



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**CONTROL DE INVENTARIOS EN PLANTA,  
MEDIANTE LA EVALUACIÓN DEL PROCESO DE  
SECADO CON ÉNFASIS EN LA PÉRDIDA DE  
HUMEDAD EN EL MOLDE Y SECADO AMBIENTE DE  
LAS PIEZAS, TAZAS Y “ONE PIECE” DE LA  
COMPAÑÍA SENCO COLOMBIANA S.A.S**

Autor

Juan Pablo Cuervo Aguiar

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería  
de Materiales  
Medellín, Colombia  
2019



Control de inventarios en planta, mediante la evaluación del proceso de secado con énfasis en la pérdida de humedad en el molde y secado ambiente de las piezas, tazas y “*one piece*” de la compañía Senco Colombiana S.A.S

Juan Pablo Cuervo Aguiar

Informe de práctica como requisito para optar al título de:  
Ingeniero de Materiales.

Asesores:

María Esperanza López Gómez, Phd en Ciencia y Tecnología de Materiales

Jhon Bañol Gutiérrez, Ingeniero Químico

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Materiales.  
Medellín, Colombia  
2019.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a la compañía Senco Colombiana S.A.S por haberme brindado la oportunidad de realizar mi práctica empresarial, esta fue una experiencia enriquecedora para mi vida profesional y también como persona, gracias al ingeniero Jhon Bañol, director de producción de planta por la confianza puesta en mí, por su acompañamiento y buenos consejos para la resolución del proyecto, así como los demás para mi vida profesional.

A todos los auxiliares del laboratorio de Senco Colombiana S.A.S por su ayuda en la resolución del proyecto.

A mi maestra y asesora María Esperanza López por su acompañamiento en mi formación como profesional y personal, brindándome siempre los mejores consejos, los cuales agradeceré por siempre; siendo ella también directora del Laboratorio de Mineralurgia y Materias Primas lugar al que le tengo bastante aprecio por acogerme los últimos años de mi formación, en donde aprendí demasiado y a mi compañero Sebastian Úrsula por todo su apoyo en este proceso.

Por último, agradezco a mi madre por su inmenso apoyo durante todo el proceso, sin ella esto no hubiera sido posible.

## RESUMEN

Con la automatización en las líneas de producción las compañías que pueden disponer de este servicio logran mejorar sus procesos, disminuyendo tiempos de procesamiento, inventario en planta y también aumentando su productividad. Pero otra es la realidad para las pequeñas compañías que no cuentan con el capital suficiente para lograr una automatización completa en sus líneas de producción, es entonces cuando el “*learn manufacturing*” o “mejora continua” ambas temáticas haciendo referencia al estudio de los procesos involucrados en toda la línea de producción para ejecutar las mejoras posibles en estos, con el fin de mejorar, viéndolo reflejado en disminución de tiempos, inventarios en planta y aumento de la producción. Es por esto que, según lo anteriormente mencionado, en este trabajo se ha estudiado el proceso de secado para dos referencias de tazas evaluando el proceso convencional que tenía la compañía teniendo en cuenta parámetros como temperatura, humedad relativa, tiempo y lugares de permanencia de las tazas durante el secado.

Con este estudio se logró la disminución del 29% del tiempo de secado para las tazas únicamente, lo que implica una reducción también del 29% de inventario en planta y por su puesto de la liberación de un nuevo espacio en planta y de un trabajo de menor desgaste físico para el operario.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>LISTADO DE FIGURAS</b> .....	7
<b>LISTADO DE TABLAS</b> .....	8
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	9
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	10
2.1 General .....	10
2.2 Específicos .....	10
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	11
<b>3.1 MATERIAS PRIMAS CERÁMICAS PARA PASTAS</b> .....	11
3.1.1 MATERIAS PRIMAS PLÁSTICAS .....	11
3.1.2 MATERIAS PRIMAS NO PLÁSTICAS .....	15
<b>3.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN</b> .....	20
<b>3.3 PROCESO DE SECADO</b> .....	21
3.3.1 TÉCNICAS DE SECADO.....	24
3.3.2 CURVAS DE SECADO .....	25
<b>4. METODOLOGÍA</b> .....	26
<b>4.1 CHEQUEO Y SEGUIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE COLADA</b> .....	27
4.1.1 MEDIDA DE LA DENSIDAD .....	27
4.1.2 MEDIDA DE LA VISCOSIDAD .....	27
4.1.3 MEDIDA DEL ESPESAMIENTO.....	27
<b>4.2 MEDICIÓN DE TIEMPOS DE OPERACIÓN</b> .....	27
<b>4.3 CONSTRUCCIÓN DE CURVAS DE SECADO</b> .....	27
4.3.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	28
<b>4.4 EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE HUMEDAD Y CONTRACCIÓN EN LAS PIEZAS</b> .....	28
4.4.1 HUMEDAD REMOVIDA.....	28
4.4.2 CONTRACCIÓN .....	29
<b>4.5 IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN Y RETRASAN LA PÉRDIDA DE HUMEDAD</b> .....	29
<b>4.6 DETERMINACIÓN DE LAS POSIBLES CAUSAS A LOS PROLONGADOS TIEMPOS DE PÉRDIDA DE HUMEDAD</b> .....	29
<b>4.7 PLANEACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS PARA LA APLICACIÓN A LAS SOLUCIONES ENCONTRADAS</b> .....	30
<b>5. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....	31
<b>5.1 CONDICIONES DE LA SUSPENSIÓN DE COLAJE</b> .....	31

<b>5.2 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO PARA TAZAS .....</b>	<b>33</b>
<b>5.3 PROPUESTA PARA IMPLEMENTAR EN EL PROCESO DE SECADO....</b>	<b>37</b>
<b>5.4 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO PROPUESTO .....</b>	<b>40</b>
<b>5.5 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO PARA <i>ONE PIECE</i> .....</b>	<b>41</b>
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>46</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>47</b>

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del agua libre o intersticial y el agua ligada en los alrededores de la partícula cerámica [6]. .....	23
<b>Figura 2.</b> Variación del rendimiento del secado en función del tiempo [1]. .....	23
<b>Figura 3.</b> Esquema del proceso de pérdida de humedad. a) Estado inicial luego de desmoldeado. b) Evaporación del agua en la superficie de la taza. c) Ascenso del agua hacia la superficie por los capilares. d) Taza con 0,5% de humedad aproximadamente [8]. .....	24
<b>Figura 4.</b> Representación del comportamiento de: a) curva de Bigot. b) diagrama de Sherwood [1]. .....	25
<b>Figura 5.</b> De izquierda a derecha el diseño de la one piece seguida de la taza. Fuente Departamento de Diseño Senco Colombiana S.A.S. ....	26
<b>Figura 6.</b> Metodología propuesta para la resolución del proyecto. ....	26
<b>Figura 7.</b> Esquema de obtención de muestras para la elaboración de las probetas. ....	28
<b>Figura 8.</b> Variación de la densidad de la suspensión de colaje C-247. ....	31
<b>Figura 9.</b> Variación de la viscosidad de la suspensión de colaje C-247. ....	32
<b>Figura 10.</b> Variación del espesamiento de la suspensión de colaje C-247. ....	33
<b>Figura 11.</b> Curva de secado para el proceso convencional de las tazas. ....	35
<b>Figura 12.</b> Curva de secado en la que el fenómeno de aumento en la humedad es más notorio. ....	36
<b>Figura 13.</b> Inconveniente presente en la bodega. ....	36
<b>Figura 14.</b> Variación del rendimiento en el proceso de secado convencional de la Compañía. ....	37
<b>Figura 15.</b> Esquema del orden de los ensayos realizados .....	39
<b>Figura 16.</b> Curva de secado con el proceso propuesto. ....	39
<b>Figura 17.</b> Variación del rendimiento del proceso propuesto. ....	40
<b>Figura 18.</b> Diferentes ubicaciones de la one piece durante el secado. ....	43
<b>Figura 19.</b> Curva de secado para el proceso convencional de las one piece. ....	44
<b>Figura 20.</b> Variación del rendimiento del proceso de secado convencional para las <i>one piece</i> . ....	44

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición mineralógica típica de arcillas y caolines para sanitarios [2]. .....	14
<b>Tabla 2.</b> Composición química definida por el óxido del feldespato sódico y el feldespato potásico [2]. .....	16
<b>Tabla 3.</b> Composición química del óxido de dos chamotas distintas, una con un alto coeficiente de dilatación térmica y otra con uno bajo [2]. .....	20
<b>Tabla 4.</b> Resumen del proceso de secado convencional y sus parámetros.....	34
<b>Tabla 5.</b> Resumen del prototipo de secado y sus parámetros. ....	38
<b>Tabla 6.</b> Resultados de la clasificación de las tazas en el proceso de secado propuesto. ....	41
<b>Tabla 7.</b> Resumen de proceso de secado convencional para las one piece y sus parámetros. ....	42

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde décadas atrás, el sector de la fabricación de materiales cerámicos tradicionales (ladrillos, sanitarios, vajilla y baldosas) ha conocido un enorme desarrollo, en este caso en particular la porcelana sanitaria ha conocido una revolución productiva y de mercado, inducida, por una parte, por el incremento del mercado de la construcción residencial e industrial y, por otra parte, intentar mejorar la producción, además de la mejora de la calidad de vida de los trabajadores del sector. Gran parte de este desarrollo es debido a que el trabajo manual que este proceso conlleva, se ha pasado, progresivamente al desarrollo de la mecanización del trabajo, a la sustitución paulatina también de un conjunto de actividades de control y organización, mediante la aplicación de los oportunos sistemas de automatización electrónica de las líneas de producción [1].

Todos estos cambios pueden verse evidenciados en la uniformidad del proceso de producción y la transformación del papel humano. Claro está que esta mecanización tiene un costo elevado, lo que la hace de difícil acceso para empresas pequeñas en crecimiento que no cuentan con los suficientes recursos para llegar a ella, pero que aun así se preocupan y esmeran por obtener mejoras en sus procesos con la investigación y organización lógica en sus procesos [1][2]. No obstante, actualmente no se han desarrollado estudios que favorezcan la producción de porcelana sanitaria para empresas pequeñas en desarrollo, puesto que el desarrollo hasta ahora comprende la mecanización y automatización en las líneas de producción, por lo que se requiere de más investigación que pueda favorecer a las pequeñas empresas.

Es así como en este trabajo se ha querido evaluar el proceso de secado de las piezas, tazas y *one piece* fabricadas por la compañía Senco colombiana S.A.S.; donde con una correcta evaluación, es decir crítica y asertiva del proceso de secado de estas piezas, se chequeen todas y cada una de las variables que estén involucradas, además de llevar a cabo una investigación continua acerca del tema y la realización de diferentes ensayos. Se busca entonces entregarle a la compañía aportes para el mejoramiento de este proceso, que le permita seguir el camino de crecimiento.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 General**

Disminuir el inventario en planta, que se deriva del proceso de conformado de piezas cerámicas por colaje, evaluando el secado de las tazas y *one piece* fabricadas por la Compañía Senco Colombiana S.A.S.

### **2.2 Específicos**

- Evaluar el comportamiento de las piezas objeto de estudio mediante el empleo de curvas de secado.
- Evidenciar el cambio que sufren las piezas en las diferentes etapas de secado (pérdida de humedad en el molde, secado ambiente, presecado, secado a 50°C, 60°C, 80°C y 90°C) debido a los cambios de humedad.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 MATERIAS PRIMAS CERÁMICAS PARA PASTAS

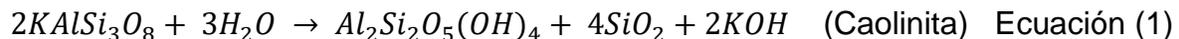
Las materias primas son los materiales de partida con los que se fabrica el sanitario cerámico, generalmente son mezclas de minerales con algunos elementos principales y otros de menor importancia; de acuerdo con su función pueden ser plásticas y no plásticas [2][3]:

- Plásticas
- No plásticas

##### 3.1.1 MATERIAS PRIMAS PLÁSTICAS

Son una mezcla de uno o más materiales arcillosos. La plasticidad de una mezcla está definida por la capacidad que esta tiene de deformarse sin fracturarse cuando se es sometida a esfuerzos externos y su capacidad para mantener la nueva forma luego de retirar el esfuerzo sometido.

Visto desde un punto de vista mineralógico las arcillas están compuestas de aluminio, hidrosilicatos de magnesio y otros elementos de composición variable con una estructura que pertenece a los llamados “filosilicatos” o “silicatos de capa”. Se les reconoce con este último nombre puesto que poseen una estructura laminar en la que las láminas individuales están compuestas, según sea el tipo de mineral, que puede ser por una o dos capas formadas de poliedros de estructura tetraédrica  $SiO_4^{4-}$  (con un átomo de silicio en el centro y cuatro átomos de oxígeno en los vértices) enlazados mediante una capa de poliedros de estructura octaédrica (generalmente con iones trivalentes  $Al^{3+}$  o bien iones bivalentes  $Mg^{2+}$  en el centro y seis hidroxilos  $OH^-$  en los vértices) [2].



