



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Disminución de los tiempos de residencia de las piezas sanitarias
en el proceso de secado en Senco Colombiana S.A.S**

Autor(es)

Angi Tatiana Chacón Pabón

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería
Química

Medellín, Colombia

2019



Disminución de los tiempos de residencia de las piezas cerámicas en el proceso de
secado en Senco Colombiana S.A.S.

Angi Tatiana Chacón Pabón

Informe de práctica como requisito para optar al título de:

Ingeniera química

Asesores (a)

Adriana Marcela Osorio Correa, Ingeniera química. Msc, en ingeniería. Doctora en
ingeniería. (Asesor interno)

Jhon Fredy Bañol Gutiérrez, Ingeniero químico. (Asesor externo)

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química.

Medellín, Colombia

2019

Resumen

Se realizó la mejora del proceso de secado en la planta de Senco Colombiana S.A.S reduciendo el tiempo de éste mediante la implementación de ventilación en los secaderos, además de una modificación en la operación. El tiempo de secado se redujo a través de un seguimiento en las condiciones de los secaderos como fueron las temperaturas de entrada y salida del aire, humedad y velocidad, además, se obtuvo registro de la pérdida de peso que presentaban las piezas en cada uno de los 3 niveles de la araña o estante en que se ingresan, de lo registrado se pudo observar que dentro de los secaderos no se contaba con una temperatura uniforme y una buena distribución del aire, por lo cual se sugirieron pruebas con un ventilador de tal manera que se garantizara mayor circulación del aire de entrada, a partir de estos ensayos se pudo observar que la pérdida de peso incrementaba en un 1%, en ensayos posteriores se logró observar que el uso del ventilador, aceleraba la pérdida de peso haciendo prescindible el uso del cuarto secadero debido a que el proceso consta de 4 secaderos *batch* en los cuales las piezas residen 3 horas en cada uno. De las curvas de secado realizadas para las tazas sanitarias, se pudo observar que el punto crítico se lograba alcanzar cerca de las 8 horas después del desmoldado y que en el presecado no se perdía una cantidad considerable de humedad en relación al tiempo que residían allí, por lo cual se decidió reducir este tiempo y distribuirlo entre el secadero 1 y 5, de tal manera que se garantizara el secado del nivel superior y se aprovechara el mayor gradiente de temperatura que proporciona el último secadero, logrando así reducir 7 horas del secado, es decir una reducción del 22,58%. Como propuesta se planteó la idea de unificar el secadero 3 y 4 de tal manera que el ingreso de aire se diera de manera bilateral e implementando el uso de ventiladores que generasen una mejor circulación del aire, de tal manera que se logre el secado en ese único secadero reduciendo el tiempo de secado y generando comodidad al operario.

Introducción

Senco Colombiana S.A.S es una empresa que tiene como actividad principal, la elaboración de productos cerámicos como son las tazas sanitarias, plafones, accesorios para baño, lavados, pedestales y locería, entre otros.

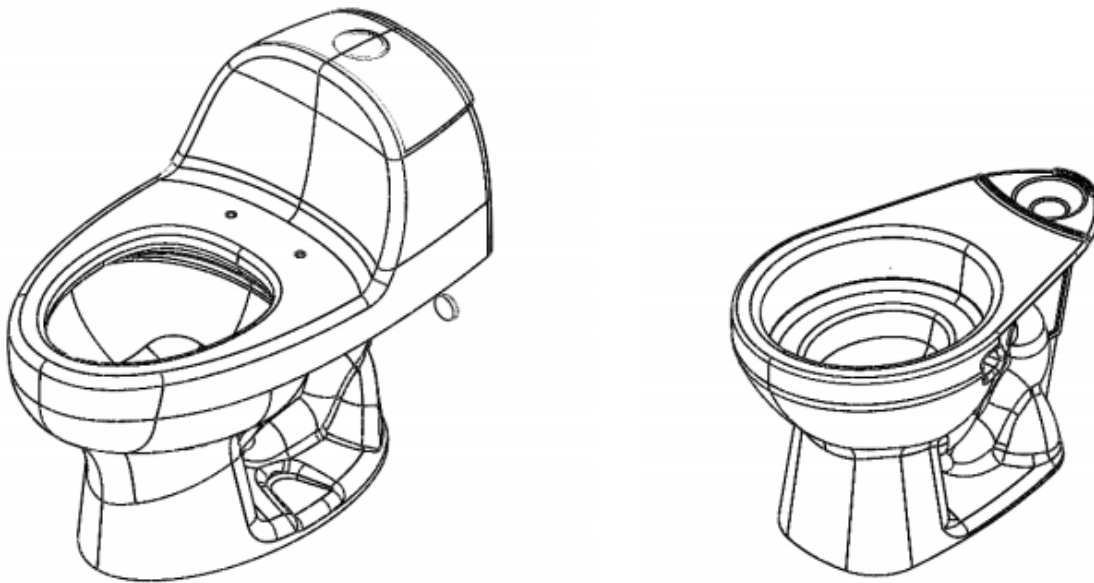
El proyecto a desarrollar estuvo enfocado en ciertos productos como son las tazas sanitarias tradicionales y las tipo *one piece* como se puede observar en la

a

b

Ilustración 1, las cuales son elaboradas en una sola pieza, es decir, el tanque reservorio del agua está en conjunto con la taza, la elaboración de estas piezas se hace a partir de una pasta, para lo cual se utilizan diferentes arcillas, feldespato y caolín, entre otros materiales. Dicha pasta se transporta mediante tuberías a cada área donde se hace el proceso de vaciado en los moldes de yeso, la elaboración de las piezas cerámicas aún es muy artesanal y su vaciado se lleva a cabo por drenado, a excepción de los tanques que ya se fabrican de manera más automatizada y en sólido. Una vez vaciada la pasta (barbotina) en los moldes, los tiempos de formación para las piezas son de 1:40 y 2:00 horas respectivamente, después del desmolde de las piezas comienza el proceso de secado para el cual se dispone de aproximadamente 7

horas sobre los moldes, en el caso de las tazas, antes de ser transportadas a la sala de secado ambiente donde permanecen 6 horas, de allí se llevan a presecado por 6 horas más y finalmente a secadero donde residen 12 horas, para un tiempo total de 31 horas de secado. En cuanto a las *one piece* se dispone de un tiempo total de secado de 86 horas, debido a que el proceso se retrasa puesto que es una taza de gran dimensión y debe ensamblarse con el tanque, hay zonas que se secan de manera más rápida presentando contracciones en la pieza ocasionando roturas, estos tiempos tan extensos y considerando el tamaño de las piezas genera que la producción se ralentice y exista mucho inventario en verde, es decir, antes de cocción, reduciendo así el espacio disponible en esta etapa del proceso.



a

b

Ilustración 1. Bosquejo de las tazas sanitarias a. one piece y b. tradicionales.

Como primera instancia se verificaron las características de la pasta y se revisaron las curvas de secado para tener una guía de los tiempos que llevó cada etapa del secado, y así poder determinar la forma adecuada de abordar el problema, bien sea proponiendo modificaciones al sistema de secado que se tiene actualmente o diseñando un sistema de secado más idóneo.

Adicionalmente, se chequearon las condiciones de operación del sistema de secado, como temperatura, humedad relativa y velocidad del aire, posterior a ello se debió hacer una valoración de la uniformidad en el secado de las piezas, realizando una inspección visual rigurosa, considerando que el incumplimiento en este aspecto ocasionaba tensiones en la pieza provocando roturas.

Objetivos

General

Determinar las condiciones de operación adecuadas en los secaderos de la planta Senco Colombiana S.A.S, las cuales permitan una disminución en los tiempos de residencia de las piezas cerámicas en estos.

Específicos

- Caracterizar la pasta cerámica usada actualmente
- Identificar los parámetros empleados en el proceso de secado
- Construir las curvas de secado para cada uno de los productos en cuestión
- Proponer los valores adecuados para las variables involucradas en el secado de las piezas cerámicas que conduzcan a una disminución en los tiempos de residencia.

