción en m<sup>2</sup>, para el porcentaje de fisura presente en el porcentaje de la calidad estándar. Para producción anual.

**Tabla 4-6** Costos de producción para 4 meses (formato 40x40).

Producción por año (40x40)	Producción por fisura en calidad estándar	Costo de producción por m <sup>2</sup>	Costo por baja (fisura)	Costo de producción real	Costo de producción ideal por m <sup>2</sup> /año	Costo de producción real por m <sup>2</sup> /año	Costo por fisura real/año
m <sup>2</sup>	Fisura (m <sup>2</sup> )	\$	\$	\$	\$	\$	\$
1000000	200000	4,5	0,9	5,4	4500000	5400000	900000

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 4-6, se muestran los valores correspondientes a los costos de producción por año (tiempo de duración estimado de un formato en la prensa) de 4500 m<sup>2</sup> de cerámica para el formato 40x40.

**Tabla 4-7** Equivalencias de producción (m<sup>2</sup>/diaria), para calidad estándar generada por fisura (formato 43x43).

Producción diaria (43x43)	Calidad estimada	Calidad real por pérdidas		Porcentaje de fisura en calidad estándar	Producción real diaria (43x43)
m <sup>2</sup>	Exportación (m <sup>2</sup> )	Exportación (m <sup>2</sup> )	Estándar (m <sup>2</sup> )	Fisura (m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>
8500	7650	5525	2125	1700	6800

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 4-7 se muestran los valores correspondientes a las equivalencias de producción en m<sup>2</sup>, para el porcentaje de fisura presente en el porcentaje de la calidad estándar. Formato 43x43.

**Tabla 4-8** Costos de producción diaria (formato 43x43).

Producción diaria (43x43)	producción por fisura en calidad estándar	Costo de producción por m <sup>2</sup>	Costo por baja (fisura)	Costo de producción real	Costo de producción ideal por m <sup>2</sup> /día	Costo de producción real por m <sup>2</sup> /día	costo por fisura real/día
m <sup>2</sup>	Fisura (m <sup>2</sup> )	\$	\$	\$	\$	\$	\$
8500	1700	4,5	5,4	0,9	38.250	45900	7.650

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 4-8, se muestran los valores correspondientes a los costos de producción diaria de 8500 m<sup>2</sup> de cerámica para el formato 43x43.

**Tabla 4-9** Equivalencias de producción (m<sup>2</sup>/4meses), para calidad estándar generada por fisuras (formato 40x40).

Producción por año (43x43)	Calidad estimada	Calidad real por pérdidas		Porcentaje de fisura en calidad estándar	Producción real diaria (43x43)
		Exportación (m <sup>2</sup> )	Estándar (m <sup>2</sup> )		
m <sup>2</sup>	Exportación (m <sup>2</sup> )	Exportación (m <sup>2</sup> )	Estándar (m <sup>2</sup> )	Fisura (m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>
2000000	1800000	1300000	500000	400000	1600000

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 4-9 se muestran los valores correspondientes a las equivalencias de producción en m<sup>2</sup>, para el porcentaje de fisura presente en el porcentaje de la calidad estándar. Para producción de anual.

**Tabla 4-10** Costos de producción para 4 meses (formato 43x43).

Producción por año (43x43)	Porcentaje de fisura en calidad estándar	Costo de producción por (m <sup>2</sup> )	Costo por baja (fisura)	Costo de producción real	Costo de producción ideal por m <sup>2</sup> /año	Costo de producción real por m <sup>2</sup> /año	Costo por fisura real /año
(m <sup>2</sup> )	Fisura (m <sup>2</sup> )	\$	\$	\$	\$	\$	\$
2000000	400000	4,5	0,9	5,4	9.000.000	10800000	1800.000

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 4-10, se muestran los valores correspondientes a los costos de producción para 4 meses (tiempo de duración estimado de un formato en la prensa) de 8500 m<sup>2</sup> de cerámica para el formato 43x43.

- Proyectos o iniciativas de mejora que ya se estén llevando a cabo

1. Evaluación de las condiciones del polvo atomizado empleado para la fabricación de gres rojo (monoquema-revestimiento de pisos cerámicos) en la empresa C.A. Ecuatoriana de Cerámica.

2. Redireccionamiento de los polvos finos provenientes de los hidrociclones a una cisterna para la elaboración de barbotina de retroalimentación al proceso de atomización.




*1.13.1.3. Actividades de mejora*



1.13.1.3.1. Proceso de atomización

Se debe hacer un mantenimiento integral anual de todos los equipos involucrados (ver anexo I), en el proceso de atomización. El modelo de dicho mantenimiento será de alta disponibilidad, es decir será de tipo correctivo-preventivo sistemático.

El mantenimiento del proceso de atomización debe ser cumplido a cabalidad por el departamento de mantenimiento de la empresa C. A. Ecuatoriana de Cerámica, el cual se hará como una medida de estabilización de las variables humedad, granulometría y morfología del polvo atomizado para así eliminar el apareamiento de defectos superficiales (fisura), en el producto Gres Rojo-Monoquema para pisos cerámicos brillantes, formato 43x43. Dicho mantenimiento puede estar sujeto a cambios por disponibilidad de tiempo y recursos de la empresa. Se sugiere que el mejor tiempo para ser ejecutado es en los meses de enero y febrero, ya que en estos meses no se tiene mucha demanda del producto antes mencionado y se eligió dos meses para ser efectuado el mantenimiento debido a que el proceso de atomización debe sufrir una para para que sea efectuado eficientemente el mantenimiento. Se hará como se describe a continuación (tabla 4-11).