- **CAOLINITA**

La caolinita es el principal mineral arcilloso, contempla una estructura de 1:1. Lo que implica una repetición de unidades estructurales formadas por un solapamiento de hojas tetraédricas con hojas octaédricas. En la base de la caolinita las dos hojas se “unen” mediante la sustitución de un hidroxilo  $OH^-$  en cada octaedro por un átomo de oxígeno (en la cima del tetraedro) con carga positiva. Este anión es posteriormente compartido por un tetraedro y dos octaedros de tal modo que cada unidad de hidroxilo  $OH^-$  es equilibrada por los cationes de aluminio de dos octaedros adjuntos. Con este acoplamiento la estructura de la caolinita es eléctricamente neutra. Dicha estructura tiene la oportunidad de repetirse verticalmente en varias ocasiones a la vez que se mantiene la distancia entre los niveles adjuntos. Esta

rigidez estructural es la responsable de que el entramado preservado no pueda expandirse a pesar de la debilidad de las fuerzas en las que depende el mantenimiento de la estructura (van der Waals y los vínculos de hidrógeno) [2].

Teóricamente se ha contemplado que, la caolinita  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  (o también dicha como  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ) compuesta en un 46,54% de  $SiO_2$ , un 39,50% de  $Al_2O_3$  y un 13,96% de  $H_2O$ . Su identificación con la difracción de Rayos X estipula esencialmente el avistamiento de difracciones en plano basal. Las distancias específicas del entramado son: (plano 001) 7,18 Å; (plano 020) 4,47 Å; (plano 002) 3,57 Å; (plano 003) 2,38 Å; (plano 004) 1,78 Å. El patrón de difracción  $CuK\alpha$  da sus máximos en las siguientes posiciones angulares: 12,51 (001); 20,90 (020); 25,00 (002); 51,11(004) [2].

El Análisis Térmico Diferencial (DTA) para la caolinita muestra un pico neto endotérmico a los 550-600 °C, asociado con una transformación de la caolinita en meta-caolín con pérdida de agua por cristalización (reacción de deshidroxilación: ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O \rightarrow Al_2O_3 \cdot 2SiO + 2H_2O \uparrow$ ) y un pico exotérmico a los 950-1000 °C causado por la liberación de la energía del vínculo para generar la neoformación en fases cristalinas consecuencia de la transformación meta-caolines en una estructura de espinela (quien a su vez convertirá en mullita) junto con silicio amorfo [2].

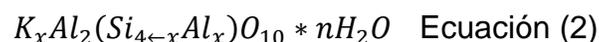
Cuando se le realizan (TG) análisis termogravimétricos, estos enseñan una considerable pérdida de peso alrededor de los 520-600 °C, cuando se da la reacción de deshidroxilación.

- **ILLITA**

Su unidad básica consiste en dos “hojas” tetraédricas que encierran una hoja octaédrica (generalmente trioctaédrica, con un catión bivalente en el centro del octaedro, una forma aún más rara que la dioctaédrica). Virtualmente contempla igual estructura que la montmotillonita exceptuando algunos cationes de silicio los cuales son siempre sustituidos por aluminio al que se le agrega potasio, conservando así el equilibrio eléctrico de la estructura. Igualmente, el catión de potasio se une con seguridad y no queda fácilmente reemplazado como sucede con la montmorillonita. La estructura de la illita también se asemeja a la de la mica, aunque posee una menor sustitución de silicio por aluminio y, por tanto, una menor añadidura de potasio. Además, la illita puede contener moléculas de agua entre sus capas.

La relación  $SiO_2/Al_2O_3$  (sin olvidar las sustituciones en la hoja octaédrica) varían normalmente 2 a 3.

Definir una fórmula para la illita es complejo debido a las múltiples variables en las que el aluminio substituye el silicio, afectando por ende la presencia de potasio podría ser la siguiente, tal y como lo muestra la Ecuación 2 [2]:



Su caracterización mediante difracción de rayos X da como resultado la observación de difracciones en el plano basal. Aparecen reflexiones características a 8.80, 17.80 y 26.70°, que corresponden a las distancias relativas entre hojas de 10, 4.9 y 3.33 Å. Continuando con su caracterización un análisis termogravimétrico (TG) de las illitas enseña un primer pico endotérmico alrededor de los 140 °C (eliminación del agua zeolítica) seguido por un segundo pico alrededor de los 600 °C (eliminación de los hidroxilos). Continuando en los 900 °C se empiezan a formar los silico-aluminatos alcalinos; en presencia de calcio también se forman aluminatos de calcio, silicatos de calcio y ferritas de calcio. La curva DTA para las illitas se caracteriza por unos débiles efectos endotérmicos a temperaturas en las cuales, en otros minerales arcillosos, causan reacciones mucho más intensas. Los análisis termogravimétricos (TG) muestran moderadas pérdidas de peso, en su mayor parte concentradas allá donde la eliminación del agua zeolítica e hidroxilos alcanzan un máximo. Los depósitos nunca están compuestos exclusivamente por este mineral: se encuentra generalmente en asociación con dolomita, calcita, cuarzo, caolinita, montmorillonita y clorita [2].

- **ARCILLAS Y CAOLINES**

La caolinita es el material arcilloso más distinguido por la simplicidad que su estructura presenta, su distribución granulométrica, además de que esta se libera de las sales solubles que la contaminan y otra ventaja excepcional es que es el mineral que más fácilmente se dispersa en agua.

La caolinita, utilizable en la producción de dispersiones acuosas para colada (barbotina) usada en la fabricación de sanitarios, viene acompañada generalmente por otros minerales como el cuarzo, materiales micáceos y porcentajes variados de illita. En los sanitarios cerámicos se conoce a los caolines como materias primas con un alto contenido de caolinitas (superior al 75%-80%), cuarzo y materiales micáceos, mientras que las arcillas son materias primas con un menor porcentaje de caolinitas, un buen porcentaje de cuarzo y porcentajes variables de illitas [2].

La Tabla 1 enseña como varía el contenido de especies mineralógicas entre arcillas y caolines.

**Tabla 1.** Composición mineralógica típica de arcillas y caolines para sanitarios [2].

	<b>Arcillas</b>	<b>Caolines</b>
Caolinita	20-80%	>75-80%
Cuarzo	5-60%	0-20%
Illita	3-40%	0-5%
Material micáceo	/	0-20%
Material feldespático	/	0-12%
Material orgánico	0-3%	/
Impurezas	Compuestos de titanio (anatasa), minerales ferrosos (siderita, marcasita, pirita, limonita), sales solubles (sulfatos y cloritos) esmectitas, materiales arcillosos entre capas.	

Además de diferir en su composición mineralógica y química, arcillas y caolines también difieren en la cantidad de materia orgánica que presentan, es decir al contrario que los caolines, las arcillas pueden contener sustancias orgánicas, las cuales generalmente envueltas en el material durante su transporte desde la roca de origen, al depósito final; mientras que los caolines y las arcillas poseen de manera innata granulometrías totalmente diferentes (mayor para los caolines y por tanto con una menor área de superficie que las illitas y las esmectitas), el proceso de transporte en ocasiones simula un proceso de conminución, permitiendo una diferenciación dimensional entre caolinitas (con componentes de mayor tamaño) y argilitas (con clastos de menor tamaño) [2].

Arcillas y caolines deben de estar presentes en cualquier pasta para sanitarios cerámicos. Debido a que la arcilla le confiere plasticidad y confiere al elemento colado y desmoldado una mayor trabajabilidad; además le brinda la resistencia mecánica necesaria en crudo y en seco con tal reducir cualquier agrietamiento causado por la manipulación o por el encogimiento causado por la evaporación de agua (característica fundamental para este estudio); finalmente, la arcilla ayuda a la vitrificación de la masa durante la cocción [2].

El caolín, por su parte, también ayuda a la vitrificación, aunque en un modo inferior confiere al sanitario plasticidad, permite la optimización del índice de formación de grosor durante la colada, aumenta la blancura del sanitario cocido y, al proveer alúmina, aumenta la resistencia a la deformación a altas temperaturas [2].

La resistencia plástica y mecánica ambas vinculadas a las interacciones químicas y físicas entre las partículas de arcillas y el agua están íntimamente interrelacionadas

y dependen en su mayor parte de los mismos factores. Ambas tienden a aumentar [2]:

- Donde haya mayores porcentajes de componentes plásticos
- Donde los tamaños de las partículas sean menores
- Donde el contenido de sustancias orgánicas es mayor

### **3.1.2 MATERIAS PRIMAS NO PLÁSTICAS**

Las materias primas no plásticas utilizadas para la fabricación de sanitarios contienen minerales que pueden tener una función “desgrasante” (materiales que reducen la plasticidad permitiendo una mejor trabajabilidad y facilitando el secado siendo esto beneficioso para este estudio), o son elementos “fundentes” (que facilitan una cocción a menor temperatura e introducen los elementos necesarios para la formación de nuevas fases. Estos minerales son del tipo feldespáticos (los llamados fundentes), minerales cuarcíferos y chamotas [2][3].

- **MINERALES FELDESPÁTICOS**

Minerales como aquellos del potasio, el sodio y el calcio son los que son esencialmente utilizados en pastas para sanitarios; estos actúan como fundentes creando puntos eutécticos con otros componentes de la pasta, disminuyendo el punto de fusión. Durante la cocción los fundentes forman la masa vítrea, que posee una doble acción [2]:

- Interactúa con el silicio libre y los minerales arcillosos colaborando en la formación de mullitas.
- Reduce la porosidad y lleva a un aumento de la compacidad de la masa cerámica.

Previo a la cocción de minerales feldespáticos, la pasta sufre una reducción de su plasticidad debido a que estos son minerales duros, no plásticos.

En cuanto al origen de los depósitos de feldespatos, estos son mayormente de origen ígneo, igualmente existen depósitos parcialmente de feldespatos de origen sedimentario. Los feldespatos usados en pastas para sanitarios son grupos de metales alcalinos de tierras alcalinas y silico-aluminadas. Su estructura básica está compuesta por un anillo de cuatro unidades tetraédricas; los feldespatos potásicos y sódicos poseen tres tetraedros de silicio y uno de aluminio mientras que en los feldespatos de calcio la mitad de las cuatro estructuras tetraédricas están basadas en silicio y la otra mitad en aluminio [2].

El feldespato potásico puede darse en tres formas cristalinas: ortoclase (monoclínica), microclina (triclínica) y sanidina. La fórmula general para los feldespatos es la descrita en la Ecuación 3 [2]:

$XY_4O_8$  Ecuación (3)

Donde, X está compuesta generalmente por  $Na^+$ ,  $K^+$  o  $Ca^{2+}$ ; Y casi siempre representan  $Al^{3+}$  y  $Si^{4+}$ , aunque a veces se sustituye parcialmente por  $Fe^{3+}$ . Los tres principales feldespatos son representados por las ecuaciones (4), (5) y (6) [2]:

- Ortoclasa, microclina o sanidina  $K(AlSi_3O_8)$  Ecuación (4)
- Albita  $Na(AlSi_3O_8)$  Ecuación (5)
- Anortita  $Ca(Al_2Si_2O_8)$  Ecuación (6)

Con frecuencia son soluciones sólidas entre estos tres feldespatos (4), (5) y (6); en particular, en su forma albita y anorita Ecuaciones (5) y (6), a altas temperaturas, unas series continuas de soluciones cristalinas que permanecen intactas incluso después del enfriamiento (plagioclasas). Estas vienen definidas por los siguientes nombres (la relación albita/anorita queda indicada entre paréntesis) [2].

- Oligoclasa (7/1)
- Andesina (2/1)
- Labradorita (1/2)
- Bytownita (1/7)

Las ortoclasas (4 contienen en ocasiones, como solución sólida, porcentajes sustanciales de albita). Visto desde un punto de vista teórico la composición de feldespatos Na y K es como se indica en la Tabla 2.

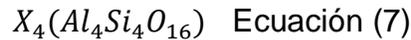
**Tabla 2.** Composición química definida por el óxido del feldespato sódico y el feldespato potásico [2].

	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Na_2O$	$K_2O$
Feldespato sódico	68,7 %	19,5 %	11,8 %	/
Feldespato potásico	64,8 %	18,3 %	/	16,9 %

En ocasiones los feldespatos se encuentran acompañados por porcentajes variables de cuarzo y micas. En este caso en particular a dichas rocas se les reconoce como aplitos (mezclas de feldespato y cuarzo) o pegmatita (mezclas de feldespato, cuarzo y micas) [2].