Marco Teórico

“El término cerámica se refiere a cualquier elemento manufacturado por el hombre y constituido por materiales inorgánicos, no metálicos, formados a temperatura ambiente y endurecidos por el calor”. La fabricación de productos cerámicos se compone de diferentes etapas para generar piezas duras, consistentes e inalterables en su forma. La elección de los materiales arcillosos y su preparación es el paso previo al moldeado de la pasta. Una vez moldeadas las piezas se deben secar para finalizar el proceso con la cocción que tiene como finalidad modificar las propiedades fundamentales del material arcilloso incrementando su resistencia mecánica, impermeabilidad al agua, resistencia química y otras propiedades que varían según el tipo de materiales utilizados en la preparación de la pasta [1].

El proceso de producción de artículos sanitarios puede subdividirse idealmente en tres etapas principales: formación, secado y cocción. Durante la fase de formación, se vierte en un molde la pasta compuesta por una mezcla de arcillas. La porosidad del molde permite la filtración de agua, lo que conduce a la deposición de una capa de arcilla en adherencia a las superficies del molde. Cuando dicha capa alcanza el espesor deseado, se extrae el producto del molde permitiéndole soportar su propio peso, en esta etapa el producto se llama cuerpo verde y contiene todavía un alto contenido de humedad siendo extremadamente deformable, como consecuencia, cuando se retira el molde, pueden producirse importantes deformaciones plásticas debido al peso propio. Posteriormente, durante la fase de secado, las piezas se exponen a la humedad y temperatura ambiental, esto produce gradientes de humedad entre las partes internas y externas de las capas de la pasta y conduce a la migración de agua y de hecho, al secado de la pieza. La disminución de agua, refuerza la succión, lo que lleva a la contracción y a una rápida mejor de las propiedades mecánicas [2]. Si el secado de la pieza es demasiado rápido y no uniforme sobre la pieza, surgen tensiones que pueden conducir al desarrollo y la propagación de grietas o fracturas, siendo este el problema de mayor desafío para la ingeniería.

El secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. En cerámica, el secado es la etapa de fabricación durante la

cual el agua que no se encuentra químicamente vinculada, se elimina del cuerpo cerámico. Esto incluye tanto el agua intersticial contenida en los huecos entre las partículas de la pasta, como el agua superficial que rodea las diversas partículas. Muchas partículas finas en la pasta, provocan cantidades considerables de poros de pequeño tamaño, así pues, combinar una buena plasticidad de moldeado, manipulación y un acabado fuerte con una reducción en el número de partículas finas hacen que pueda llevarse a cabo más rápido el secado y con mayor seguridad [3]. Una pasta cerámica se compone de partículas de arcilla divididas por películas de agua que, al ser eliminadas, permiten el desplazamiento de las partículas. Conforme la pasta pierde más humedad por evaporación, estas partículas se aproximan más entre ellas ocasionando que la arcilla se contraiga hasta que la película de agua es completamente eliminada y las partículas ya no pueden acercarse más [1]. En la industria existen diversos métodos de secado basados en diferentes principios. Se puede secar un producto mediante uno o más de los siguientes métodos: absorción, adsorción, filtración, centrifugación, evaporación, vaporización, condensación y liofilización. Actualmente, el método más empleado es el de evaporación.

Para ajustar el proceso de secado es esencial controlar las características del aire como son su temperatura, humedad y velocidad de flujo, las condiciones ideales de operación se obtienen cuando la velocidad de evaporación es igual o ligeramente inferior a la velocidad de difusión. Esta última depende de [4]:

- La temperatura de la pieza.
- Naturaleza mineralógica del material: Compuestos altamente plásticos son más dados a la contracción y por tanto, a una mayor restricción del agua a través de los conductos de flujo, lo que reduce aún más la velocidad de difusión [3].
- Magnitud y forma de las partículas y capilares: Las partículas minerales de una pasta cerámica se encuentran inmersas en un retículo líquido constituido por canales capilares de agua. Durante el secado, el agua debe de ser llevada desde el interior de la pieza, a través de dichos capilares, hasta la superficie, donde podrá evaporarse.
- Porcentaje de agua en la pasta: Generalmente, el producto a secar consiste en una mezcla de materiales inorgánicos con un porcentaje de agua entre 18% y 20%.
- Estado higrométrico y humedad relativa: La relación entre la tensión de vapor del líquido en la pieza y la presión de vapor del aire.
- Dinámica de la contracción y expansión. [3]

De igual manera, hay que tener en cuenta que la velocidad de evaporación aumenta si [3]:

- La diferencia entre la presión de vapor en la pieza y la presión del aire de secado aumenta.
- La velocidad del aire de secado aumenta
- El cociente entre la superficie del área y el volumen de la pieza aumenta.

Con la evaporación, la temperatura de la pieza tiende a disminuir. Esto debe ser evitado debido a que una caída de temperatura de la pieza corresponde, o bien a una disminución de la velocidad de difusión, o una disminución de la velocidad de evaporación a causa de la pequeña tensión de vapor del líquido a evaporar, con el peligro de poder llegar al punto de rocío.

Los efectos que se generan sobre cada cuerpo dependen de su naturaleza química y cristalográfica, de su granulometría y el tratamiento previamente recibido. Los efectos que se observan son una pérdida de volumen y peso por la evaporación del agua, otras variaciones ocurren sobre:

- La cantidad de agua residual.
- Las dimensiones longitudinales y superficiales.
- La resistencia a la flexión.
- La plasticidad.

Las operaciones de secado se clasifican en lotes o continuas, la aplicación de estas depende específicamente de la sustancia a secar. En el secado por lotes, el material a secar se expone a una corriente de aire que fluye continuamente, mientras que, en el secado continuo tanto el material como el aire pasan continuamente a través del equipo, siendo este último más económico y utilizado para procesos a gran escala [5]. Una de las dificultades más importantes del secado en lotes es la no uniformidad del contenido de humedad. Esa falta de uniformidad es principalmente el resultado del movimiento inadecuado y no uniforme del aire dentro del secador. [6]

Por otra parte, el conocimiento de la operación de secado es tan incompleto que, es necesario disponer de medidas experimentales para tener una idea próxima a las condiciones de mayor escala, así pues, se requieren de pruebas de secado para determinar la rapidez de este, para ello se debe tener en cuenta que para obtener datos más precisos, la muestra no debe ser muy pequeña, las condiciones deben ser lo más similares posibles, la muestra debe soportarse de forma similar, la relación de la superficie que se seca y la que no se seca debe ser la misma y el aire debe tener las mismas condiciones. [5]

Metodología

Para un buen desarrollo del proyecto y el cumplimiento de los objetivos propuestos se realizaron las siguientes actividades:

1. Reconocimiento de las áreas de producción y el proceso: Se realizó el acompañamiento de supervisores y operarios en cada área, para determinar por inspección visual las condiciones previas al secado de cada pieza, además de los tiempos que se toma hacer cada una de ellas.
2. Afianzamiento con los procedimientos del laboratorio: Se hizo un acompañamiento en el laboratorio para conocer las pruebas que se realizan a la pasta empleada en la elaboración de las piezas y conocer los rangos a los cuáles se está trabajando en humedad, densidad, viscosidad y espesamiento. Para determinar la humedad de la pasta, se tomaba una muestra de los tanques de almacenamiento y se dejaba agitando en promedio un minuto, una vez agita se disponía a vaciarse en unos moldes de yeso donde se reposa una hora antes de ser drenado, una vez drenada se deja una hora más para sacar una rodaja, esta es pesada y posteriormente dispuesta en un secador de lámpara por al menos 7 horas, se saca de allí y se pesa nuevamente para calcular el porcentaje de humedad. La densidad de la pasta se toma con un picnómetro de 100 ml, el cual se puede observar en la Ilustración 2, este se pesa vacío y posteriormente

lento de colaje, el valor se multiplica por 10 para obtener la densidad en g/L. Para tomar el espesamiento o trixotropía de la pasta, inicialmente se toma la viscosidad, esto con un viscosímetro Brookfield (Ilustración 3), una vez tomado este valor, se dejan pasar 3 minutos y nuevamente con este instrumento se toma viscosidad, el espesamiento será en sí la diferencia de los dos valores anteriormente hallados. Otro chequeo que se le realiza a la pasta es el tamaño de partícula, esto se mide con el índice de azul de metileno (IAM), para la prueba se debe tomar una muestra de 8 g de pasta seca, se le agregan 90 ml de agua destilada, se agitan y se dejan reposar por un día, una vez reposada se adiciona alrededor de 3 ml de ácido sulfúrico 1.0 N y se toma el pH de la muestra, este debe estar entre 1-3, lista la muestra se hace la correspondiente titulación, el calculo del IAM se halla multiplicando el volumen usado de azul de metileno por la concentración de este, dividido en el peso de la muestra seca, es decir:

$$IAM = \frac{V_{AM}C_{AM}}{m}$$



Ilustración 2. Picnómetro.