**Tabla 4-11** Plan de mantenimiento para el proceso de atomización. C. A. Ecuatoriana de Cerámica

Equipos	Actividad	Tiempo (2 meses)	Tipo de mantenimiento	Importancia	Evidencia
<b>Atomizador Chino</b>	Cambio de pastillas (piezas circulares de metal con orificio en el centro para la pulverización) Cambio de planchas (unidades recubridoras del cuerpo del atomizador), junto con aislante térmico y planchas para dilatación. Soldar lanzas agujereadas.	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	Correctivo	Altísima, debido a la pérdida de temperatura las condiciones del polvo atomizado no son las mejores	
<b>Cambio de ciclones</b>	Preparación de planchas Cambio de planchas (3mm de acero inoxidable).	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	Correctivo	Altísima, debido a la pérdida de polvos finos que deben ser recolectados, lo cual ralentiza la actividad de los operadores.	
<b>Bombas de pistón</b>	Cambio de pistones Cambio de aceite	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	Correctivo-Preventivo	Alta, debido a está es importante para inyectar la barbotina en el atomizador, aunque de igual forma al haber tres de estas se da mantenimiento a la una, mientras la otra trabaja o mientras se hace mantenimiento a otro equipo	
<b>Cámara de combustión</b>	Cambio de revestimiento (ladrillos refractarios) Revisar las condiciones del motor combustión	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	Preventivo	Altísima, debido a que se debe impedir fuga de combustible o mucho más calor.	-

<b>Filtros</b>	Cambio y limpieza de filtros								Preventivo	Alta, debido a que existe ciertos cuerpos extraños presentes en la barbotina que quedan atrapados en estos, por lo cual deben ser limpiados y cambiados para impedir que estos cuerpos lleguen a las lanzas (atomizador), lo cual provocaría taponamiento y ruptura de las mismas.	
<b>Cisternas</b>	Limpieza Cambio de revestimiento (cerámica)								Correctivo- Preventivo	Alta, debido a que dentro de estas se hallan agitadores y tubos propios de las bombas de extracción, que al estar sucia (material plástico o piedras), disminuye las revoluciones de agitador o atascamiento de mangueras de las bombas	
<b>Silos</b>	Limpieza por golpes en el interior y en el exterior								Correctivo	Alta, debido a que dentro de estos se almacenan polvo finos que se solidifican (piedras), que denigran las condiciones del polvo atomizado.	-
<b>Cabezal del atomizador (distribuidor de calor)</b>	Cambiar el codo del tubo por donde entra el calor al atomizador. Arreglo de compuertas (entra de aire caliente)								Correctivo	Altísima, debido a que por el calor puede fusionarse el material del cual está hecho y las compuertas tienden a doblarse por el calor se deben rectificar.	-

Realizado por: Ortega Oscar, 2018



Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)



### 1.13.1.3.2. Readecuación de las líneas de transporte del polvo atomizado

Se recomienda mejorar las condiciones de transporte del polvo atomizado desde su descarga del atomizador a los silos y de los silos a las prensas (Ver anexos G e H). Dichas mejoras consiste en readecuada las estructuras por las cuales el polvo atomizado es transportado, estructuras como bandas de transporte, techo y paredes. Es importante realizar dichas mejoras, debido a que el polvo atomizado al ser transportado pierde o gana humedad por acción de las condiciones ambientales que afectan a este por tener aberturas en las paredes y los techos, teniendo que para un día soleado el polvo pierde humedad y para un día lluvioso el polvo gana humedad porque hay áreas en las cuales si llueve el polvo recibe agua.

En la tabla 4-12 se describen los cambios, los puntos, los rangos y la evidencia (imágenes), que denotan lo imperativo que es el readecua las líneas de transporte del polvo atomizado. Se debe tomar en cuenta que las mejoras aplicarse están relacionadas con el estudio de los rangos de pérdida de humedad que presenta el polvo atomizado, lo cuales son elevados.

**Tabla 4-12** Readecuación a las líneas de transporte del polvo atomizado del atomizador a los silos y de los silos a las prensas 2000 y 4900.

Punto	Actividad	Importancia	Rango de pérdida de humedad	Evidencia (imagen)
Caída de los polvos finos y atomizador bandas 1, 2 y 3	Recubrir los orificios en las paredes y techo	En el área de atomización debe haber corrientes de aire, entrada del sol u lluvia para no afectar la humedad de equilibrio del polvo con el ambiente.	-	
Trayecto del atomizador a los silos (llenado y descarga)	Recubrir los orificios en las paredes y techo	En las bandas por donde es transporta el polvo a los silos existen caídas del sol, brisa y lluvia lo cual altera la humedad de este.	Día soleado 24 horas de reposo = (0,15-0,82) Día nublado 24 horas de reposo = (0,15-0,74)	

Trayecto del polvo atomizado de los silos a la prensa 2000	Recubrir los orificios en las paredes y techo	En las bandas por donde es transporta el polvo de los silos a la prensa 2000, existen caídas del sol, brisa y lluvia lo cual altera la humedad de este.	Prensa 2000 Mezcla de silos – después de imanes = (0,03-0,15) Después de imanes- tolva de la prensa = (0,01-0,10)	
Trayecto del polvo atomizado de los silos a la prensa 4900	Recubrir los orificios en las paredes y techo	En las bandas por donde es transporta el polvo de los silos a la prensa 4900, existen caídas del sol, brisa y lluvia lo cual altera la humedad de este.	Prensa 4900 Mezcla de silos – después de imanes = (0,01-0,12) Después de imanes- tolva de la prensa = (0,01-0,12)	

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

#### 1.13.1.3.3. Método de determinación de humedad estandarizado

### MÉTODO: DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

#### Objeto

- Establecer el método de ensayo para la determinación de la cantidad de agua presente en una muestra de material determinado.