También se presentan minerales como la nefelina un silicato formado por la descomposición que ocurre cuando es tratada con ácido, formando una “nube” gelatinosa. Esta cristaliza mediante el sistema hexagonal y alcanza una estructura similar a la de la tridimita (formación alotrópica de la sílice, estable entre los 870 y 1470 °C) y difiere de ésta en la sustitución de un  $Si^{++}$  por un  $Al^{3+}$  acompañada por la introducción de  $Na^+$  y, en menor medida  $K^+$ , que garantiza la neutralidad eléctrica de la estructura. Sus cristales aparecen como prismas hexagonales altamente

triturados y estables a bajas temperaturas. A partir de la nefelina se dan formas alotrópicas como la carnegita, la cual es estable a altas temperaturas. En ocasiones la nefelina se encuentra junto a feldespatos alcalinos en rocas conocidas como nefelinas sientita, caracterizadas por un bajo contenido en silicio. La Ecuación (7) esquematiza la fórmula general para la nefelina [2]:



X es principalmente  $Na^+$  con una presencia minoritaria de  $K^+$ . Visto desde la teoría, la nefelina es 41.5%  $SiO_2$ , 35.2%  $Al_2O_3$ , 17.5%  $Na_2O$  y un 5.8%  $K_2O$ .

En cuanto a su caracterización por difracción de rayos x, las posiciones angulares de los picos de relevancia para la nefelina y sus distancias relativas entre entramados son:

Posiciones angulares de los picos = 29.46–22.96–27.08–21.08–30.68° 2 $\theta$ . Distancia de entramados = 3.03–3.87–3.29–4.21–2.92 Å [2].

La caracterización por análisis termo gravimétrico (DTA) enseña que la nefelina presenta un pico térmico conectado con la transformación alotrópica del mineral hacia los 1250 °C. Debido a que no hay reacciones que resulten en una pérdida de material, el trazado TG no proporciona, como en los feldespatos, ninguna información [2].

Debido a la composición de las pastas y a los ciclos de cocción que se utilizan en la fabricación de sanitarios cerámicos, no existe mucha diferencia entre el uso de feldespato sódico o feldespato potásico. El feldespato sódico se caracteriza por tener un punto de fusión más bajo (1118 °C comparado con los 1150 °C para el feldespato potásico) y puede permitir, en ciclos de cocción rápidos a temperaturas más bajas, alcanzar una buena vitrificación con mayor facilidad. Y el feldespato potásico permite obtener pastas con una mayor resistencia a la deformación piropiástica (que en cualquier caso también depende de otros factores, como la composición mineralógica general y el rango de tamaños de las partículas de la pasta y, sobre todo, la microestructura del producto colado) [2].

En cuanto a vitrificación el feldespato potásico presenta un intervalo de vitrificación de 50 °C siendo este mucho más amplio, que el del feldespato sódico el cual cuenta con uno de 25-30 °C. Un intervalo de vitrificación más amplio se traduce en un acorte de las diferencias en la vitrificación entre varias partes del sanitario; estas diferencias son debidas a que el tamaño y la geometría del sanitario no permiten una exposición homogénea de todas sus partes al calor del horno debido a que la temperatura no sea constante a través de la sección transversal del horno [2].

Debido a su escasez y por ende alto costo, la nefelina es el fundente menos utilizado; a pesar de eso, sigue siendo el fundente más valorado para la producción de sanitarios. Esta presenta un alto contenido de álcalis (su relación 1:6 álcali-silicio es decididamente mayor que la de los feldespatos) hace posible que la vitrificación

se de a menores temperaturas, así como lo hace el feldespato sódico. Tanto la nefelina como el feldespato sódico ofrecen un mayor intervalo de vitrificación, de esta manera reduciendo las deformaciones piroclásticas (la relación álcali-alúmina de nefelina sienita es, por su parte, la misma que la de los feldespatos). En consecuencia, la nefelina ofrece las mismas ventajas que el feldespato sódico y potásico [2].

- **CUARZO**

El cuarzo es por poco la parte más tosca de la pasta y cumple con varias funciones, algunas de las cuales son:

- Reduce la plasticidad de la pasta
- Aumenta el coeficiente de dilatación térmica de la pasta
- Contribuye al blanqueado de la pasta cocida
- Aumenta la temperatura de vitrificación de la pasta
- Junto al vidrio feldespático, forma mullita durante la cocción. La mullita y el cuarzo residual constituyen la estructura de soporte de la masa cerámica y contrarrestan la deformación durante la cocción.

Para la pasta utilizada en la fabricación de sanitarios, los minerales cuarcíferos más importantes son aquellos con un contenido apreciable de cuarzo, es decir de al menos un 96% en cuarzo, adicionalmente a ello, no debe superar un 0.2% de contaminantes  $Fe_2O_3$  y  $TiO_2$  [2].

El cuarzo como bien se sabe es una forma cristalina de sílice (su génesis dice que proviene del latín sílex, que significa piedra dura). Su unidad básica estructural se basa en un tetraedro con aniones de oxígeno en sus vértices y un átomo de sílice ( $Si^{4+}$ ) en el centro; por tanto, cada tetraedro individual posee cuatro cargas negativas. También puede formar otras dos formas cristalinas, trimidita y cristobalita, o puede aparecer como sílice amorfo [2].

Los depósitos de arena pueden ser de origen aluvial, lacustre, marino o incluso a causa del viento. Esto es, por supuesto, una referencia al ambiente en que se depositan las partículas, puesto que en los tres primeros casos la sedimentación vendrá precedida, como es sabido, por un transporte por parte de aguas en rápida circulación [2].

La caracterización de este mineral mediante el análisis cualitativo del cuarzo enseña que la identificación mineralógica a través de la difracción de rayos x conlleva básicamente la observación de difracciones en el plano basal. El patrón de difracción específico muestra picos en las siguientes posiciones angulares: 26.63 (correspondiendo a una distancia de entramados de 3.4 Å) y 20.84 (correspondiendo a 4.26 Å) [2].

- **CHAMOTA**

Cuando se habla de chamota se habla de minerales arcillosos calcinados y después molidos, como a las tazas rotas ya cocidas las cuales son trituradas y luego molidas. Para el primer caso la chamota se produce calcinando caolines o arcillas ricas en alúmina a elevadas temperaturas (1200 °C), esto es posteriormente molido hasta alcanzar unos rangos específicos de distribución en tamaños de partículas, siendo los más comunes 0-0.1 mm, 0-0.2 mm y 0-0.3mm [2].

Esta chamota es utilizada en la preparación de pastas "*Fine fireclay*" y "*fireclay*" aportando propiedades como las de los minerales de materias primas no plásticas, así como el cuarzo en las pastas "*vitreous china*" (mejora la refracción de la pasta y constituye su estructura, contrarrestando cualquier información) [2].

Normalmente las pastas "*fine fireclay*" y "*fireclay*" se utilizan para la producción de grandes artículos, como sanitarios, platos de ducha y fregaderos de cocina: por esto es importante utilizar pastas que no deformen con facilidad. La producción de pastas con una baja tendencia a la deformación requiere la introducción de altos porcentajes de materiales no plásticos y no fluidificantes [2].

Una ventaja bastante interesante para este estudio radica en que reemplazar el cuarzo por chamota en las pastas "*fine fireclay*" y "*fireclay*" reduce significativamente el riesgo de aparición de grietas cuando el cuarzo pasa de su forma  $\beta$  a su forma  $\alpha$  durante la fase de enfriamiento de la cocción, debido a que la chamota posee un bajo porcentaje cuarzo libre. Puesto que cantidades excesivas de cuarzo conducirían al agrietamiento durante el proceso de enfriamiento. Otro hecho es que utilizar chamota en lugar de cuarzo puede dar lugar a un bajo coeficiente de dilatación térmica. Lo que es de bastante importancia para evitar problemas de compatibilidad en la expansión pasta-esmalte [2].

La Tabla 3 muestra la composición química de dos chamotas para sanitarios con distinto coeficiente de expansión térmico, con lo que se espera tener mejor claridad en la importancia que imprime la chamota en el coeficiente de expansión térmico en una pasta. Aquella con más sílice posee un mayor coeficiente. Las chamotas de la Tabla 3 no solo difieren en sus coeficientes de expansión térmico, sino que también en su granulometría, en la absorción de agua y en su composición mineralógica [2].

En el proceso de cocción normal de una pasta para sanitarios no da lugar normalmente a la formación de cristobalita (formación alotrópica de la sílice), si se forman variados porcentajes de cristobalita durante el calcinado de los minerales arcillosos utilizados para hacer chamotas; es por esto por lo que la cristobalita estará presente en las pastas "*fine fireclay*" y "*fireclay*" en las que se usen chamotas. Entonces es importante tener en cuenta que la cristobalita, como el cuarzo dan como resultado una reducción volumétrica durante la cocción en tanto la cristobalita, al pasar de su forma  $\alpha$  a la  $\beta$  alrededor de los 220 °C, experimenta un contracción del 5% [2].

**Tabla 3.** Composición química del óxido de dos chamotas distintas, una con un alto coeficiente de dilatación térmica y otra con uno bajo [2].

	<b>Chamotas con un bajo coeficiente de expansión térmico</b>	<b>Chamotas con un alto coeficiente de expansión térmico</b>
<i>SiO<sub>2</sub></i>	56,9 %	72,1 %
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	38,5 %	24,5 %
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	1,5 %	1,2 %
<i>TiO<sub>2</sub></i>	1,6 %	1,2 %
<i>CaO</i>	0,3 %	0,2 %
<i>MgO</i>	0,3 %	0,2 %
<i>K<sub>2</sub>O</i>	0,8 %	0,5 %
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	0,1 %	0,1 %

Para el segundo tipo de chamota, se compone comúnmente de los restos cocidos del proceso de producción “*vitreous china*” (roturas); claro esta una vez triturados y molidos, se reciclan de nuevo en las mismas pastas “*vitreous china*” en sustitución parcial del cuarzo y el feldespato. Estas conductas o actividades se deben principalmente a razones económicas. La introducción de esta chamota en las pastas se traduce en poder alimentar el ciclo de producción mediante residuos (rotura) de otros procesos; lo que reduce los costos de la eliminación de residuos que además reemplazan materiales más costosos de las pastas [2].

### 3.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN

La producción de sanitarios cerámicos es compleja, comenzando con la recolección de las materias primas que usualmente son: arcilla, feldespato y chamota, las cuales son traídas de las minas que posee la Compañía. En planta, éstas son almacenadas por pilas para su posterior utilización. Mediante carretas se pesa el material y se carga en una banda transportadora donde luego se recibe la materia y se cargan los molinos de bolas, se adiciona agua y aditivos como defloculante comenzando así la molienda en húmedo, otros son dispersados en agua directamente. Una vez termina la molienda se miden las condiciones de descargue del molino (densidad y viscosidad) y se deposita la barbotina o colada en tanques los cuales cuentan con agitación continua tratando de mantener las propiedades de la barbotina. Luego la colada es pasada por malla y es ferro filtrada controlando así las impurezas en esta misma.

Posterior a esto la colada es vaciada en los moldes de yeso para formar las piezas, debido a la porosidad que presenta el molde se da la absorción dando lugar a un yeso hidratado, evidenciando contracción en la pieza, lo que permite su desmoldeo. Es en este punto es donde comienza el secado.

El secado comienza desde que la pieza se desmolda, luego se deja sobre el molde, debido a que su estado inicial es delicado para ser manipulada entonces allí comienza a perder humedad y a ganar firmeza para su futura manipulación, el tiempo que tarda en ese espacio, es decir en el salón de vaciado es de mínimo 6 horas. Después de este tiempo es que las tazas tienen la suficiente firmeza para ser transportadas, son llevadas a bodega donde continúan secándose a temperatura ambiente durante mínimo 7 horas más. Son nuevamente transportadas esta vez para presecado, el cual es un espacio cerca a los secadores en donde la temperatura es un poco más elevada que la del ambiente, aquí las piezas se dejan durante un periodo de 6 horas. Posteriormente pasan por cuatro secaderos durante 3 horas en cada uno en donde la temperatura va aumentando en cada uno de la siguiente forma (50° C, 60°C, 80°C, 90°C) respectivamente.

Una vez terminado todas las etapas de secado, se procede a la zona de pulido y esmaltado de las piezas, para que así puedan entrar al proceso de cocción a 1200°C.

Para finalizar el proceso las piezas pasan por clasificación y calidad verificando su integridad física, funcionalidad todo esto con pruebas como la del timbre e hidráulicas y finalizando el proceso con el empaçado.

### **3.3 PROCESO DE SECADO**

El secado de un sanitario es el mecanismo por el cual se elimina el agua que lo humedece. Consiste en la eliminación del agua que no está químicamente vinculada. Lo que incluye el agua intersticial contenida en los huecos entre las partículas de la pasta, como el agua superficial que rodea las diversas partículas [2]. Termodinámicamente hablando es una operación de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en la taza se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa (el ambiente), en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por la taza húmeda y la presión parcial de vapor del ambiente. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que la taza y el ambiente están en equilibrio y el proceso de secado cesa [4].

Para el secado se utiliza aire como fluido para el calentamiento, además de servir como medio de transporte para la evacuación del vapor. Por esto es necesario conocer y controlar las características del aire (temperatura, humedad relativa, y velocidad del flujo) [2].