Ilustración 3. Viscosímetro Brookfield.

3. Revisión de curvas de secado y condiciones de operación del secadero: Con base a lo observado anteriormente, se chequearon las condiciones de la pasta utilizada en las líneas de estudio, sus respectivas curvas de secado y las condiciones a las cuales se encuentra operando el secador implementado en la planta.

Para las curvas de secado en escala de laboratorio se emplearon unas probetas, para ello se utilizó la misma pasta usada en la fabricación de las tazas sanitarias y se les dio el mismo tiempo de formación, una vez sacadas de los moldes se les hizo una marca de 10 cm, ya marcadas se pesaron y se dispusieron en el salón donde se fabrican las tazas para darles las mismas condiciones de secado desde el desmolde hasta la salida de secaderos. En el caso de las tazas, cabe resaltar que existen dos referencias de taza tradicional, tayrona y calima, estas difieren en tamaño y peso, para la realización de las curvas de secado se dispuso de una taza, la cual fue pesada una vez desmoldada y se le realizó una marca en diferentes zonas para ver la contracción de la misma en el tiempo y con la pérdida de peso, los datos se tomaron cada 15 min durante 4 horas, después de este tiempo se tomaron cada hora.

Para la caracterización de los secaderos, se tomaron datos de temperatura, humedad y velocidad del aire, para ello se empleo el uso de un anemómetro y dos termómetros con los cuales se tomaron temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo y así mediante carta psicométrica se obtuvieron datos de humedad ya que no se contaba con la instrumentación adecuada para la medición de este parámetro. Además de esto, se usaron tazas para ver la uniformidad del secado tanto en los niveles de las arañas como en diferentes ubicaciones del secadero.

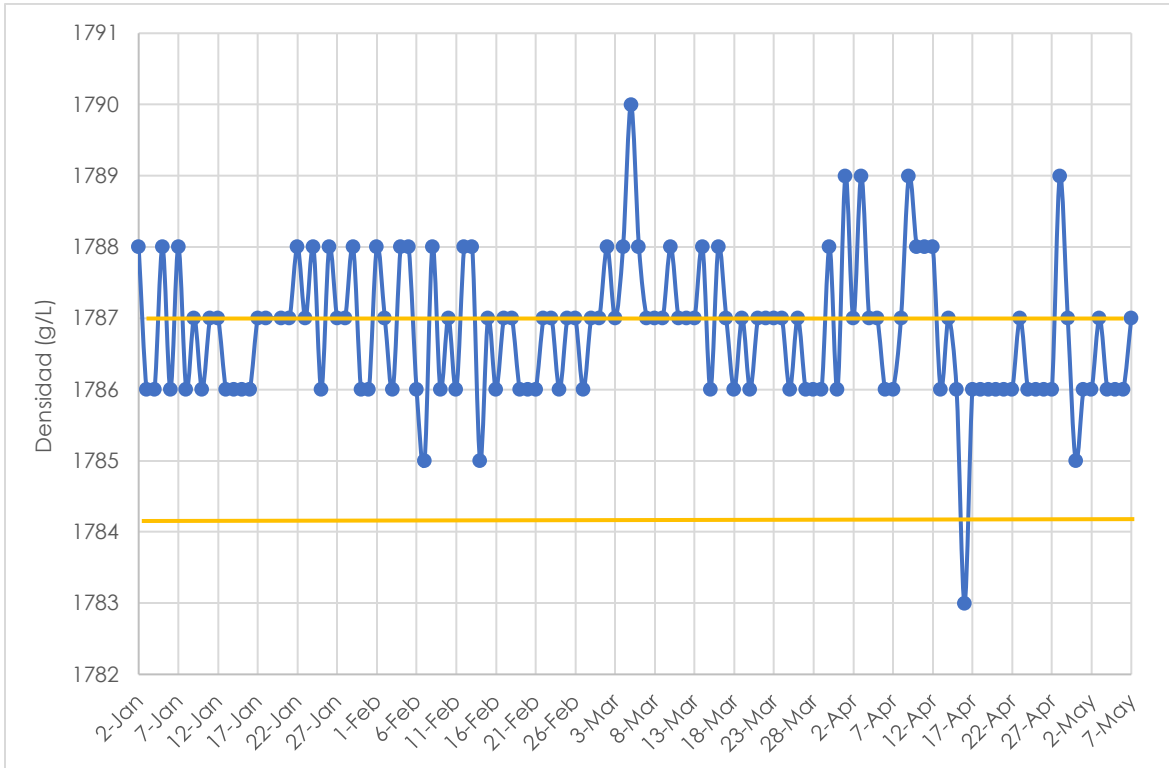
4. Análisis de resultados: Con base a los datos recolectados en la etapa de chequeo, se analizó cuál de los factores era el más influyente y se observó que la falta de uniformidad en el secado por una mala circulación del aire era uno de los problemas de implementación más sencilla, por ello se hicieron pruebas con un ventilador axial, el cual se dispuso al interior del secadero número 2 y número 4 de tal manera que arrastrase el aire hasta el lado opuesto de su ingreso.
5. Cálculo de condiciones óptimas: Con el análisis antes mencionado, se planteó la disposición de ventilación en los secaderos, esto con el fin de hacer la circulación del aire más uniforme y de igual manera el secado de las piezas.

Resultados y análisis

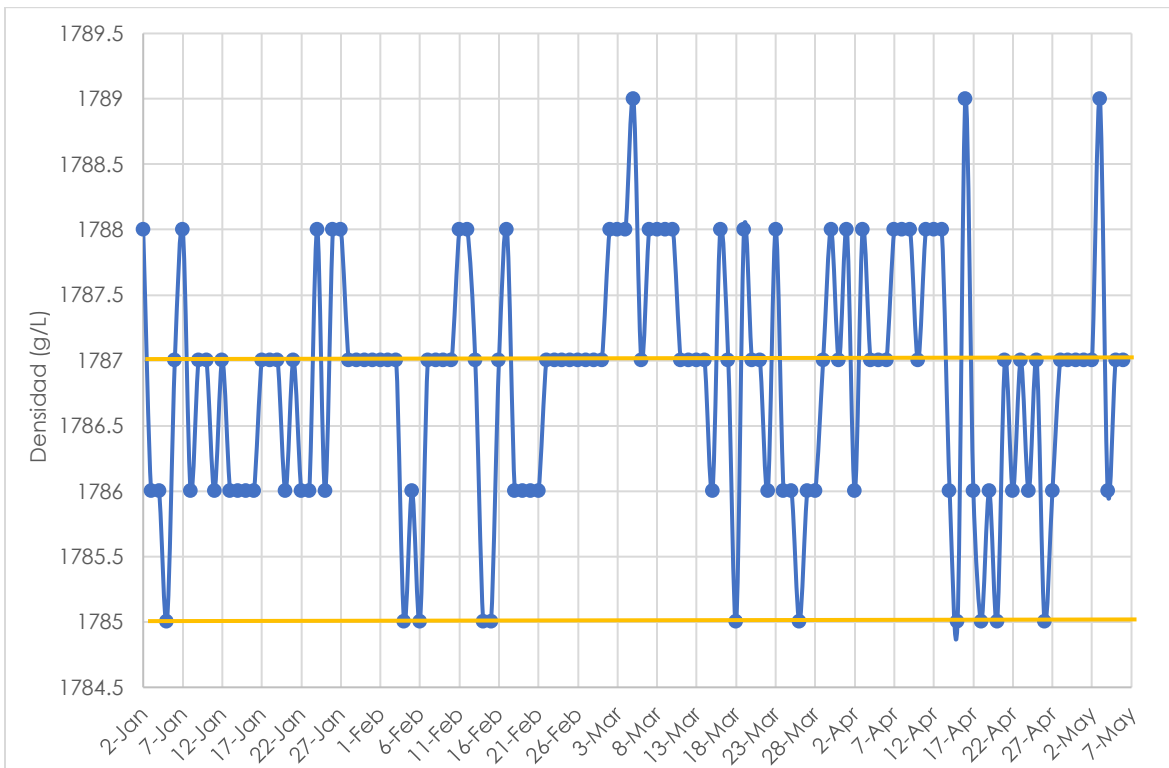
En primera instancia, se realizó un acompañamiento con los supervisores y operarios del proceso con el fin de reconocer las diversas referencias que se producen al interior de la planta, además, observar el comportamiento y las condiciones en las cuales se ejecuta la producción de las piezas en estudio, las cuales fueron mencionadas anteriormente. Se encontró que algunos de los factores que hacían del proceso de secado extenso, era la falta de control en la humedad del aire en las áreas donde se realiza el secado ambiente y la no uniformidad del aire en los secaderos, haciendo que el aire circundante en ellos no se distribuya correctamente ocasionando que el proceso se ralentice.