#### Lugar

Laboratorio y/o área de producción

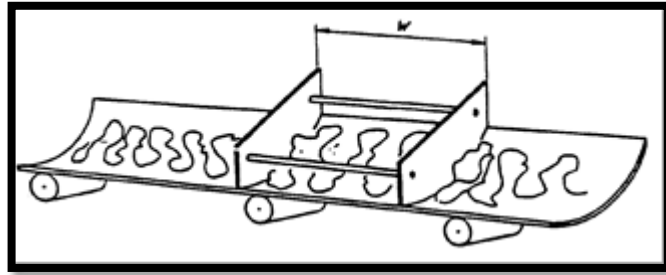
#### Equipo

- Estufa o lámpara halógena para secar la muestra.
- Recipientes para pesar la muestra.
- Rodillo para romper la muestra de bizcocho (En el caso de determinar la Humedad residual)
- Recipiente rectangular de dimensiones (36x15cm)

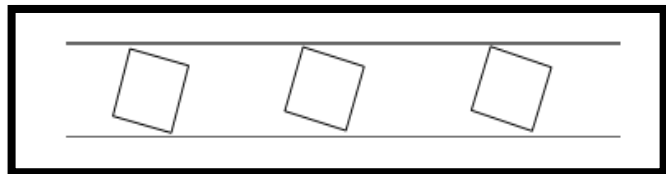


## Procedimiento

- Toma de muestra: La muestra se toma en el Atomizador o en la Prensa. El recipiente, se pasa a lo largo y ancho de la banda y luego se homogeniza el polvo atomizado pasando tres veces el recipiente en forma diagonal al ancho de la banda.



**Figura 4-2** Recipiente para toma de muestra para el polvo atomizado y fino  
**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)



**Figura 4-3** Toma de muestra para el polvo atomizado y fino  
**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

- Tratamiento de muestra: Se almacena la muestra en bolsas de plástico de 5 lb de capacidad para conservar su humedad, de lo cual 2lb son introducidas en la misma por muestra tomada, permitiendo así su utilización en pruebas y análisis posteriores.
- Pesarse una cantidad de muestra (10 o 50g) sobre un recipiente adecuando previamente tarado y anotar su peso como H1.
- Colocar en la estufa aproximadamente 110<sup>0</sup> C o en la lámpara de rayos halógenos por 10 minutos para muestra de 10g o mínimo 30 minutos para muestra de 50g; o hasta peso constante, pesar nuevamente identificando su peso como H2.
- La humedad de la muestra expresada en porcentaje se calcula mediante la siguiente ecuación

Muestra de 50 g el cálculo es:

$$\text{Humedad \%} = (50 - H2) * 2$$

Siendo: H2 = Peso de la muestra seca.

Muestra es 10 g. en cálculo es el siguiente:

$$\text{Humedad \%} = (10 - H2) x 10$$

### Frecuencia

- Dos humedades cada media hora y por muestra, Dos muestras cada 15 minutos (se emplean dos lámparas)

#### 1.14. Costos de implementación de la propuesta.

En el presente inciso se presentará el costo del mantenimiento que se hará al proceso de atomización, mismo que fue calculado tomando solo en consideración las ganancias obtenidas por la venta del producto final Monoquema para revestimientos cerámicos formatos 43x43 y 40x40, en los dos meses que durará el mantenimiento. Este valor se relacionará con valor de pérdida por fisura que sufre la empresa por año.

En la tabla 4-13, se muestran los valores calculados para los costos de pérdida por fisura que sufre la producción de Monoquema para revestimientos cerámicos formatos 43x43 y 40x40, por año.

**Tabla 4-13 Costos de producción e ingresos de venta, del producto final por año para los formatos 43x43 y 40x40.**

Costos por producción anual sin fisura	Costos de producción anual con fisura	Ingresos anuales sin fisura	Ingresos anuales con fisura
\$	\$	\$	\$
13.500.000	16200000	21000000	18000000

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

En la tabla 4-14 se muestran los costos por manteniendo del proceso de atomización para 2 meses y las ganancias de venta del producto final con y sin fisura (venta menos los pérdidas por mantenimiento).

**Tabla 4-14 Costos de producción, pérdidas por fisuras y ganancias por producción sin fisura**

<b>costos por fisura en producción</b>	<b>Pérdida por fisura en ventas</b>	<b>Costos por mantenimiento al año</b>	<b>Ganancia anual sin fisura y mantenimiento</b>	<b>Ganancia anual con fisura</b>	<b>Diferencia (Ganancia anual con mantenimiento )</b>
<b>\$</b>	<b>\$</b>	<b>\$</b>	<b>\$</b>	<b>\$</b>	<b>\$</b>
2.700.000	3.000.000	1.950.000	5.550.000	1800000	3.750.000

Realizado por: Ortega Oscar, 2018

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

El anterior balance nos sugiere que al aplicar las mejoras en el proceso de atomización, afirmando que con este se elimine en su totalidad el defecto superficial de fisura en el producto final se obtendrán \$ 3.750. 000 como margen de ganancia al año, asumiendo la venta total de 1000000 m<sup>2</sup>, para el formato 40x40 y 2000000 m<sup>2</sup> para el formato 43x43.

Nota: El balance propuesto anteriormente se hizo tomando como referencia los costos de producción e ingresos netos para un producto con y sin fisura. También se calculó el costo por mantenimiento para dos meses de producción basados en la ganancia de producción de 4500 m<sup>2</sup> para el formato 40x40 y 8500 m<sup>2</sup> para el formato 43x43.

## CONCLUSIONES

- El método de determinación de humedad se estandarizó aplicando nuevas consideraciones al método anterior los cuales se encaminaron a la toma de muestra y número de determinaciones por hora. Siendo que para la toma de muestra del polvo atomizado se hará con un recipiente de dimensiones (36x15 cm), se homogenizará la muestra pasando el recipiente a lo largo y ancho de la banda, se pasará el mismo tres veces en forma diagonal por la banda y se almacenará la muestra en una bolsa de 5 lb para su uso posterior.