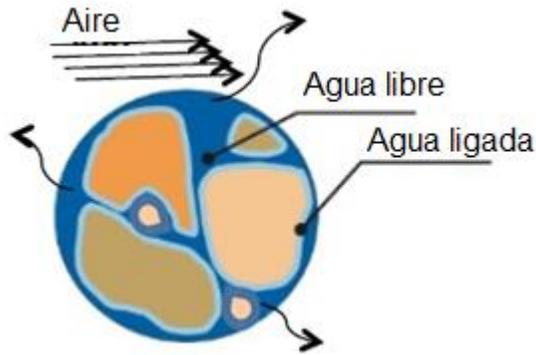
En el momento que se desmolda la taza, las partículas que componen la pasta cerámica quedan rodeadas por una red de agua capilar que, durante el secado deben ascender hacia la superficie y evaporarse sin afectar la integridad de la taza. Es así entonces que la velocidad de difusión del agua a través del espesor de la taza y su velocidad de evaporación se convierten en dos factores claves para el secado. Condiciones ideales para un secado serian que la velocidad de evaporación es igual o ligeramente menor a la velocidad de difusión: el secado produce únicamente evaporación superficial, sin que ocurra ninguna evaporación dentro de la taza cerámica. Condiciones que raramente llegan a cumplirse en la industria [2].

Al interior de la taza, el agua se moverá a través de los huecos que dejan las partículas laminares, esto se da en los canales capilares formados por éstas, con una velocidad de difusión que depende de [5]:

- La temperatura de la taza.
- Las especies mineralógicas presentes en la pasta.
- De la cantidad y geometría de los capilares.
- Del porcentaje de humedad en la pasta.
- De la contracción de la pasta.
- De la humedad relativa.

En la pasta cerámica la velocidad de difusión del agua aumenta al mismo tiempo que la temperatura de la taza. Esto también depende de la composición de la pasta: es decir, entre más materias primas plásticas y más finas contenga la pasta, menor será la difusión. Las pastas altamente plásticas presentan una mayor contracción y como consecuencia de esto tienen una mayor restricción del agua a través de los conductos del flujo, lo que reduce aún más la velocidad de difusión [2].

Anteriormente se discutía que el proceso de secado elimina el agua que no está químicamente ligada; es decir actúa sobre el agua intersticial y el agua superficial, lo que hace prudente definir que: el agua intersticial o agua libre es aquella que se encuentra entre partículas minerales en los capilares y que puede moverse más o menos libremente entre ellos. Esta agua puede ocupar un espacio importante entre las partículas de la taza y su eliminación puede generar una pérdida de volumen significativo de la misma. Quedando claro que el agua superficial es aquella que no se interioriza en la mezcla, quedando como su nombre lo indica, superficial. Entonces la velocidad de eliminación del agua intersticial depende principalmente de la capacidad de secado del medio (aire) que rodea la taza. La Figura 1 muestra cómo se ubica el agua intersticial y como está el agua ligada alrededor de la partícula cerámica.

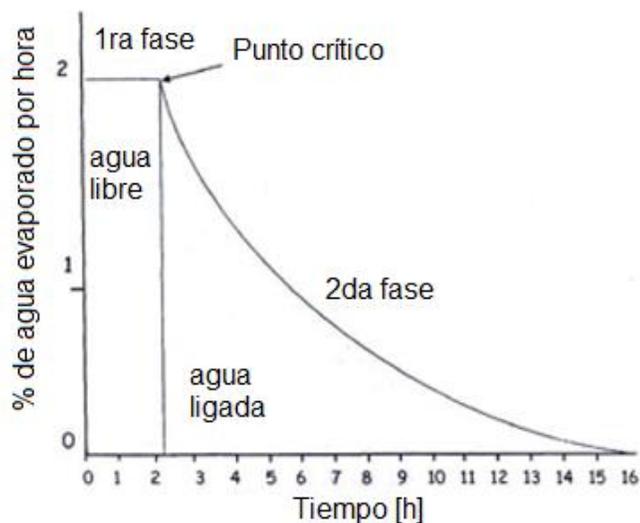


**Figura 1.** Ubicación del agua libre o intersticial y el agua ligada en los alrededores de la partícula cerámica [6].

Luego de desmoldear la taza, esta comienza a perder humedad, es decir el agua comienza a salir de la taza cerámica, el rendimiento del proceso de secado disminuye. En 1897 Bourry propuso un modelo de ciclo de secado el cual comprende tres fases [5]:

- En la primera fase, se da una disminución de volumen proporcional al agua evaporada. Este periodo debe realizarse lentamente puesto que es de sumo riesgo para la taza.
- En la segunda fase, se inicia la formación de pequeños huecos en la pasta y esta sigue contrayéndose hasta alcanzar el punto crítico, en el cual cesa la contracción. Debido a que las partículas ya están en contacto unas con las otras.
- En la tercera fase, ya no existe peligro alguno de rotura y el secado puede acelerarse.

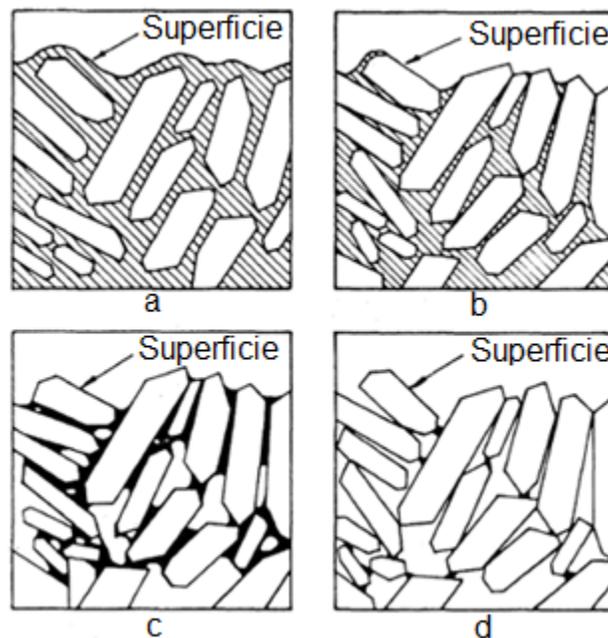
La Figura 2 enseña como varía el tiempo de secado en función del agua retenida.



**Figura 2.** Variación del rendimiento del secado en función del tiempo [1].

La Figura 2 enseña que la cantidad de agua evaporada por hora teóricamente es constante en la primera fase. El rendimiento de eliminación de agua por evaporación en este caso se mantendrá constante, mientras el agua fluya por el espesor de la taza hasta la superficie de esta con la misma velocidad con que se evapora, lo cual solo sucederá mientras exista agua libre en el interior de los capilares.

Justo cuando se ha eliminado el agua libre o intersticial, se considera y establece que en ese punto o cercanías la contracción de la taza ha cesado y este punto se conoce como “punto crítico”[1]. Es a partir de este punto entonces que el rendimiento del secado descende, lo cual tiene sentido puesto que el agua que queda en la taza ya no fluye hacia la superficie y comienza la evaporación del agua químicamente ligada mediante fuerzas electrostáticas a la superficie de las partículas. La Figura 3 esquematiza cómo pierde agua la taza cerámica.



**Figura 3.** Esquema del proceso de pérdida de humedad. a) Estado inicial luego de desmoldeado. b) Evaporación del agua en la superficie de la taza. c) Ascenso del agua hacia la superficie por los capilares. d) Taza con 0,5% de humedad aproximadamente [8].

### 3.3.1 TÉCNICAS DE SECADO

En la fabricación de porcelana sanitaria, en este caso para tazas las técnicas de secado por evaporación son numerosas, y solo algunas se han introducido en la industria últimamente. Las principales técnicas son [2]:

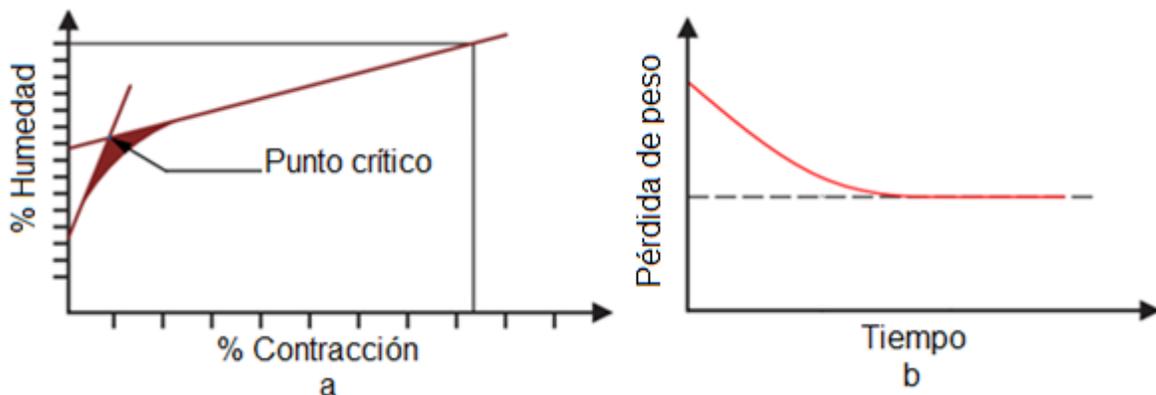
**Secado por rayos infrarrojos:** Este método presenta una gran rapidez de secado. Esto es posible gracias al poder penetrante de estas radiaciones, que se transforman en calor en el interior del cuerpo, y siendo el agua especialmente opaca a ellas, dicha transformación de energía radiante en energía calorífica se cumple de modo especial en el agua misma.

**Secado por microondas:** Especialmente utilizado para ciclos rápidos de secado. La técnica de secado por microondas, que aporta un sensible ahorro de calorías por unidad de masa seca, además tiene carácter selectivo, homogéneo, con elevado rendimiento y rapidez de acción.

**Secado por aire caliente:** Esta es la técnica que se aplica generalmente en la industria cerámica para secar las piezas recién moldeadas. Los más comunes son los secadores tipo túnel. Se trata de secadores en contra corriente en los cuales el aire secante circula en contracorriente con el material a secar.

### 3.3.2 CURVAS DE SECADO

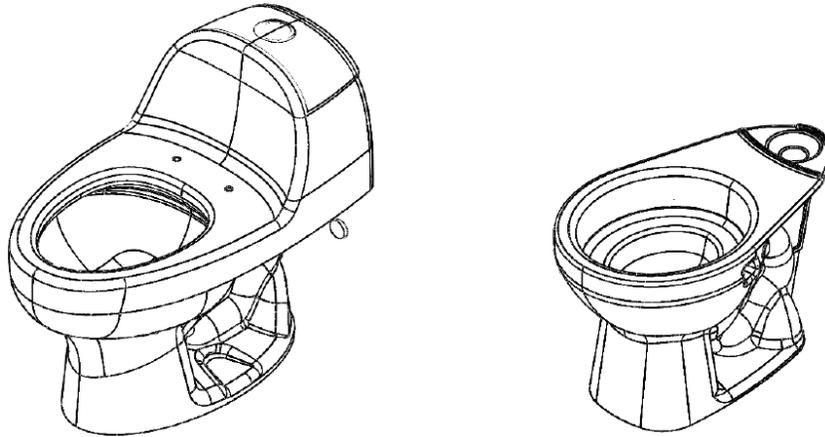
Son herramientas, que se utilizan de forma experimental para evaluar el proceso de secado, recolectando datos como humedad removida, temperatura, contracción y tiempo de proceso, para los cuales solo basta con medir el cambio en el peso y longitud de una marca. Entre estas están las llamadas curvas de Bigot, utilizadas para medir al mismo tiempo la pérdida de peso y la contracción de los elementos cerámicos [2]. En dichas curvas se puede leer en el eje de coordenadas (y), la humedad a eliminar en el secado y en el eje de las abscisas (x), la contracción que tendrá lugar a lo largo del mismo. Otra bastante utilizada es el diagrama de Sherwood, el cual relaciona en el eje de las abscisas (x) el tiempo de secado y en el eje de coordenadas (y) la pérdida de peso. La Figura 4 muestra tanto una curva de Bigot como un diagrama de Sherwood, enseñando sus comportamientos [1][5].