Caracterización de la pasta

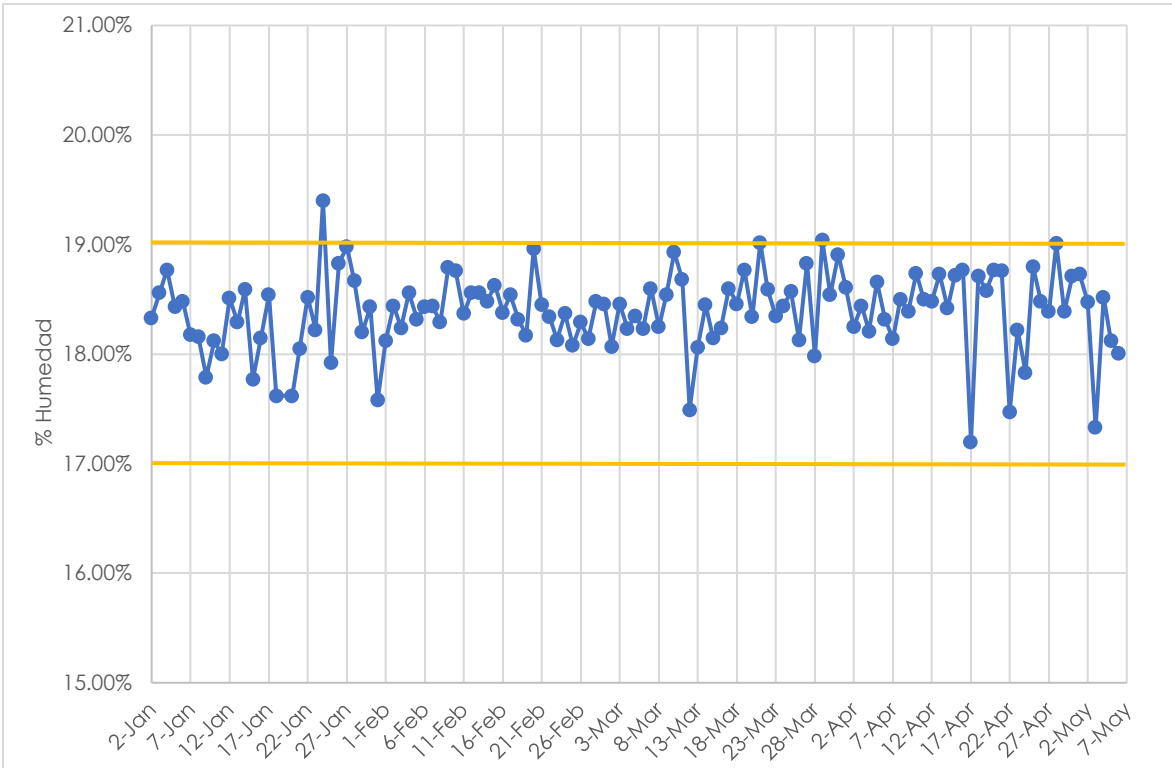
Como era de esperarse, las condiciones de la pasta no fueron las mismas todos los días, sin embargo, se mantuvieron dentro del rango establecido. Para el caso de la densidad, el intervalo es estandarizado por la empresa y debe ser de 1786 con un margen de más o menos 1 como se muestra en las gráficas 1 y 2, las cuales representan la pasta disponible en el salón 1 donde se llevan a cabo las *one piece* y tazas en máquina y el salón 2 donde se realizan las tazas de manera tradicional o artesanal. Para el caso de la humedad el rango está entre 17-19%, esto puede observarse en las gráficas 3 y 4, la viscosidad se encuentra en un rango entre 700-900 cP (gráficas 5 y 6), el espesamiento entre 170-200 cP (gráficas 7 y 8), en cuanto al tamaño de partícula el índice de azul de metileno debe estar alrededor de 3.6, esto se puede observar en la gráfica 9. La composición o formulación de la pasta empleada contiene diversas arcillas, feldespato y caolín, por motivos de confidencialidad se asignará a cada uno de los compuestos una letra como se muestra en la tabla 1:



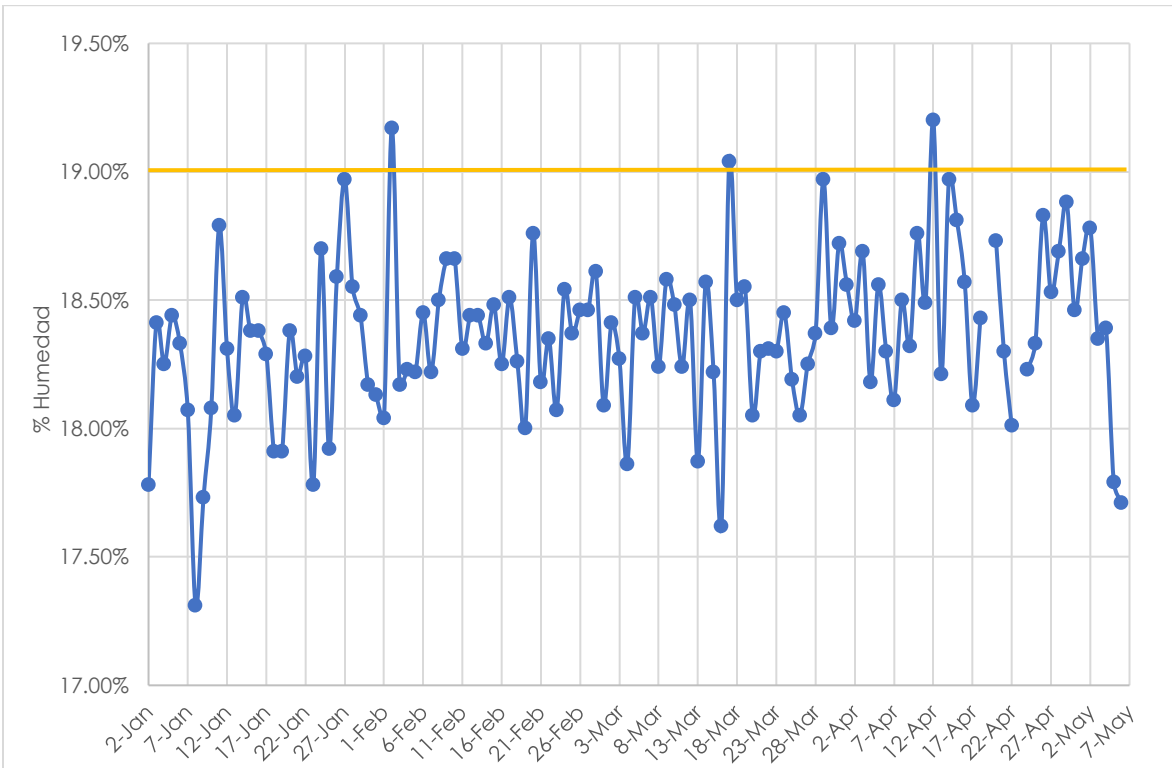
Gráfica 1. Densidad del colaje en salón 1.