Para el número de determinaciones de humedad por muestra, se tiene que, se deberá hacer dos determinaciones de humedad cada media hora por muestra empleando dos lámparas. Con estas consideraciones se asegurará que los resultados de humedad determinados por el operador y los determinados por el auditor sean similares y libre de fluctuaciones.

- Se analizaron las variables independientes; temperatura de calefacción, viscosidad y presión de la barbotina con respecto a las variables dependientes; humedad, granulometría (mallas 40, 60 y finos) y morfología del polvo atomizado. Con lo cual se conoció la relación entre cada variable y a su vez el nivel de significancia de estas con el apareamiento de fisura en el producto final.

Para lo cual se determinó mediante el análisis de regresión lineal múltiple para las variables antes descritas, que las variable granulometría para las mallas 40, 60 y finos, explica el apareamiento de fisura en un 99,6 % (R cuadrado-silos aleatorios) y un ANOVA de 0,01 que explica que esta variable influye lineal y de forma conjunta con el apareamiento de fisura en el producto final. A su vez también se determinó que de forma conjunta para las imágenes de los silos aleatorios el grano del polvo atomizado, al no presentar forma esférica y oquedad en el centro genera fisura siendo así que la causa para el apareamiento de fisura en el producto final es la incorrecta geomorfología del polvo atomizado.

- Se implementaron las siguientes mejoras en el proceso de atomización; se eliminó la descarga de los polvos finos provenientes de los hidrociclones en las bandas transportadoras del polvo atomizado, se empleó barbotina con una viscosidad entre (61-65 s), densidad de 1,65g/cm<sup>3</sup>, presión de bombeo entre (19-20 bar) y residuo entre (8-9,5%), y se trabajó con 10 lanzas, 28 toberas o boquillas y diámetros entre (2,0-2,5 mm). Con lo cual se obtuvieron valores estándar para las siguientes variables; humedad de atomizado: (7,0-7,9%), granulometría: malla 40

(39-45 g), malla 60 (43-48 g) y finos (<1), y rango de pérdida de humedad en el transporte del polvo a las prensas (0,00-0,07 %) y después del reposo en los silos (0,08-0,28 %). La morfología al ser cualitativa no se obtuvieron valores pero si características como: grano de forma esferoidal y con oquedad en el centro.

- La fisura fue nuestro objeto de comparación ente las condiciones iniciales y finales del polvo atomizado, teniendo que antes de la implementación de mejoras en el proceso de atomización (condiciones iniciales), el polvo atomizado presentaba una geomorfología pésima (grano sin forma esferoidal y oquedad en el centro), lo cual provocó que la fisura llegara hasta un 18 % en el producto final, a diferencia de las condiciones finales, donde se obtuvo una geomorfología óptima (grano con forma esferoidal y oquedad en el centro), lo cual provocó la eliminación de fisura en el producto final.
- Se implementó el análisis de plasticidad y morfología en la empresa, obteniéndose resultados satisfactorios que hoy en día permiten a los jefes de área tomar decisiones acertadas en el manejo de las variables a controlar. Dichos resultados son; para la plasticidad: se obtuvo para la formulación MQ-2016.7/C un índice de plasticidad de 11,26 (con defloculante) y 11,70 (sin de floculante), y para la formulación MQ-2016-7/D un índice de plasticidad de 11,70 (con defloculante) y 12,86 (sin de floculante), siendo estos valores manejables; para la morfología: se efectúan análisis geomorfológicos cada semana con el objetivo de conocer cómo está el grano y así prevenir el aparecimiento de fisuras en el producto final (Gres rojo-Monoquema revestimiento de pisos cerámicos brillantes formato 43x43).

## **RECOMENDACIONES**

- Si la empresa anhela eliminar el porcentaje de fisura en el producto final (Gres rojo-Monoquema revestimiento de pisos cerámicos brillantes formato 43x43), debe cumplir a cabalidad con las actividades sugeridas en el plan de mejoras haciendo del mantenimiento del proceso de atomización una actividad obligatoria cada año.
- Se debe tomar la información recabada en esta investigación como punto de partida para futuras investigaciones que continúen la línea de producción de cerámica siendo la operación de prensado la posible siguiente línea de investigación.
- Tomando como referencia el análisis de plasticidad de la presente investigación sería muy importante seguir una línea de estudio en la cual se pueda determinar los índices de plasticidad de varios tipos de suelos para conocer qué tan plásticos y manejables son.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ABELLÁN NEBÓT, J V, y otros.** Estudio de los factores de transmisión de la variabilidad dimensional en la fabricación de baldosas cerámicas. Vilafranca : s.n., 2015.

**ALI EXPRESS.** Ali Express. [En línea]. [Citado el: 17 de Febrero de 2018.]  
<https://es.aliexpress.com/item/ISO-flow-cup-viscometer-viscosity-cup-varnish-paint/32740297432.html>. 2010.

**ASHBY, Michael F y Jones, David R.** *Materiales para Ingeniería 2: introducción a la microestructura, el procesamiento y el diseño*. Barcelona : Reverte, 2009.

**ASOCIACIÓN ESPAÑOLA TÉCNICOS CERÁMICOS.** *Tecnología Cerámica Aplicada* . Madrid : SACMI, 2004. ISBN: 84-87683-29-0. 2004.