**Figura 4.** Representación del comportamiento de: a) curva de Bigot. b) diagrama de Sherwood [1].

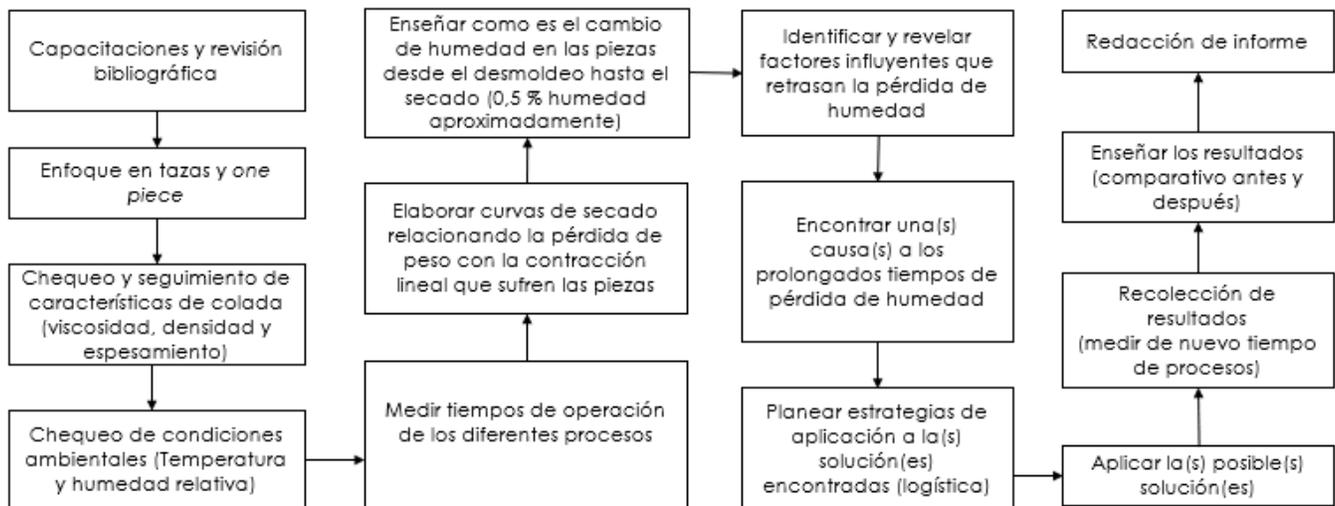
#### 4. METODOLOGÍA

Se describirán aquí los métodos y procedimientos utilizados para la evaluación y caracterización del proceso de secado de las piezas tazas y *one piece* especificando como cambia la humedad de las piezas en los diferentes espacios con la ayuda de curvas de secado. Se presenta en la Figura 5 las piezas objeto de interés para este estudio (taza y *one piece*) fabricados por la Compañía Senco Colombiana S.A.S.



**Figura 5.** De izquierda a derecha el diseño de la *one piece* seguida de la taza.  
Fuente Departamento de Diseño Senco Colombiana S.A.S.

La Figura 6 esquematiza la metodología anteriormente propuesta para la resolución del proyecto.



**Figura 6.** Metodología propuesta para la resolución del proyecto.

## **4.1 CHEQUEO Y SEGUIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE COLADA**

El chequeo y seguimiento de las condiciones de colada consistió en la medida de la densidad, viscosidad y espesamiento; variables medidas diariamente en el laboratorio para la suspensión de colaje C-247 con la que se fabrican las diferentes piezas.

### **4.1.1 MEDIDA DE LA DENSIDAD**

Diariamente se tomaban muestras de la suspensión de colaje C-247 del tanque, la cual posteriormente se aforaba un picnómetro tipo cilíndrico TQC iso 2811 de 100 mL para uso de fluidos a 20°C. El procedimiento es adaptado de la normal ASTM C128-04a [7]. Para el caso específico de la densidad; los lineamientos de la compañía exigen que debe estar en un rango de (1786 -1788) g/L.

### **4.1.2 MEDIDA DE LA VISCOSIDAD**

Se tomaba diariamente una muestra de 600 mL de la suspensión de colaje C-247, la prueba se realiza en viscosímetro Brookfield sincro-letric modelo RVT con un plato #3. El valor de viscosidad se da en centipoises [cP].

### **4.1.3 MEDIDA DEL ESPESAMIENTO**

La medida del espesamiento en el colaje se realiza 3 minutos después de finalizar la medida de viscosidad, realizando exactamente lo mismo que en el procedimiento para la medición de la viscosidad, obteniendo así un nuevo valor en [cP]. Estas diferencias entre las viscosidades a estos diferentes tiempos, es el valor del espesamiento en [cP].

## **4.2 MEDICIÓN DE TIEMPOS DE OPERACIÓN**

Fue determinado el tiempo exacto que tardan las piezas en secar con el fin de conocer la duración exacta del proceso, teniendo en cuenta todos los aspectos que pueden retardarlo, como lo son el cambio de lugares, congestión en el tránsito de las piezas, etc. Estos tiempos fueron medidos para 90 tazas, con la ayuda de un cronómetro.

## **4.3 CONSTRUCCIÓN DE CURVAS DE SECADO**

Se realizaron curvas de secado del tipo Bigot y diagrama de Sherwood a muestras por triplicado y a piezas, con el fin de conocer el comportamiento de la pasta durante el proceso. Esto se basó en la metodología estándar estipulada para el cálculo de la contracción y la humedad evaporada en pasta cerámica [1][8].

### 4.3.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Para la construcción de las curvas de secado (curvas de Bigot y diagramas de Sherwood), fueron elaboradas barras por el método de colaje. Para ello se tomó un litro de suspensión de colaje, que luego se vació en un molde de yeso para formar las barras (3 por ensayo). Se tenía en cuenta que tuvieran el mismo tiempo en el molde (tiempo de formación) que el que se tenía para las piezas tipo tazas, para luego desmoldar y cortarlas del tamaño indicado. Estas barras tenían una longitud de 10 cm, un ancho 2 cm y un espesor de 2 cm. A estas probetas se les realizaban dos marcas en sus extremos indicando el lugar para ubicar el pie de rey y hacer la medida de su longitud, dichas barras se situaban al lado de las piezas de producción, con el fin de simular el proceso original. En la Figura 7 se muestra un Esquema del proceso.



**Figura 7.** Esquema de obtención de muestras para la elaboración de las probetas.

## 4.4 EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE HUMEDAD Y CONTRACCIÓN EN LAS PIEZAS

El cambio o pérdida de humedad y la contracción tanto para las probetas como para las tazas y *one piece* analizadas en el proyecto, fueron evaluadas bajo normas internacionales que se detallan a continuación [9][10].

### 4.4.1 HUMEDAD REMOVIDA

La humedad removida calculada para los ensayos se determinó de acuerdo con la Ecuación 8 especificada en la norma ASTM C566-13 [9]. Se realizaron medidas del peso cada hora desde su desmoldeo hasta que la humedad contenida en la pieza fuese inferior al 0,5 %. Esto se realizó utilizando una balanza analítica.

$$H = \frac{100(W-D)}{D} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde:

H: Porcentaje de agua evaporada

W: Masa inicial de la muestra [g]

D: Masa final de la muestra [g]

#### 4.4.2 CONTRACCIÓN

La contracción lineal de las muestras fue determinada según la Ecuación 9 especificada en la norma ASTM C326-09 [10]. Realizando medidas en su longitud a las probetas elaboradas cada hora de acuerdo con el criterio utilizado en la prueba de humedad removida. Para esto se utilizó un pie de rey.

$$C = \frac{100(L_p - L_d)}{L_p} \text{ Ecuación (9)}$$

Donde:

C: Porcentaje de contracción del secado

L<sub>p</sub>: Longitud inicial [mm]

L<sub>d</sub>: Longitud final [mm]

#### 4.5 IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN Y RETRASAN LA PÉRDIDA DE HUMEDAD

Fueron analizados todos y cada uno de los lugares en donde se situaban las piezas objeto de estudio, evaluando como era el proceso de secado de las piezas en dichos lugares.

Principalmente se evaluó y caracterizó el proceso de secado por evaporación al cual son sometidos ambas referencias (tazas y *one piece*) teniendo en cuenta los diferentes lugares de las etapas del secado descritos anteriormente en la sección 3.2, las condiciones ambientales tales como temperatura ambiente promedio, humedad relativa y el tiempo de residencia de las referencias en dichos lugares. Variables como la temperatura y humedad relativa de los espacios fueron medidas empleando un termohigrómetro CEM DT-172 el cual cuenta con un rango de operación de -40°C a 70°C y de 0-100% para la humedad relativa. Dichos datos se tomaron en intervalos de 60 minutos para obtener un valor promedio [11].

#### 4.6 DETERMINACIÓN DE LAS POSIBLES CAUSAS A LOS PROLONGADOS TIEMPOS DE PÉRDIDA DE HUMEDAD

Luego de caracterizar por completo los espacios dispuestos para el secado de las piezas como lo son el: salón 1, salón 2, bodega, presecado, secadero 1, secadero 2, secadero 3 y secadero 4; se determinó si eran o no propicios para el secado de las piezas.

#### **4.7 PLANEACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS PARA LA APLICACIÓN A LAS SOLUCIONES ENCONTRADAS**

Con la información recolectada luego de la evaluación del proceso en cuanto a pérdida de humedad de las piezas en los diferentes espacios, se idearon estrategias para la aplicación de las soluciones propuestas, teniendo en cuenta aspectos como:

- No alterar el orden habitual, ni el funcionamiento de la planta
- Identificar el material necesario para la realización del experimento
- Tener completo control sobre el experimento

#### **4.8 RECOLECCIÓN Y EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS**

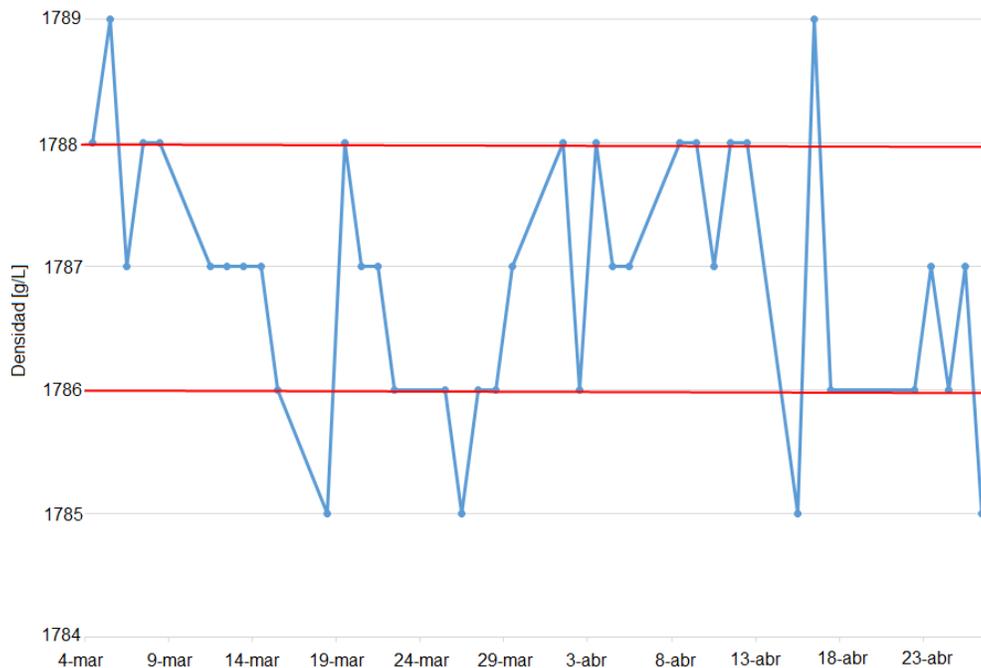
Luego de terminados los experimentos realizar las respectivas curvas de secado, analizando en ellas todas las variables involucradas las cuales se discutieron anteriormente en la sección 4.3 para posteriormente poderlas enseñar a las directivas de la Compañía.

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se estableció que de las dos referencias objeto de estudio (taza y *one piece*), la taza era de mayor prioridad puesto que es la pieza con mayor demanda. Se datará aquí los resultados de los estudios, ensayos y modelo propuesto para el mejoramiento del secado por evaporación de la referencia conocida como taza mediante la disminución del tiempo de secado. Sin embargo, se presentará una caracterización y evaluación parcial del proceso de secado para las piezas tipo *one piece*.

### 5.1 CONDICIONES DE LA SUSPENSIÓN DE COLAJE

La Figura 8 enseña la variación de la densidad durante 50 días de ensayos. Es de recordar que el rango aceptado por la Compañía para la variación de la densidad es de 1786-1788 g/L.

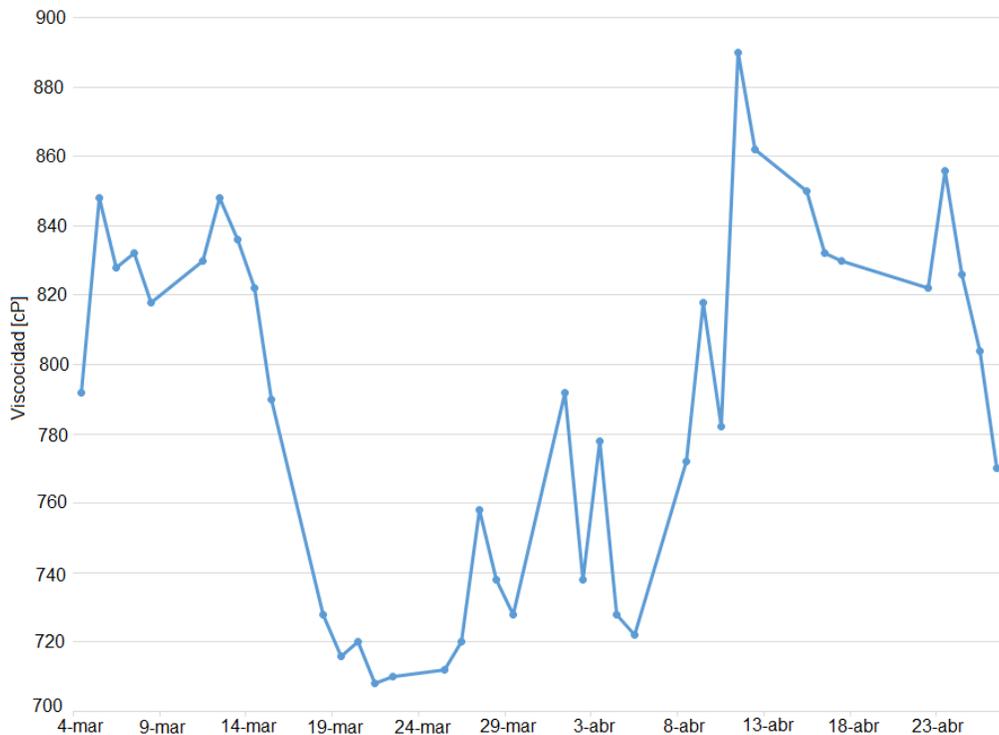


**Figura 8.** Variación de la densidad de la suspensión de colaje C-247.

Algunos datos logran superar los límites estipulados por la Compañía, en estos casos se trabajó con normalidad puesto que solo se supera el límite establecido por un punto y por experiencias de la Empresa no existe riesgo de trabajar bajo esas condiciones.