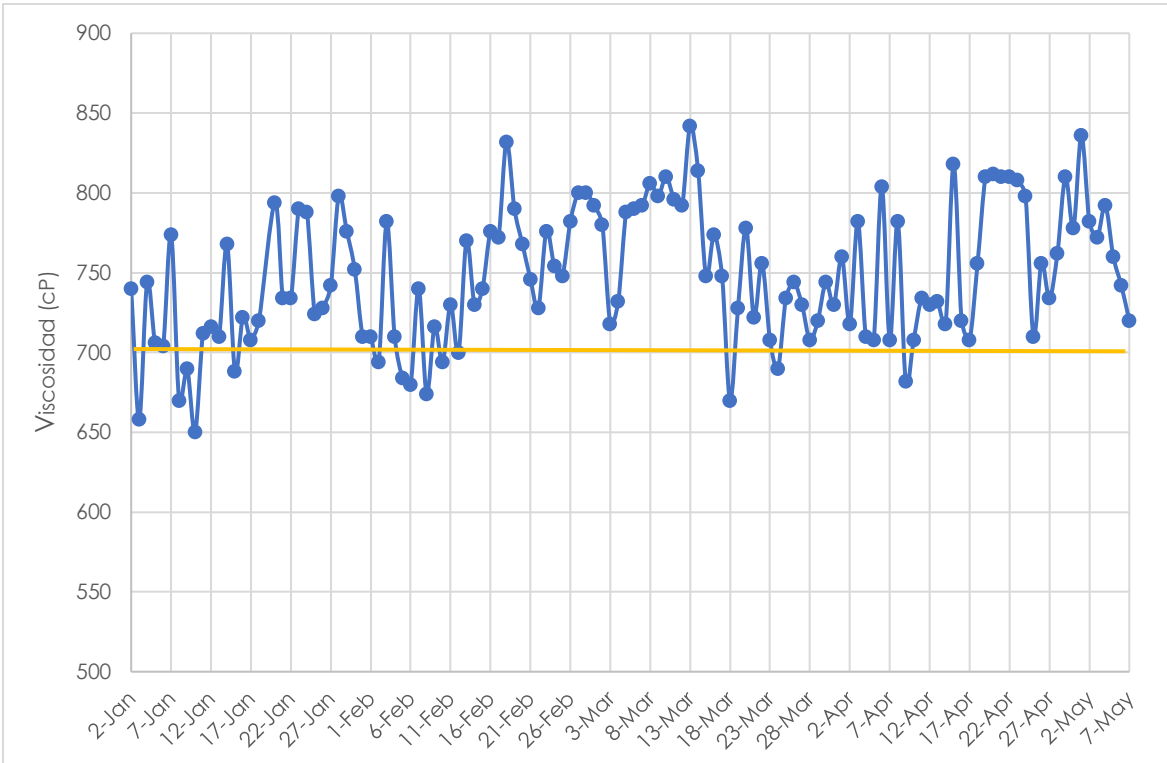
Gráfica 2. Densidad del colaje en salón 2.



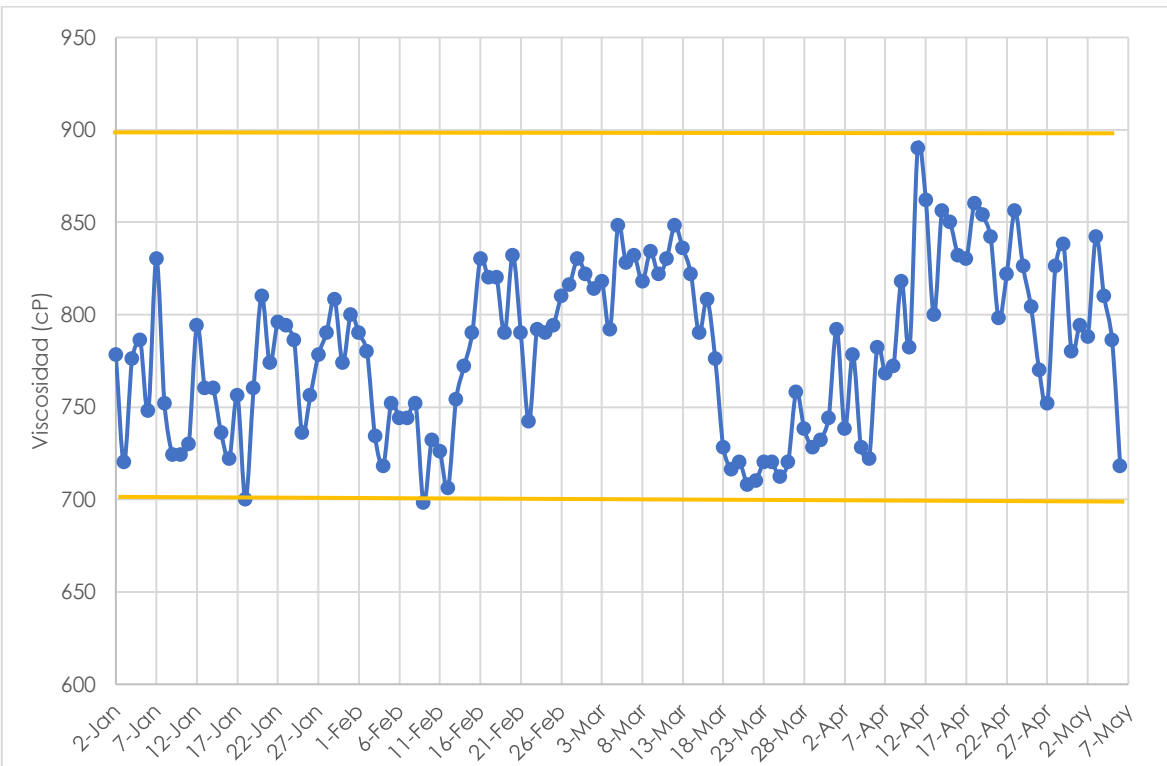
Gráfica 3. Humedad de la pasta en sal6n 1.



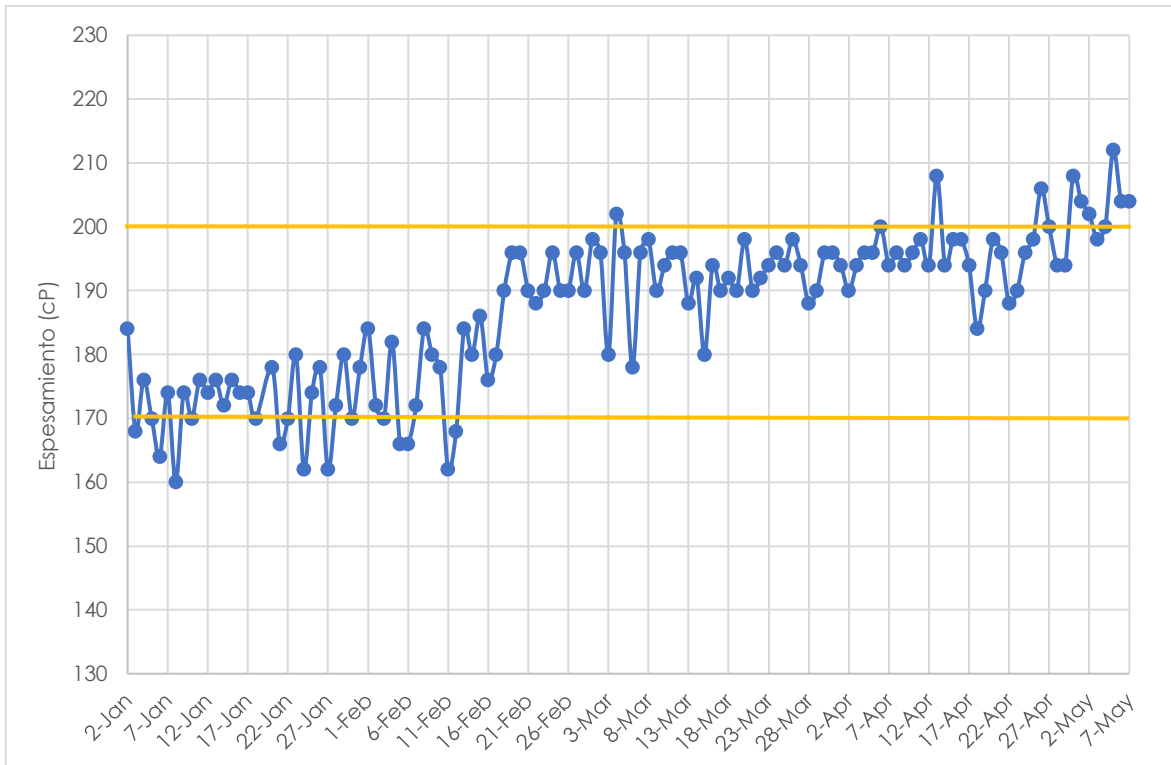
Gráfica 4. Humedad de la pasta en sal6n 2.