**C. A. ECUATORIANA DE CERÁMICA** . *Manual del Sistema de Gestión de la Calidad*. Riobamba : s.n., 2015.

**C. A. ECUATORIANA DE CERÁMICA.** *Parámetros de calidad para polvo atomizado* . Riobamba : s.n., 2017.

**CADAHÍA LÓPEZ, Carlos.** *Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. Madrid : Mundi Prensa, 2005.

**CANILLADA HUERTA, África.** *Cerámica: Origen, Evolución Y Técnicas*. Vilafranca : s.n., 2007.

**CASTELLS, Xavier Elías.** *Sistemas de tratamiento térmico. Procesos a baja temperatura, secado*. Madrid : Diaz de Santos, 2012. 978-84-9969-134-3. 2012.

**CEVALLOS CONDO, Miriam Jakeline.** *Optimización del proceso de prensado, líneas de esmaltación y producto terminado monoquema del formato 31x31 en la planta de azulejos de la C. A. Ecuatoriana de Cerámica*. Riobamba : s.n., 2010.

**COLLADO TRABANCO, Pablo, NUÑO, David y GANTES, Isabel E.** *Supervisión de ejecución de acabados, revestimientos y cubiertas.* Madrid : Lex Nova, 2006.

**COULSON, J.M. y Richardson, J.F.** *Ingeniería Química: Operaciones básicas.* Barcelona : Reverté, 1988. Vol. II. 1988.

**CRESPO VILLALAZ, Carlos.** *Mecánica de suelos y cimentaciones.* México : Limusa Noriega, 2004.

**DI GERONIMO CAMACHO, Elizabeth Carolina.** Estudio de las variables del polvo atomizado y su influencia. Sartenejas : s.n., 2008.

**DÍAZ, Alejandra y Uría, Rosario.** *Buenas prácticas de manufactura: una guía para pequeños y medianos agroempresarios.* San José : IICA, 2009. ISSN 1817-7603. 2009.

**DICCIONARIO DE LA REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA.** Molino. Madrid : s.n., 2018.

**FACULTAD DE INGENIERÍA. Universidad de Buenos Aires.** *Industrias I: Molienda.* Buenos Aires : s.n., 2015.

**FERNÁNDEZ CHITI, Jorge.** *Diccionario de Cerámica.* México : s.n., 1987.

**FERNÁNDEZ FERRER, Julian.** *FÍSICA. En la Ciencia y en la Industria.* Barcelona : Reverté, 2006.

**FERNANDEZ NAVARRO, José M.** *Plasticidad de las arcillas .* Juan de la Sierra : s.n., 2012.

**GONZÁLEZ MACÍAS, María Auxiliadora y CHÁVEZ SOLEDISPA, Génesis Denisse.** *Análisis de la Industria Ecuatoriana de Cerámica Plana y Porcelanato: Estrategias para su Competitividad.* Guayaquil : s.n., 2017.

**GROOVER, Mikell J.** *Fundamentos de Manufactura Moderna. Materiales, procesos y sistemas.* México : Pearson, 1997.



**INSTITUT DE PROMOCIÓ CERÀMICA.** *Resistencia a la flexión.* Castellón : s.n., 2017.

**INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA.** *Bombas.* Madrid : s.n., 2017.

**INSTRON.** *Módulo de rotura.* Madrid : s.n., 2017.

**KALPAKJIAN, Serope y Schmid, Steven R.** *Manufactura Ingeniería y Tecnología.* México : Pearson Educación, 2002.

**KURLAT, José.** *Producción de alimentos : recomendaciones para la producción de alimentos.* Tercera. San Martín : INTI. ISBN 978-950-532-160-5. 2011.

**LARA, Luis Fernando.** *Diccionario del Español de México.* México : Pixelee, 2011.

**LATHAM INTERNACIONAL.** *La bomba de piston hidraulico .* 2015.

**MADRID, Antonio.** *Aprovechamiento de los subproductos cárnicos.* Madrid : Acribia S.A. ISBN 8471147750. 1999.

**MARTINES I. , Enrique y Liara C. , Leonel.** *Análisis y explicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos.* Marqués : Simposio de Metrología, 2010.

**MARTÍNEZ ÁLVAREZ, Roberto, Rodríguez Junta, Josefa y Sánchez Matín, Luis.** *QUÍMICA. Un proyecto de la ACS.* Barcelona : Reverté, 2007.

**MONDRAGÓN , Rosa, y otros.** *El proceso de secado por atomización: formación de gránulos y cinética de secado de gotas.* Madrid : Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio , 2013.

**MONRÓS, Guillermo, y otros.** *El color de la cerámica.* Catelló : Athenea, 2003.

**OCÓN, Joaquín y TOJO, Gabriel.** *Problemas de Ingeniería Química.* s.l. : Aguilar, 1980.

**OILFIELD GLOSSARY.** Oilfield Glossary en Español. *Glossary.Oilfield*. [En línea] [Citado el: 16 de febrero de 2018.]

<http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/d/deflocculant.aspx>.2018

**PARRAS ARMENTEROS, Juliana.** *Minerología y propiedades cerámicas de pizarras paleozoicas de ciudad real*. Madrid : Universidad de Castilla - La mancha, 1998.

**RESUMEN DESCRIPTIVO DE LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA CERÁMICA. HB.** Historias y Bibliografías .2016.

**RIGOLA LAPEÑA , Miguel.** *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales*. Barcelona : Marcombo Boixareu, 1990.

**RODRIGUEZ, Ernesto.** *Metodología de la Investigación*. México : s.n., 2005.

**SANFELIU, T., Jordán, M. M. y Boix, A.** *Contaminación y Medio Ambiente*. Santiago : Universitat Jaume I, 2005. 84-8021-487-2. 2005.

**UNIVERSIDAD DE OVIEDO (UNIOVI).** Cerámicas/Secado. [En línea]. [Citado el: 23 de Noviembre de 2017.] <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion6.SECADO.pdf>. 2016.

**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DEL TÁCHIRA.** *Bomba*. Venezuela : s.n., 2015.

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA.** *Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustible*. Barcelona : UPC, 2010.