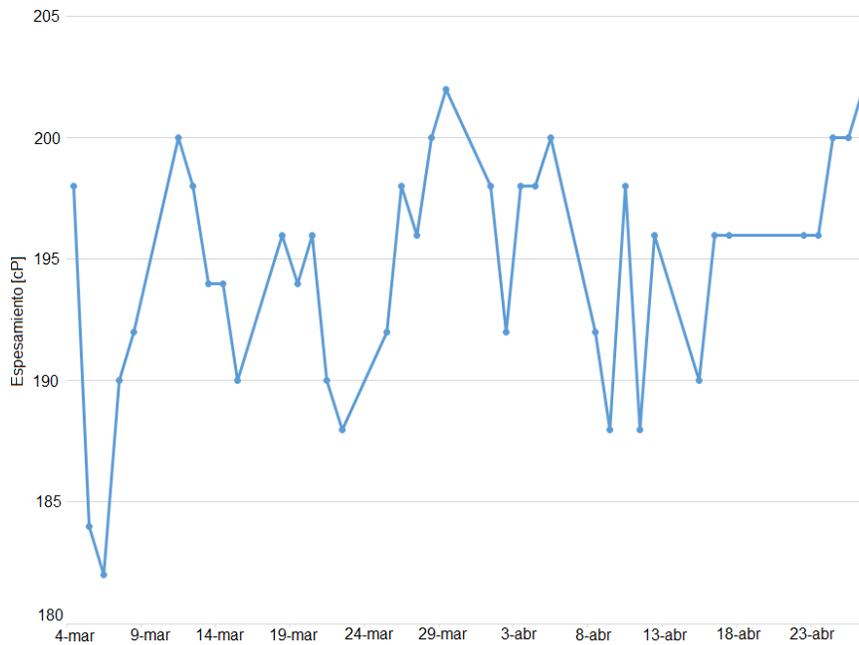
Las condiciones de operación para la suspensión son establecidas por los ingenieros de la Compañía con base en ensayos a escala de laboratorio, teniendo

siempre en cuenta aspectos como la menor cantidad de pérdida de piezas por rotura en todo el proceso de producción. Se tiene además que para la viscosidad y espesamiento no existen límites o rangos de operación, debido a que ambas varían frecuentemente a lo largo del proceso (como los presentados en la Figura 9 y Figura 10) y no representan riesgo alguno para la fabricación de las tazas siempre y cuando se cumpla con la densidad estipulada. La Figura 9 enseña los valores para la viscosidad durante los días de ensayo.



**Figura 9.** Variación de la viscosidad de la suspensión de colaje C-247.

Los valores para la viscosidad varían de 708 cP a no más de 890 cP, rango el cual es debido a la restricción presente para la densidad. Es de notar que para estos valores de viscosidad la suspensión fluía adecuadamente por las tuberías del sistema de arrastre y transporte sin presentar resistencia alguna como para obstaculizarlo. De una manera similar la Figura 10 enseña los valores del espesamiento del colaje durante los días de ensayo.



**Figura 10.** Variación del espesamiento de la suspensión de colaje C-247.

Determinados valores de espesamiento mostrados en la Figura 10, están asociados al error humano, debido a la naturaleza del ensayo. Como se explicó anteriormente en la sección 4.1.3 la medición se debe realizar 3 minutos después de dejar en reposo la muestra, los cuales en ocasiones no se miden con exactitud.

## 5.2 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO PARA TAZAS

Fue evaluado el proceso de secado que implementa la Compañía por décadas con el fin de conocer cuál es el comportamiento que presentan las tazas frente a este, esto con el fin de identificar y relacionar cómo los parámetros involucrados aquí actúan sobre el proceso y así poder diseñar uno nuevo y mejorado [8].

La Tabla 4 enseña cómo es el proceso de secado convencional para las tazas previamente vaciadas con la suspensión C-247, especificando el lugar, temperatura promedio y humedad relativa además del tiempo de permanencia en cada uno de estos.

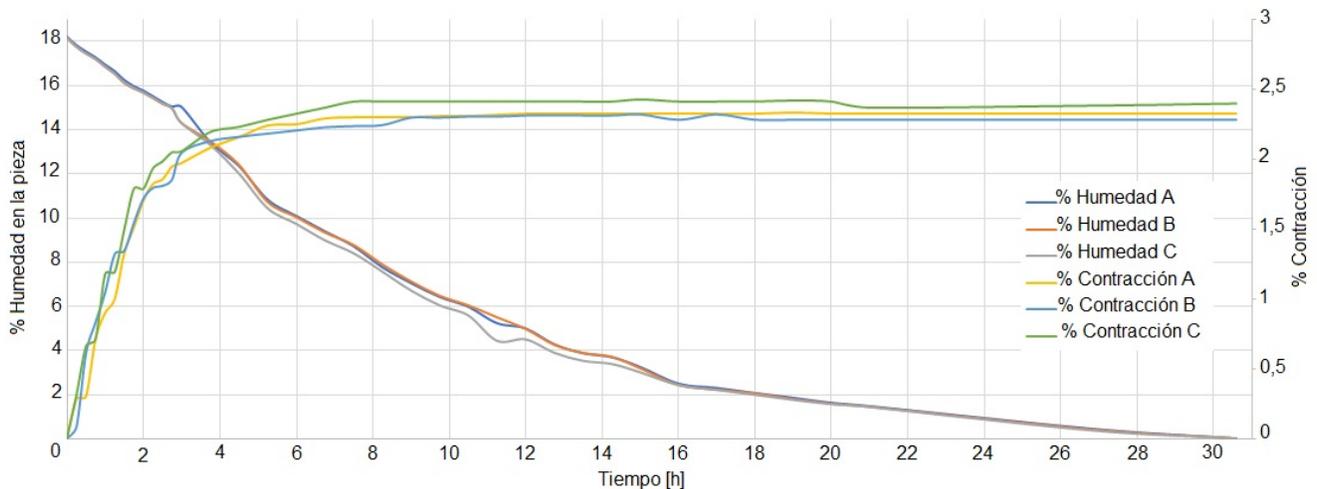
**Tabla 4.** Resumen del proceso de secado convencional y sus parámetros.

Lugar	Temperatura [°C]	% HR	Tiempo [h]
Salón 2	31,8	53,6	6
Bodega	23,7	70,8	7
Presecado	37,4	48,67	6
Secado 1	50	/	3
Secado 2	60	/	3
Secado 3	80	/	3
Secado 4	90	/	3
Total	/	/	31

Tal y como lo enseña la Tabla 4 el proceso tiene una duración total de 31 horas, el cual consta de 7 lugares diferentes, lo que se traduce en 7 movimientos, requiriendo así de una demanda de operarios para trasladar las tazas de un lugar a otro y una gran cantidad de área ocupada en planta por las tazas, que se van secando.

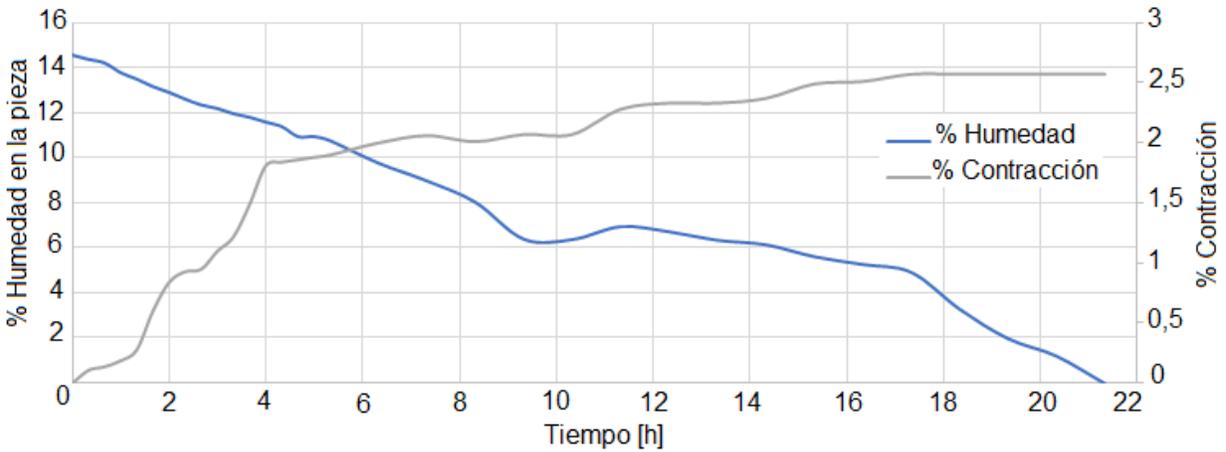
Cabe aclarar que variables como la temperatura y humedad relativa en estos lugares está en un constante cambio que es regido por el clima del Municipio de Guarne, Antioquia. Cambios abruptos se percibieron principalmente en el lugar denominado “bodega” donde su temperatura descendía hasta los 17 °C, afectando por completo el proceso de secado como se evidencia en la Figura 12. Es de aclarar que para sitios que presentaran valores de temperatura superiores a los 50 °C no se realizaron medidas de humedad relativa con el termohigrómetro puesto que esto comprometería el equipo al no estar diseñado para trabajar en dichas condiciones.

Con la finalidad de tener una mayor practicidad en lo que concierne a la curva de Bigot, el diagrama de Sherwood y también adoptando una sugerencia de los directivos de la Compañía, se construyeron curvas de secado modificadas relacionando en ellas el tiempo, la humedad de la pieza y la contracción lineal. La Figura 11 muestra lo anteriormente descrito para el proceso de secado convencional para la suspensión de colaje C-247 con la que se elaboran las tazas, lo que fue realizado con barras por triplicado denominadas A, B y C.



**Figura 11.** Curva de secado para el proceso convencional de las tazas.

La Figura 11 muestra que para el secado convencional de las tazas con la suspensión de colaje C-247, existe un cese de la contracción cuando la taza contenía un 14% de humedad aproximadamente, dicho valor se alcanza en un rango de tiempo de 4 a 6 horas. Esto indica una particularidad que se presentaba cuando las tazas se encuentran en el salón 2 (salón de vaceado) o bodega, tal y como lo indica la Tabla 4, ya que si la taza no ha llegado a su punto crítico (cese de su contracción) no es recomendable el transporte y secado fuerte de las tazas [4][12]. También se enseña en la Figura 11 que la muestra comienza a perder humedad desde un 18%, humedad inicial, decreciendo hasta valores cercanos al 0% en un tiempo de 31 horas aproximadamente. A medida que se realizaron los ensayos se notó que alrededor de las 10-11 horas de secado, intervalo que corresponde en ubicación en la bodega, las tazas ganaban un poco de humedad, aspecto que se puede evidenciar en la Figura 11 en la hora 11 aproximadamente al igual que en la Figura 12 la cual corresponde a otro ensayo en donde el fenómeno se hizo más notorio dado que en este caso solo se midió hasta las 22 horas de ensayo para lograr ver el fenómeno con más detalle.



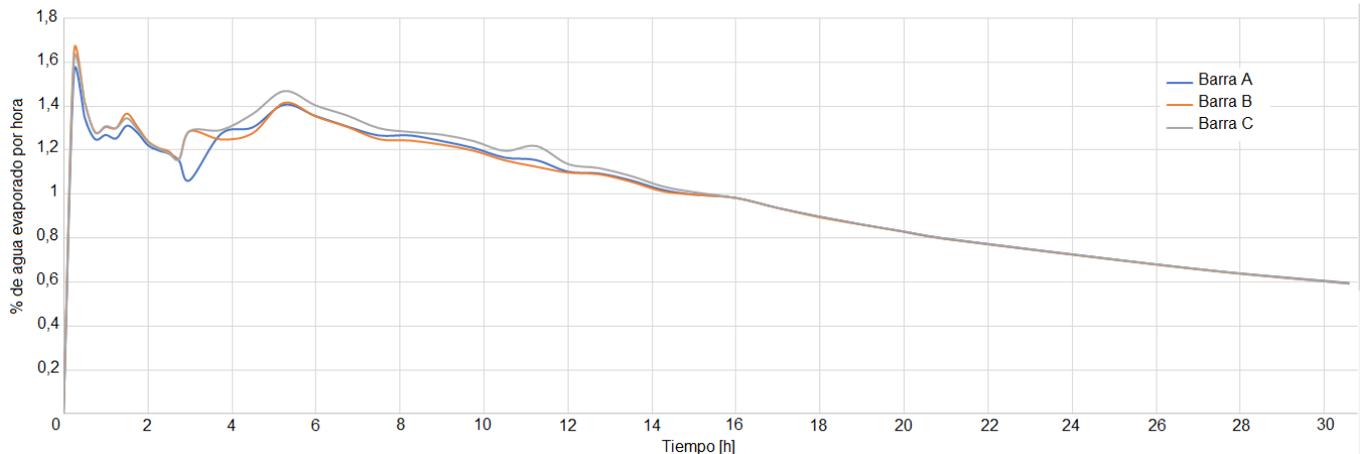
**Figura 12.** Curva de secado en la que el fenómeno de aumento en la humedad es más notorio.