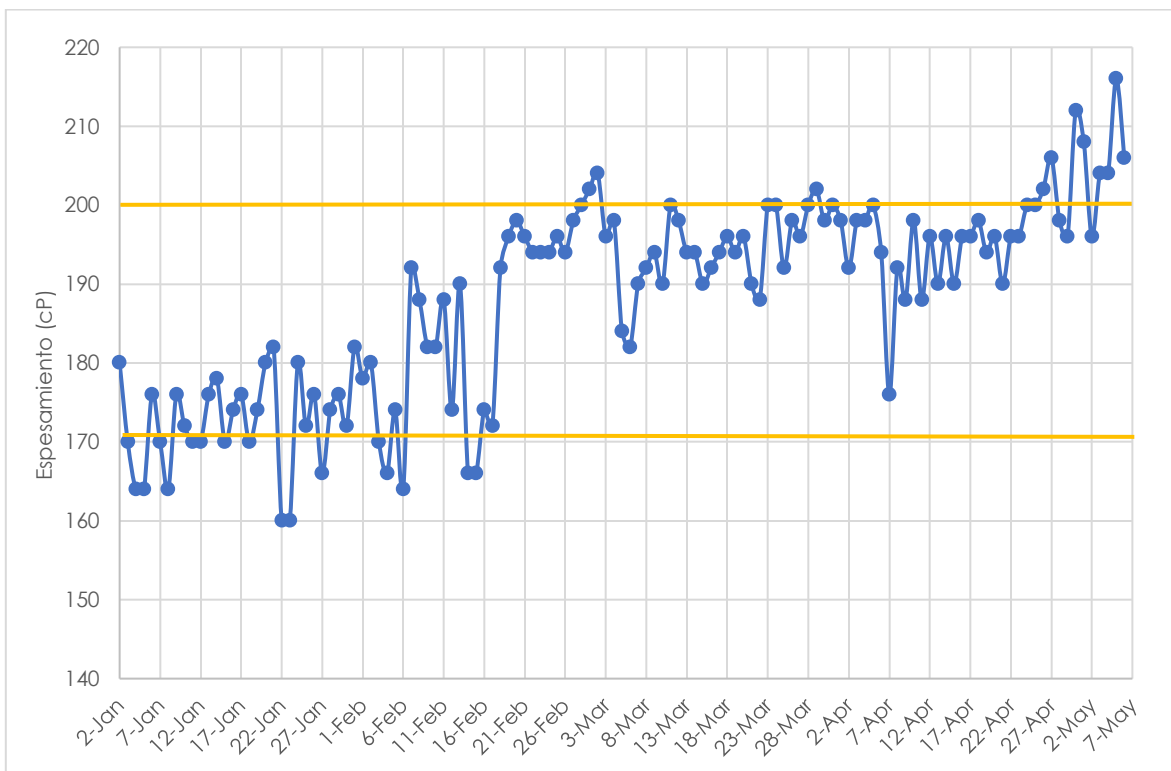
Gráfica 5. Viscosidad del colaje en salón 1.



Gráfica 6. Viscosidad del colaje en salón 2.

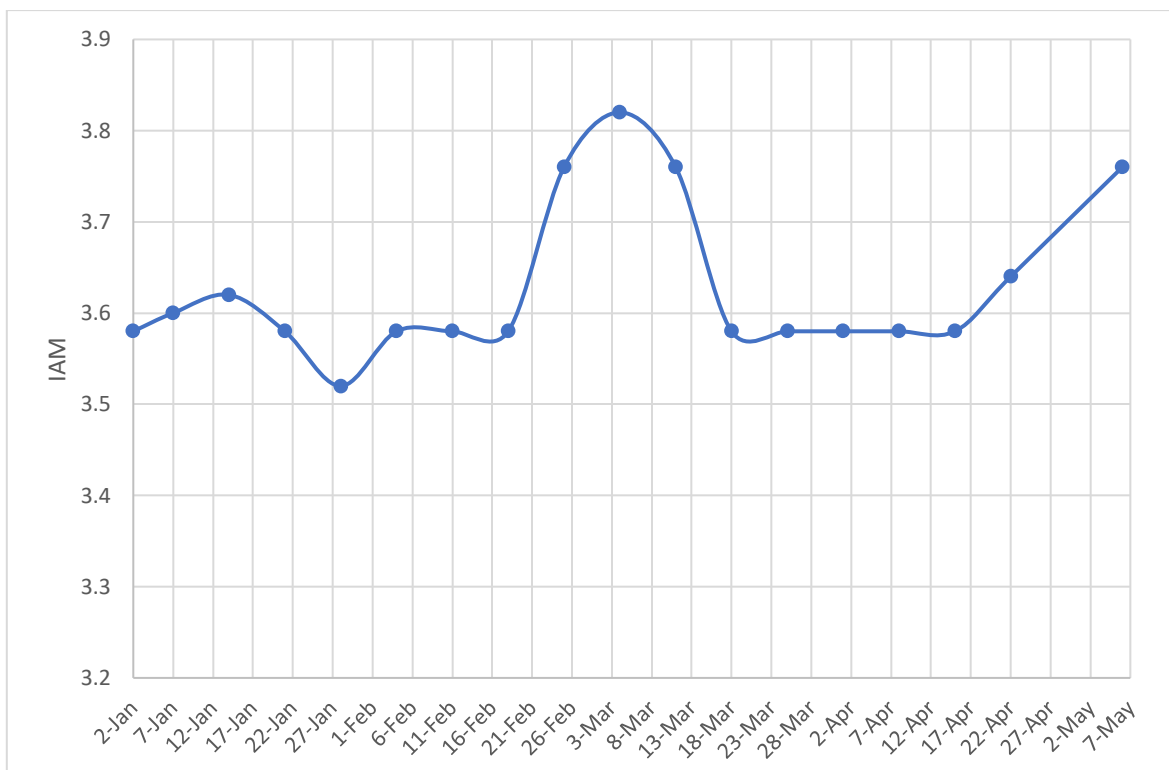


Gráfica 7. Espesamiento de la pasta en salón 1.



Gráfica 8. Espesamiento de la pasta en salón 2.

En las gráficas 1 a 8 se pueden observar los datos de diversas propiedades y características de la pasta registrados durante los primeros 4 meses de el año en curso, en las mismas se observan los límites en amarillo de los rangos establecidos en la empresa como funcionales para el proceso, también es posible observar que ciertos datos están por encima o debajo de los límites, esto inicialmente se debe a que son tomados de los salones en los que ya se emplea la pasta, y los rangos son los establecidos para el chequeo de la pasta durante la producción de esta, por lo cual por la reología de la misma, con el tiempo tiende a aumentar su viscosidad y esto lleva consigo un aumento en el espesamiento, la densidad también puede verse afectada debido a las condiciones de temperatura de los salones, haciendo que esta aumente.



Gráfica 9. Índice de azul de metileno del colaje

El índice de azul de metileno está estrechamente relacionado con el intercambio iónico, el cual depende del tamaño o la porosidad del material, es decir, entre mayor sea el IAM menor el tamaño de partícula, mayor la porosidad y mayor el intercambio iónico. Como se mencionó anteriormente, el estándar para el colaje es de 3.6, sin embargo, en la gráfica 9 se pudo observar algunos puntos muy alejados de este valor, algunos de los motivos de estos desfases o desajustes son: la calidad del agua empleada en la preparación de la muestra, el tiempo que se deja transcurrir desde la preparación hasta el chequeo de la muestra y la concentración del azul de metileno.