**UNIVERSAL SERIAL BUS (USB). Microscopio Digital.** Microscopio Digital Zoom 200x Farmabionics MicroEye Negro 1.3 MP. *USB. Microscopio Digital*. [En línea] 2018. [Citado el: 16 de febrero de 2018.] <http://usbmicroscopiodigital.com.mx/productos/microscopios-usb/microscopio-digital-usb-de-200x-1-3-mp-negro.html>. 2018.

## ANEXOS

### ANEXO A. TABLA DE REGISTRO

Tabla de registro. Llenado de los silos

PARÁMETRO	UNIDAD	CANTIDAD
Fecha de toma de muestra		
Hora de toma de muestra		
Densidad de barbotina		
Viscosidad de barbotina		
Residuo de barbotina		
Temperatura del polvo atomizado		
Temperatura en el punto de muestreo (polvo atomizado)		
Número de lanzas funcionales		
Número de boquillas funcionales		
Temperatura de quema		
Presión de bombeo de barbotina		
Humedad ambiental		
Temperatura ambiental		
Número de silo a llenar		
Número de lámpara		

Realizado por: Ortega Oscar, 2017

Fuente: (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

## ANEXO B. TABLA DE REGISTRO

Tabla de registro. Descarga de los silos

PARÁMETRO	UNIDAD	CANTIDAD
Fecha de toma de muestra		
Hora de toma de muestra		
Temperatura del polvo atomizado		
Humedad ambiental		
Temperatura ambiental		
Número de silo a llenar		
Número de lámpara		

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2017

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

## ANEXO C. TABLA DE REGISTRO

Tabla de registro. Recorrido del polvo a las prensas 2000 y 4900

PARÁMETRO	UNIDAD	CANTIDAD
Fecha de toma de muestra		
Hora de toma de muestra		
Formato del prensado		
Punto de muestreo		
Temperatura del polvo atomizado		
Silos ocupados		
Humedades de los silos ocupados		
Composición de la pasta		
Número de lámpara		

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2017

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

## ANEXO D. TABLA DE REGISTRO

Tabla de registro. Plasticidad de la pasta utilizada en el proceso de atomizado.

PARÁMETRO	UNIDAD	CANTIDAD
Fecha de toma de muestra		
Hora de toma de muestra		
Densidad de barbotina		
Viscosidad de barbotina		
Residuo de barbotina		

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2017

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

## ANEXO E. TABLA DE REGISTRO

Tabla de registro. Plasticidad de la pasta utilizada en el proceso de atomizado.

PARÁMETRO	UNIDAD	CANTIDAD
Fecha de toma de muestra		
Hora de toma de muestra		
Temperatura de quema		
Presión de bombeo de barbotina		
Densidad de barbotina		
Viscosidad de barbotina		
Residuo de barbotina		

**Realizado por:** Ortega Oscar, 2017

**Fuente:** (C. A. Ecuatoriana de Cerámica, 2017)

## ANEXO F. CARTA DE CONFIDENCIALIDAD



**ESPOCH**  
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

En Riobamba, a 31 de enero  
de 2018

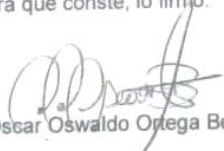
Ingeniero Marco Núñez  
**GERENTE DE GENERAL ECUACERÁMICA**

Por medio de la siguiente carta, yo Oscar Oswaldo Ortega Betancourth, mayor de edad y en plenas facultades mentales, me obligo a mí mismo a no divulgar ni utilizar en mi conveniencia personal la distinta información empresarial obtenida mediante mi trabajo como tesista en ECUACERÁMICA, ni proporcionaré a otras personas o empresas, ni de manera verbal, ni de manera escrita, ya sea directa o indirectamente, información alguna que pueda perjudicar los intereses de ECUACERÁMICA.

- No revelaré ninguna información sobre el sistema de riego.
- No revelaré ninguna información sobre el modo de abonar la tierra.
- No revelaré ninguna información sobre el sistema de almacenaje y transporte.

Mi trabajo como tesista, únicamente se basará en la optimización de la operación del secado para la fabricación de Porcelanato. Quedando sujeto a la responsabilidad civil que por daños y perjuicios pudiera causar, así como de las distintas sanciones en las que pudiera incurrir de acuerdo a la ley. Este acuerdo de confidencialidad será mantenido de manera indefinida, ahora y en el futuro, hasta que la empresa interesada lo de por finalizado, o porque la propia empresa sea disuelta.

Y para que conste, lo firmo:

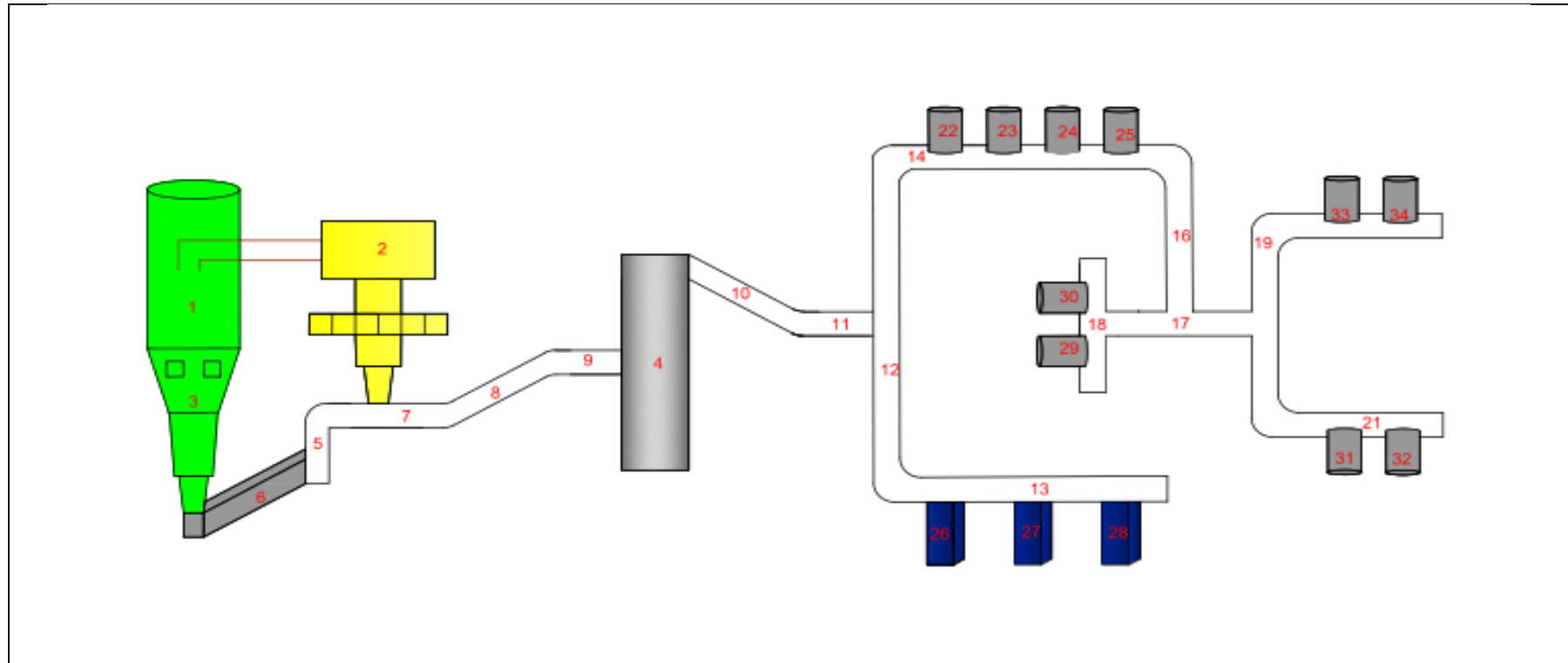
  
Sr. Oscar Oswaldo Ortega Betancourth

RECIBIDO  
ESP  
H

RECIBIDO 31 ENE 2018



## ANEXO G. ESQUEMA DE TRANSPORTE DEL POLVO DEL ATOMIZADOR A LOS SILOS



1. Atomizador chino  
 2. Hidrociclón  
 3. Ventosas  
 4. Elevador  
 5. Vibrotamiz  
 6. Banda 1  
 7. Banda 2

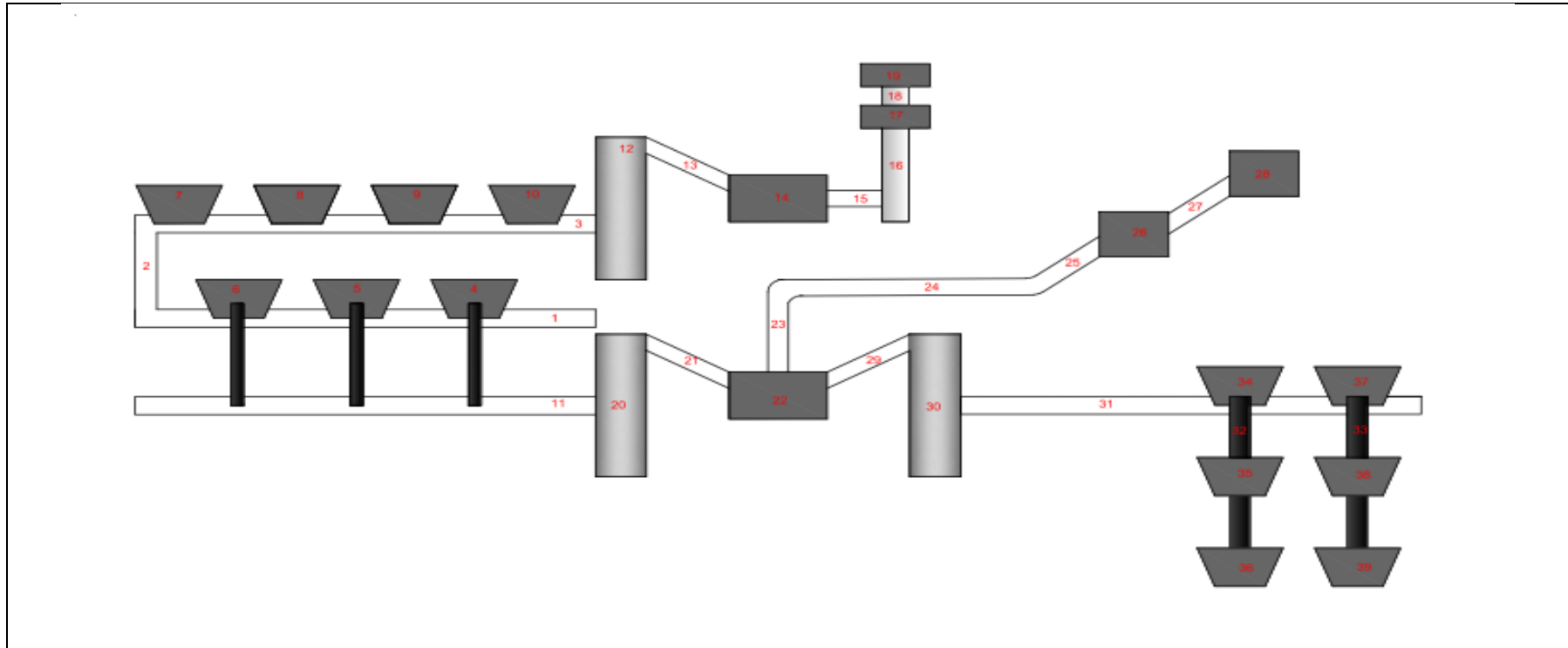
8. Banda 3  
 9. Banda 4  
 10. Salida del elevador  
 11. Banda 5  
 12. Banda 6  
 13. Banda 7  
 14. Banda 8