Este comportamiento atípico conllevó a realizar una inspección en la bodega donde se descubrió que en el lugar había una puerta la cual no estaba debidamente aislada del ambiente externo. Las bajas temperaturas del sector en la madrugada junto con el espacio que se observa en la Figura 13, provocaban la entrada de corrientes de viento con humedad superior al del ambiente circundante de los piezas que se encontraban allí, afectando claramente el proceso de secado. Dicho esto, se entiende que las piezas ganarían humedad si se encontraban en lugares que en su entorno contuvieran agua. La Figura 13 enseña a detalle el inconveniente que presenta la bodega.



**Figura 13.** Inconveniente presente en la bodega.

Para poder analizar el rendimiento del proceso de secado era necesario conocer cómo variaba el porcentaje de agua evaporada por hora a lo largo de este, es así como la Figura 14 representa la variación del rendimiento en el proceso de secado convencional.



**Figura 14.** Variación del rendimiento en el proceso de secado convencional de la Compañía.

Claramente se observa en la Figura 14 que el máximo rendimiento del secado se da durante la primera hora debido a que es en este punto que la taza contiene la mayor cantidad de agua disponible para comenzar el proceso de evaporación. Es allí donde fenómenos de capilaridad y de diferencia de presiones parciales de la taza en relación con el ambiente producen una alta tasa de eliminación. A medida que se va evaporando el agua presente en la taza se observa que la tasa de evaporación disminuye debido al retardo que le toma al agua interna ascender hasta la superficie, una vez que el agua que estaba allí es evaporada.

Se nota también un aumento en la gráfica que se traduce en una pérdida del control del proceso. Esta variación se presentó alrededor de las 6 horas que es cuando las piezas son trasladadas a la bodega, fenómeno que puede estar asociado con el inconveniente anteriormente descrito. Idealmente se tiene que el rendimiento en el secado debería ser el máximo en sus primeras horas y luego debería disminuir gradualmente sin presentar variaciones abruptas [2].

### 5.3 PROPUESTA PARA IMPLEMENTAR EN EL PROCESO DE SECADO

Con la información anteriormente recolectada y descrita, teniendo en cuenta que la solución del problema planteado en este semestre de industria debería darse con los recursos que cuenta la Compañía, tratando de contemplar un presupuesto bajo y contemplando otros aspectos no menos importantes como [11][13]:

- Tratar que las tazas alcanzaran el punto crítico en el salón 2, para así poder darles un secado más agresivo, aumentando la temperatura.
- Tener un mayor control de la temperatura en el salón 2, cerrando las puertas una vez las tazas son desmoldeadas y aumentando el flujo de calor en el espacio, con la apertura de los canales de accesos provenientes del horno de quema.
- Eliminando del proceso la estancia de las tazas en la bodega ya que esto es un proceso no beneficioso como se demostró con las Figuras 11, 12 y 13, además de eliminar los espacios de secado 1, 2 y 3 (ver la Tabla 4).

Los tiempos de permanencia en las zonas fueron estipulados con en base a la curva de secado (Figura 11), la cual permite observar cómo pierde humedad la pieza a medida que avanza el proceso. La Tabla 5 resume el prototipo de secado propuesto, el cual es un proceso más corto el cual consta de menos movimientos y por ende un menor requerimiento de operarios y de espacio en planta.

**Tabla 5.** Resumen del prototipo de secado y sus parámetros.

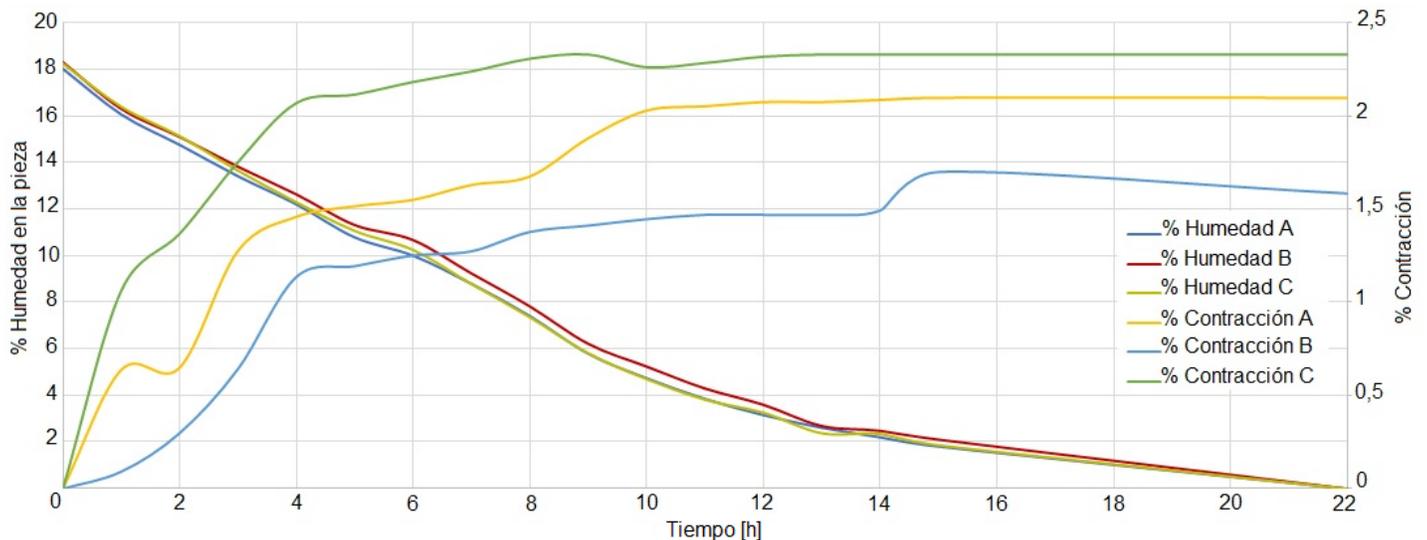
Lugar	Temperatura [°C]	% HR	Tiempo [h]
Salón 2	35	53,6	7
Presecado	37,4	48,67	8
Secado 4	90	/	7
Total	/	/	22

Para evaluar la efectividad de la propuesta de secado se realizaron pruebas con barras construyendo así su respectiva curva de secado, realizando progresivamente ensayos que permitieran llevar lo obtenido en laboratorio al proceso industrializado. Las pruebas se llevaron a cabo de la siguiente manera: Ensayos con una taza diariamente durante 1 semana, luego 3 tazas diariamente por 1 semana y finalmente con arañas (son los carros usados para el transporte de las tazas), que constan de 3 niveles en donde cada uno contiene 5 tazas para un total de 15 tazas diariamente durante 1 semana. La Figura 15 son detalles de lo anteriormente descrito.



**Figura 15.** Esquema del orden de los ensayos realizados

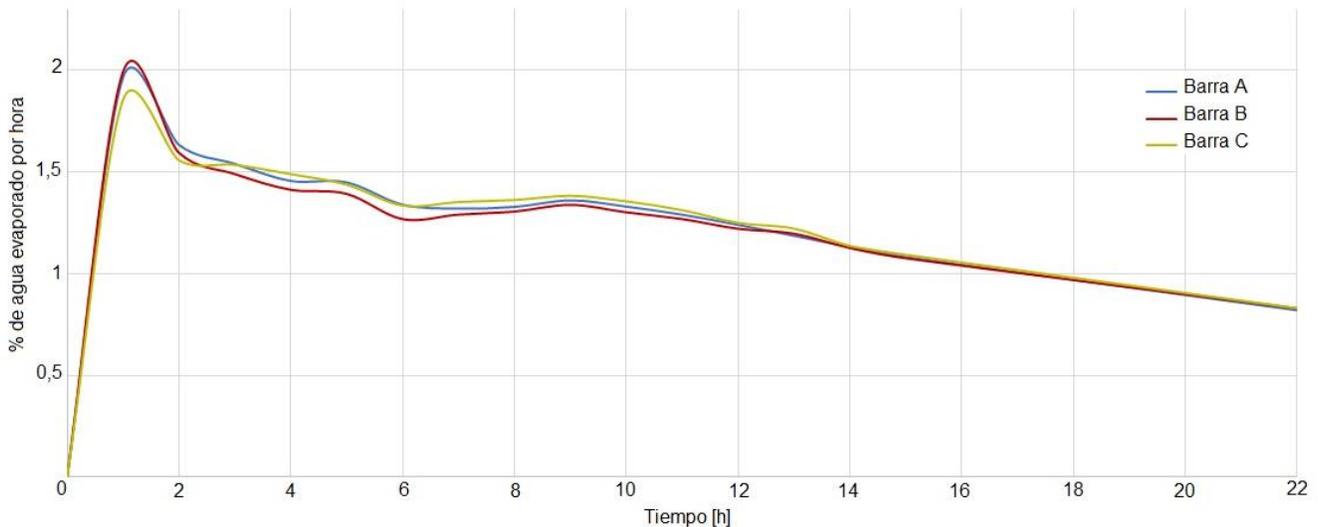
Como criterio de evaluación para la aceptación de la propuesta de secado, los directivos de la Compañía estipularon que los ensayos realizados no podrían superar el 5% de pérdida por rotura en piezas. La Figura 16 muestra la curva de secado construida para la propuesta de secado empleando barras por triplicado.



**Figura 16.** Curva de secado con el proceso propuesto.

Aunque las probetas mostraron que contrajeron a razones ligeramente diferentes, lo que es de real importancia para el ensayo es que todas comenzaron a cesar su contracción alrededor de las 5 horas de proceso, estando en este punto en el salón

2 (ver Tabla 5). Lo que confirma el hecho de que es posible someter las piezas a un secado más agresivo puesto que estas alcanzaron su punto crítico [1]. La pérdida de humedad sigue siendo progresiva, pero esta vez no se presentaron ganancias de humedad a lo largo del proceso, debido a la eliminación del espacio llamado “bodega” como parte del mismo. De manera similar que con el secado convencional se evaluó el rendimiento del proceso de secado propuesto en la Figura 17.



**Figura 17.** Variación del rendimiento del proceso propuesto.

En esta se observa un máximo rendimiento en la primera hora de secado como en el anterior (ver Figura 14), donde luego comienza a disminuir su rendimiento como era de esperarse, pero esta vez sin variación alguna que afecte el proceso.

#### 5.4 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO PROPUESTO

Fueron realizados ensayos durante 6 días seguidos con el proceso de secado propuesto cumpliendo con los parámetros estipulados en la Tabla 5, utilizando una araña diaria, es decir 15 tazas, como criterio de aceptación. Luego del secado, las tazas eran clasificadas para buscar posibles grietas, detectando en ellas o no este defecto. La Tabla 6 enseña los resultados de los ensayos realizados con el proceso propuesto, de las piezas ubicadas en los tres niveles de una araña para ensayos durante una semana [8].

**Tabla 6.** Resultados de la clasificación de las tazas en el proceso de secado propuesto.

	Taza #	Clasificación					
		L	M	W	J	V	S
<b>Nivel 1</b>	11	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
	12	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
	13	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
	14	Buena	Buena	Buena	22	Buena	Buena
	15	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
<b>Nivel 2</b>	16	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
	17	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	37
	18	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	37
	19	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
	20	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
<b>Nivel 3</b>	21	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
	22	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
	23	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
	24	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
	25	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena

De las 90 tazas participes de los ensayos solo 3 fueron rechazadas en clasificación, una por código 22 y las otras dos por código 37. El código 22 se refiere a falsa formación, es cuando a ciertas partes del molde no llega la suficiente suspensión de colaje y la pieza no se llena por completo y el código 37 es una deformación debida a maltrato en la manipulación de la taza, aclarando entonces que ninguno de estos defectos es debido al proceso de secado, puesto que un proceso de secado inadecuado se ve evidenciado en la aparición de grietas en la taza.