Tabla 1. Formulación de la pasta.

Compuesto	Rango
A	30-40
B	5-10
C	10-15
D	0-5
E	10-15
F	0-5
G	0-5
H	10-15
I	0-5
J	5-10

El uso de las arcillas confiere plasticidad y mayor trabajabilidad, proporcionan resistencia mecánica en crudo y en seco con tal de reducir el agrietamiento, estas también ayudan a la vitrificación de la masa durante la cocción. El caolín, también ayuda a la vitrificación, confiere al cuerpo plasticidad, permite optimizar el índice de formación, aumenta la blancura del cuerpo cocido y la resistencia a la deformación a altas temperaturas. El feldespato antes de cocción reduce la plasticidad del artículo y durante la cocción reduce la porosidad y aumenta la compacidad de la masa cerámica [3].

Caracterización de secaderos

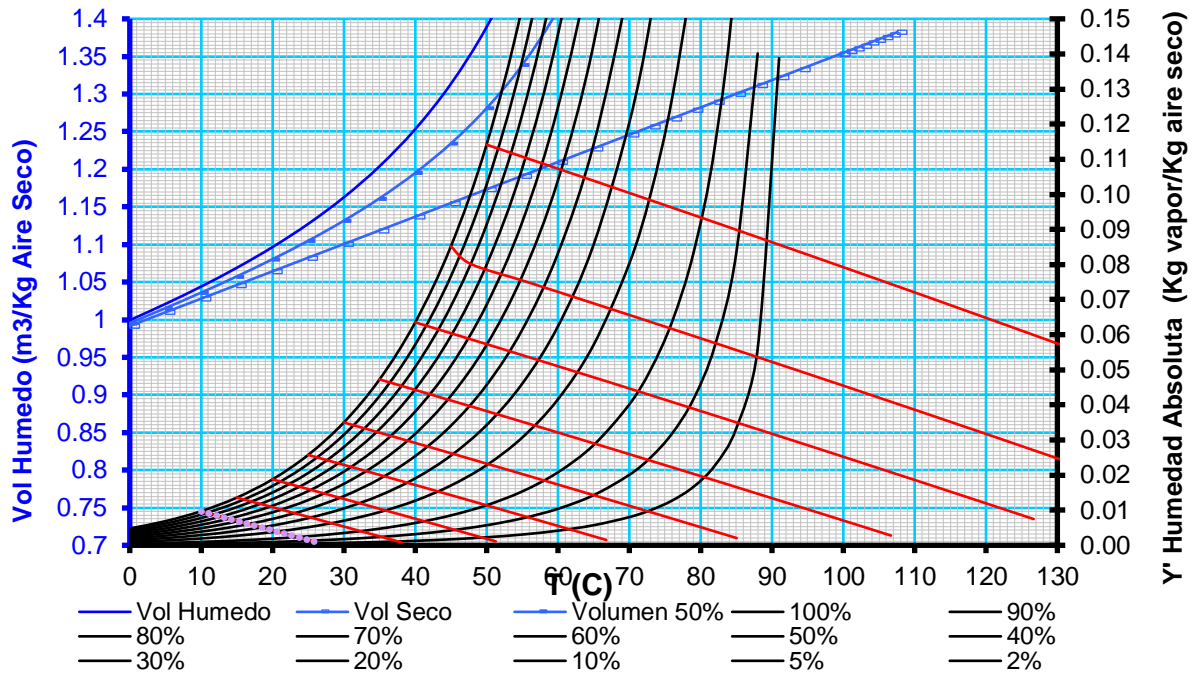
A continuación, se presentan las variables medidas para la caracterización de los secaderos y salón de presecado, cabe resaltar que para la medición de humedad del aire no se contó con un higrómetro debido a las temperaturas de los secaderos, por ello se empleo la carta psicrométrica ilustrada en la gráfica 10, esta fue construida a condiciones de presión de Guarne [7].

El término Y´*s* en las tablas 3, 4 y 5 hace referencia a la humedad absoluta del aire, la cual tiene unidades de kg de vapor de agua/kg aire seco.

Tabla 2. Perfil de temperatura de los secaderos.

Ubicación		Secadero 1	Secadero 2	Secadero 4	Secadero 5
Derecho	Entrada	63,3	70	87,2	93,6
	Medio	62,7	73,6	98	101,9
	Final	76,5	86,3	99,3	105,5
Izquierdo	Entrada	59,6	80,4	93,5	98,5
	Medio	59,5	87,2	92,9	102,9
	Final	71,1	78,3	93,3	104,9
	Fondo	67,6	79,9	91,1	98,3

Carta Psicrometrica A P = 592 mmHg



Gráfica 10. Carta psicrométrica.

Tabla 3. Condiciones del aire del secadero 2.

Secadero 2							
Parámetro	Ducto 1	Ducto 2	Ducto 3	Ducto 4	Ducto 5	Salida 1	Salida 2
T _{bh} (°C)	38	37	34	35	35	35	36
T _{bs} (°C)	72,5	83,4	75,1	76,9	85,3	58,2	69,7
Vel (m/s)	2,84	2,75	3,48	3,07	4,52	4,9	4,98
Y's	0,035	0,024	0,019	0,021	0,0165	0,033	0,0255

Tabla 4. Condiciones del aire del secadero 4.

Secadero 4							
Parámetro	Ducto 1	Ducto 2	Ducto 3	Ducto 4	Ducto 5	Salida 1	Salida 2
T _{bh} (°C)	36	36	36	36	38	34	35
T _{bs} (°C)	83,1	83,1	92,4	91	80,9	84,6	83,6
Vel (m/s)	2,62	5	4	3,2	4,2	5,19	5,87
Y's	0,0208	0,0208	0,015	0,016	0,0291	0,0138	0,017

Tabla 5. Condiciones del aire del secadero 5.

Secadero 5					
Parámetro	Ducto 1	Ducto 2	Ducto 3	Ducto 4	Ducto 5
T_{bh} (°C)	35	36	37	35	36
T_{bs} (°C)	76,7	89,5	99,5	93,7	91,5
Vel (m/s)	3,87	4,85	4,19	4,03	4,28
Y's	0,0213	0,017	0,0145	0,0115	0,0155

Tabla 6. Perfil de temperatura del salón de presecado.

Ubicación	Izquierdo			Derecho			Fondo		
Temperatura (°C)	47,9	34,7	36,6	37,5	33,9	31,7	39	32,5	34,2

Tabla 7. Pérdida de peso de las tazas por niveles en los secaderos.

	Nivel	Peso de entrada (kg)	Temperatura de entrada (°C)	Peso de salida (kg)	Temperatura de salida (°C)	Pérdida de peso (kg)
Secadero 1	1	21,6	26,6	20,88	34,2	0,72
	2	21,2	26,7	20,22	36,3	0,98
	3	20,86	27,3	19,46	49,1	1,4
Secadero 2	1	20,88	34,2	19,48	39,5	1,4
	2	20,22	36,3	19,1	49,1	1,12
	3	19,46	49,1	18,72	57,9	0,74
Secadero 4	1	19,48	39,5	18,34	51,3	1,14
	2	19,1	49,1	18,34	65,8	0,76
	3	18,72	57,9	18,46	69,2	0,26
Secadero 5	1	18,34	51,3	18,02	69,2	0,32
	2	18,34	65,8	18,2	72,8	0,14
	3	18,46	69,2	18,4	73,3	0,06

Al hacer la caracterización de los cuatro secaderos que se disponen para el secado de las piezas de estudio, se logró observar que en el secadero 1, el cual es alimentado con aire por la parte superior, se genera mayor pérdida de humedad de las tazas en el nivel 3 a comparación de los 3 secaderos subsiguientes donde las mayores pérdidas se dan en el nivel inferior o nivel 1, además, se pudo identificar que las variables a controlar podrían ser temperatura y circulación del aire, ya que este es el aire proveniente del horno, posee humedades bajas, por lo cual esta variable en el caso de los secaderos se puede considerar que no es una de las que ralentiza el proceso, el flujo y la velocidad del aire tampoco pudieron ser manipuladas ya que las compuertas estaban abiertas al 100% y los ductos de entrada al secadero ya tienen unas dimensiones establecidas, además las velocidades del aire son las

recomendadas en la literatura para un secado eficiente, de esta manera se empleó el ventilador antes mencionado para mejorar la distribución del aire, para ello se dispuso dentro de los secaderos mencionados con anterioridad en posición diagonal de tal manera que impulsara el aire que ingresaba por los ductos al lado contrario, este ventilador se utilizó durante las 3 horas correspondientes de operación, al final del secadero 5 se observó que las tazas no perdieron más peso después del secadero 4, es decir, se lograron disminuir 3 horas en secaderos con una mejor circulación del aire, lo que hace referencia a un 9.68% del tiempo total de secado de las piezas.