15. Banda 9  
 16. Banda 10  
 17. Banda 11  
 18. Banda 12  
 19. Banda 13  
 20. Banda 14  
 21. Banda 15

22. Silo 1  
 23. Silo 2  
 24. Silo 3  
 25. Silo 4  
 26. Silo 5  
 27. Silo 6  
 28. Silo 7

29. Silo 8  
 30. Silo 9  
 31. Silo 10  
 32. Silo 11  
 33. Silo 12  
 34. Silo 13

## ANEXO H. ESQUEMA DE TRANSPORTE DEL POLVO DE LOS SILOS A LAS PRENSAS



1. Banda 16  
2. Banda 17  
3. Banda 18  
4. Silo 5  
5. Silo 6  
6. Silo 7  
7. Silo 1  
8. Silo 2

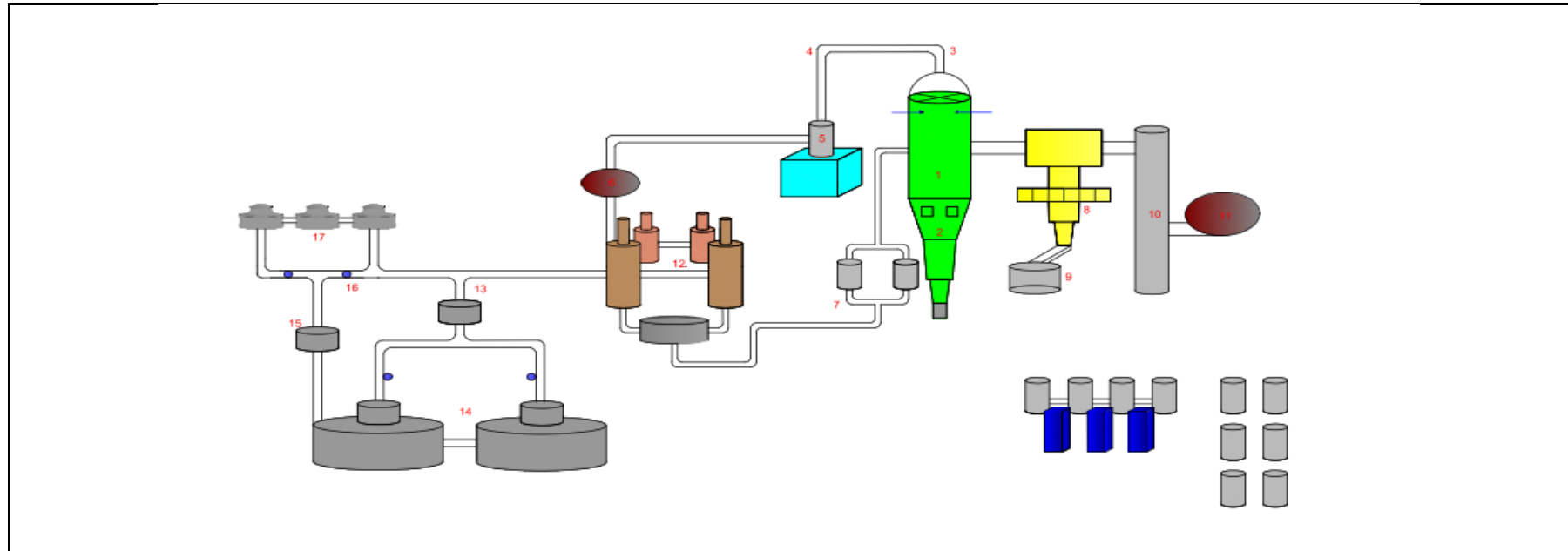
9. Silo 3  
10. Silo 4  
11. Banda 21  
12. Elevador 2  
13 Salida elevador 2  
14.Tamiz vibratorio  
15. Banda 19  
16. Banda 20

17. Vibrotamiz  
18. Tolva  
19. Prensa 2000  
20. Elevador 3  
21.Salida elevador 3  
22. Vibrotamiz  
23. Banda 22  
24. Banda 23

25. Banda 24  
26. Vibrotamiz  
27. Tolva  
28. Prensa 4900  
29.Salida elevador 4  
30. Elevador 4  
31. Banda 25  
32. Banda 26

33. Banda 27  
34. Silo 8  
35. Silo 10  
36. Silo 11  
37. Silo 9  
38. Silo 12  
39. Silo 13

## ANEXO I. ESQUEMA DEL PROCESO DE ATOMIZACIÓN-MANTENIMIENTO



1. Planchas del atomizador  
2. Distribuidor de aire caliente  
3. Ventosas  
4. Codo del distribuidor de aire caliente

5. Calentador  
6. Tobera del quemador  
7. Filtros  
8. Ciclones  
9. Cisterna de polvos finos

10. Ventilador principal  
11. Tobera del ventilador  
12. Bombas de pistón  
13. Cisterna central  
14. Vibrotamiz-cisterna central

15. Cisterna de recolección  
16. Bombas centrífugas  
17. Vibrotamices- cisternas de recolección  
18. Silos

## ANEXO J. CONFORMACIÓN DE PLACAS CON BARBOTINA EN LABORATORIO



1. Pesaje de componentes para producción de barbotina



2. Pulverización de barbotina sometida a secado



3. Polvo seco y homogenizado con agua



4. Prensado del polvo atomizado



5. Placas conformadas- barbotina sin defloculante



6. Placas conformadas- barbotina con defloculante