### **5.5 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO PARA *ONE PIECE***

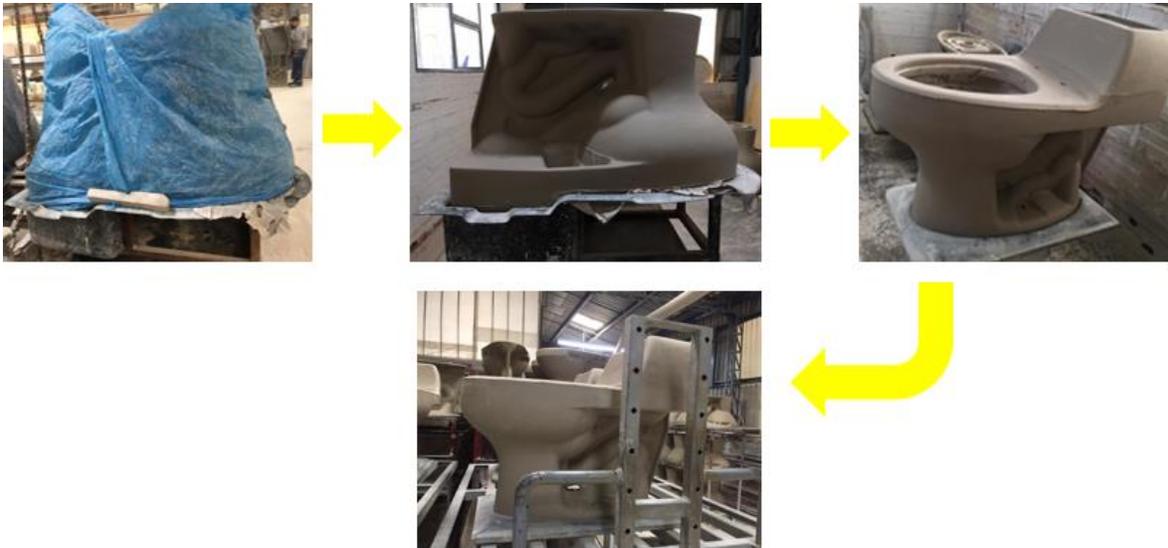
De manera similar que, con las tazas, el proceso de secado para las *one piece* fue evaluado, con el fin de conocer todos los parámetros involucrados. Haciendo seguimiento a la temperatura, humedad relativa a la que las *one piece* son expuestas en los diferentes lugares del secado como lo son: el salón 1, bodega, presecado y los mismos secaderos que para las tazas. También se midió el tiempo de permanencia en estos. La Tabla 7 resume los parámetros anteriormente mencionados.

**Tabla 7.** Resumen de proceso de secado convencional para las *one piece* y sus parámetros.

Lugar	Temperatura [°C]	% HR	Tiempo [h]
Salón 1	28,6	63,4	18
Bodega	22,4	73,6	49
Presecado	37,4	48,6	6
Secado 1	50	/	3
Secado 2	60	/	3
Secado 3	80	/	3
Secado 4	90	/	3
Total	/	/	85

Se puede notar que es un proceso bastante largo con una duración total de 85 horas, 7 movimientos los cuales requieren de operarios debido a que la *one piece* en verde pesa alrededor de 50 Kg, además de un espacio amplio para la ubicación de estas.

Algo importante en este proceso es que, al iniciar el secado, las *one piece* son cubiertas con bolsas plásticas para homogenizar la humedad en la pieza, puesto que, por su compleja geometría, si no se cubriesen estas comienzan a secar de una manera no homogénea, ocasionando grietas en la pieza. Pasadas 29 horas del proceso (cuando las *one piece* están en bodega) son descubiertas para continuar hasta llegar a las 67 horas (también en bodega) donde entran a Presecado por 6 horas y luego a secaderos por 12 horas (ver Tabla 7). La Figura 18 muestra cómo se encuentra la *one piece* en las diferentes etapas del secado.

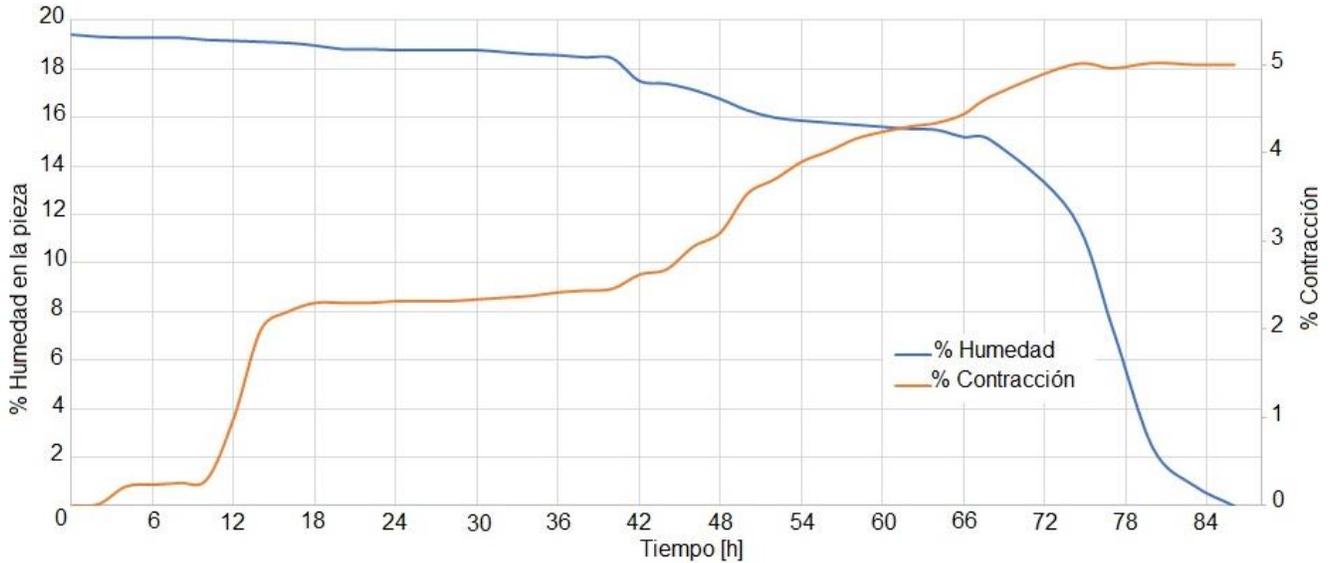


**Figura 18.** Diferentes ubicaciones de la *one piece* durante el secado.

La Figura 19 enseña la curva de secado realizada para el proceso de secado convencional de las *one piece* el cual tiene una duración de 85 horas. En ella se observa una pérdida de humedad controlada en la que en las primeras 29 horas debido al hecho de que la pieza se encuentra cubierta por las bolsas plásticas la pieza pierde muy poca humedad (0,3 kg) a una tasa muy baja. Por otro lado, cuando la pieza es descubierta el proceso de secado se acelera, notándose también que la mayor velocidad de pérdida de humedad se da luego de las 68 horas, cuando entra a presecado, debido a el aumento de temperatura.

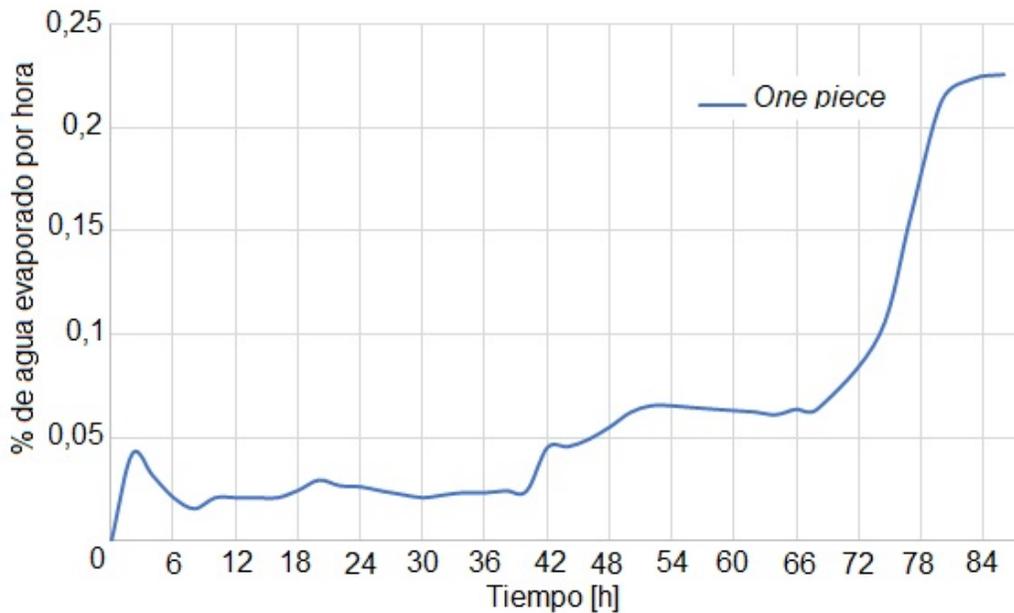
Por otra parte la contracción presentó un comportamiento particular en el que se observó un cambio abrupto de las 12 a 18 horas, el cual se presumía era un error en el ensayo pero no es así, este es un comportamiento natural de la pieza en su proceso de secado, esto fue comprobado con la realización de más ensayos.

Otro aspecto importante para tratar de la Figura 19 es el hecho de que en esta no se aprecia a primera vista el punto crítico, es decir un cese en la contracción visto gráficamente. Hay que tener cuenta que para reconocer el punto crítico es necesario remitirse a los datos tomados en el ensayo, en el se nota que cuando el ensayo esta en la hora 66 la humedad en la pieza es del 15,17% y la contracción sufre solo cambios infinito decimales, siendo entonces este el punto crítico para la *one piece*.



**Figura 19.** Curva de secado para el proceso convencional de las *one piece*.

También se evaluó el rendimiento del proceso de secado de igual manera que se hizo con las tazas, es entonces como la Figura 20 representa dicho comportamiento.



**Figura 20.** Variación del rendimiento del proceso de secado convencional para las *one piece*.

Como era de esperarse el rendimiento del proceso es muy bajo debido a los requerimientos que exige la pieza para un adecuado secado, comenzando con un rendimiento casi que nulo, inferior al 0,05% de agua evaporada por hora y con un

claro aumento alrededor de las 42 horas de proceso que es justamente cuando la *one piece* es invertida, es decir puesta en pie; permitiendo una mayor entrada de calor por el anillo hacia el interior de la pieza, entrando entonces mayor área de la pieza en contacto con el ambiente, fomentando el secado de la pieza.

## 6. CONCLUSIONES

Los estudios para la caracterización del proceso de secado convencional de las tazas y los ensayos realizados, los cuales involucraron alrededor de 110; tazas dieron como resultado una disminución del 29% del tiempo de secado equivalente a 9 horas menos, exitosamente reflejado en una disminución en el inventario en planta del 29.1% equivalente a 141 tazas. Lo que logra liberar un espacio de 18.48 m<sup>2</sup> (Area equivalente al espacio llamado "bodega"), otro factor importante es que con el proceso de secado propuesto en este semestre de industria, el operario encargado de mover las arañas de secadero en secadero realizará un esfuerzo físico menor debido a que el proceso convencional contempla 7 movimientos, mientras que el nuevo solo contempla 3.

Mediante el empleo de curvas de secado pudo ser evidenciado y documentado el comportamiento que exhiben las piezas tazas y *one piece* para la Compañía Senco Colombiana S.A.S, dichos comportamientos fueron registrados según el lugar en el que las piezas se encontraban a lo largo de todo el proceso.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SACMI, *Tecnología cerámica aplicada*, Impiva., vol. II. 2011.
- [2] SACMI, *Tecnología cerámica aplicada al sanitario*. 2011.
- [3] E. Gal and P. Aparicio, "Materias primas para la industria cerámica," 1961.
- [4] MSc. Ing. Luz María Contreras Velásquez, "Aspectos teóricos de la operación de secado y su aplicación en productos sólidos," *Cent. Univ. "José Martí" Ave. los Mártires*, vol. N° 360, no. Sancti Spíritus, Cuba, 2003.
- [5] D. A. Estrada and J. E. Monteros, "El secado de los productos cerámicos," *Boletín la Soc. Española Cerámica y Vidr.*, vol. 21, pp. 327–337, 1982.
- [6] A. (Director tecnico de berakmar tecnologin S. A. Massaguer and S. (Director de I. de beralmar tecnologico S. A. Amposta, "apuntes sobre secado de piezas de ladrillos y tejas," *Beralmar Tecnol. S.A*, 2013.
- [7] "Historical Standard: Standardized test method to determine density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregates," *ASTM Int.*, vol. C128-04a.
- [8] F. Pareyn, E. Rirgrlhaupt, J. S. N. de Campos, and M. C. R. de Oliveira, "Manual de sistemas de secado en la industria del ladrillo," *Inst. Nac. Tecnol.*, vol. 42, 2016.
- [9] "Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying," *ASTM Int.*, vol. C556-13.
- [10] "Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying," *ASTM Int.*, vol. C326-09, 2018.
- [11] CDS group associate company, *A guide to thermic dryers and drying systems*. 2009.
- [12] S. Kaushik and P. S. R. Shah, "ANALYSIS OF DRYING PROCESS IN CERAMIC TILES INDUSTRIES," no. 3, pp. 409–418, 2016.
- [13] R. S and M. E, "critical factors in ceramic sanitaryware drying," *Ceram. world Rev.*, vol. 74, 2007.