Para el caso de las tazas de referencia *one piece*, las arañas o estantes constan sólo de dos niveles debido al tamaño de estas, en cada nivel se ubican 3 tazas para un total de 6 tazas por araña, con el fin de observar la cantidad de agua que se retira en los secaderos, se tomó una *one piece* del nivel superior y se pesó antes y después de cada secadero como se consigna en la Tabla 8.

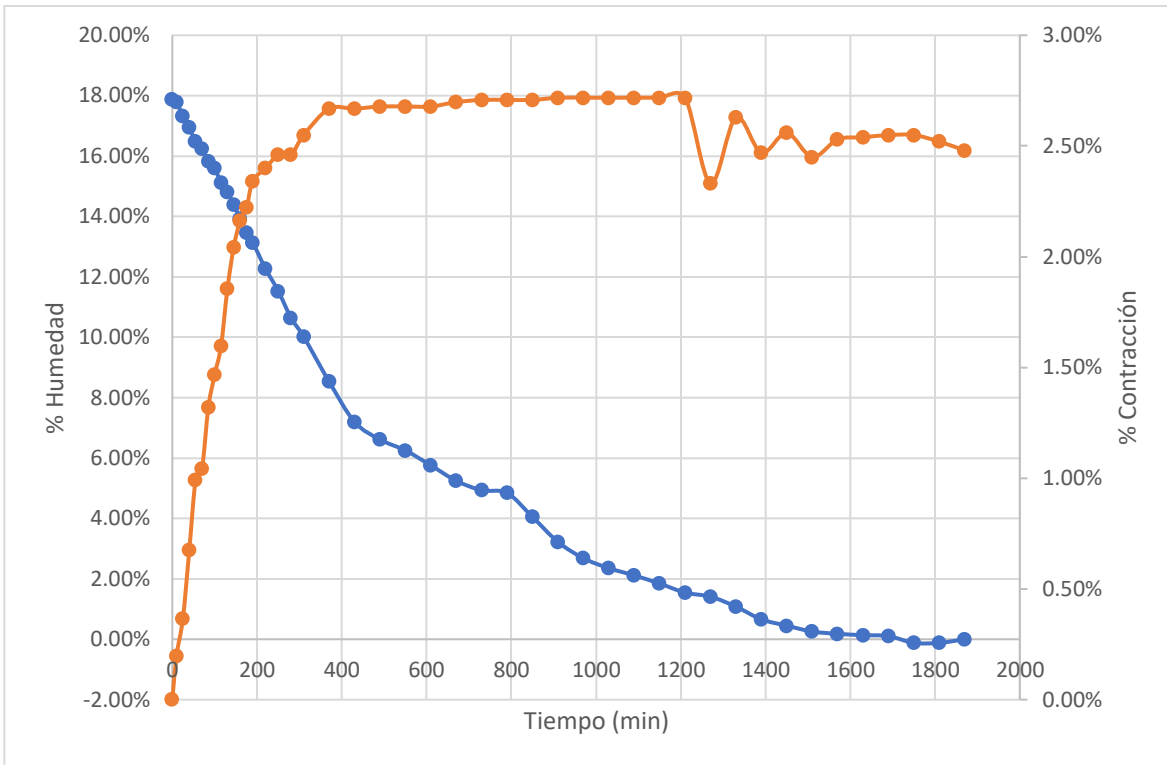
Tabla 8. Pérdida de peso de las *one piece* en secaderos.

Secadero	Peso de entrada (kg)	Peso de salida (kg)	Pérdida de peso (kg)
1	45,98	43,92	2,06
2	43,92	40,98	2,94
4	40,98	39,8	1,18
5	39,8	38,7	1,1

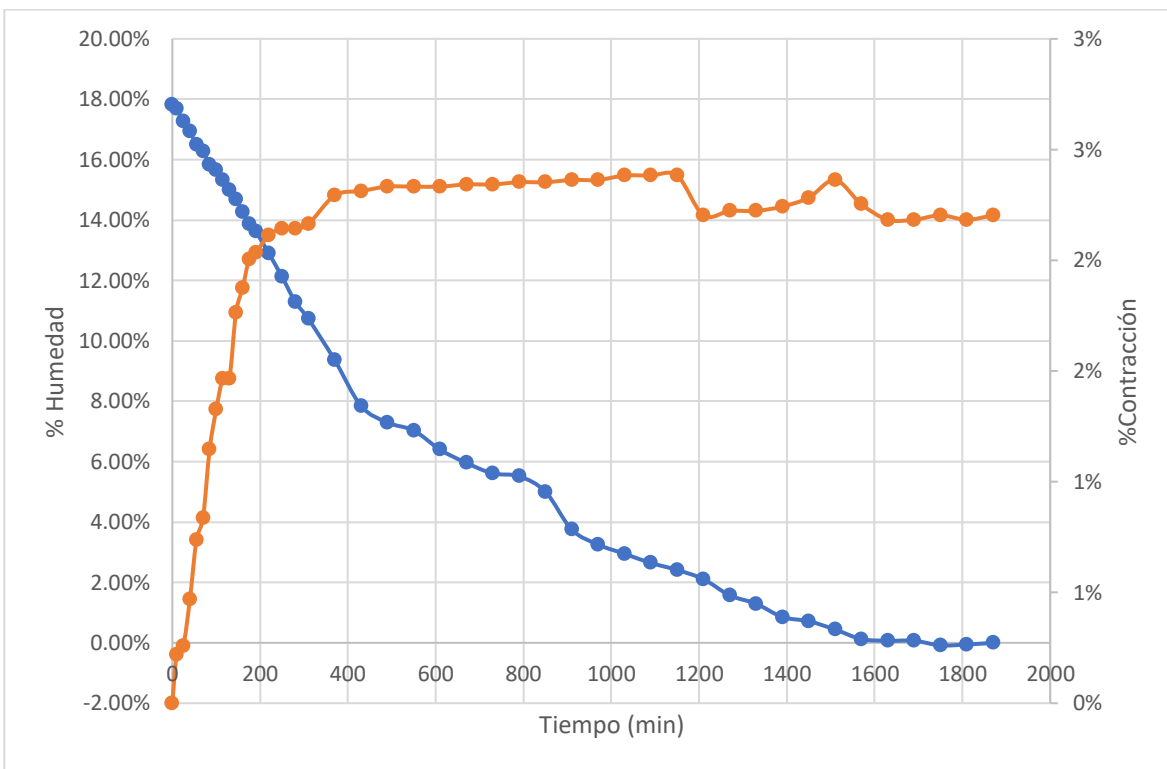
De la tabla anterior se puede observar que las *one piece* pierden en secaderos un total de 7.26 kilogramos de agua, teniendo tendencia a disminuir a medida que se avanza en los secaderos lo cual corresponde a lo esperado debido a las pérdidas de humedad que va teniendo en la trayectoria que va recorriendo, sin embargo, se aconseja que el secado en los secaderos comience en el secadero 1 o 2 y posteriormente pase al secadero 5 el cual tiene una mayor temperatura ofreciendo así un mayor gradiente de temperatura el cual acelerará el proceso de secado, esto se podrá aceptar de acuerdo con las curvas de secado que muestren este tipo de tazas.

Curvas de secado

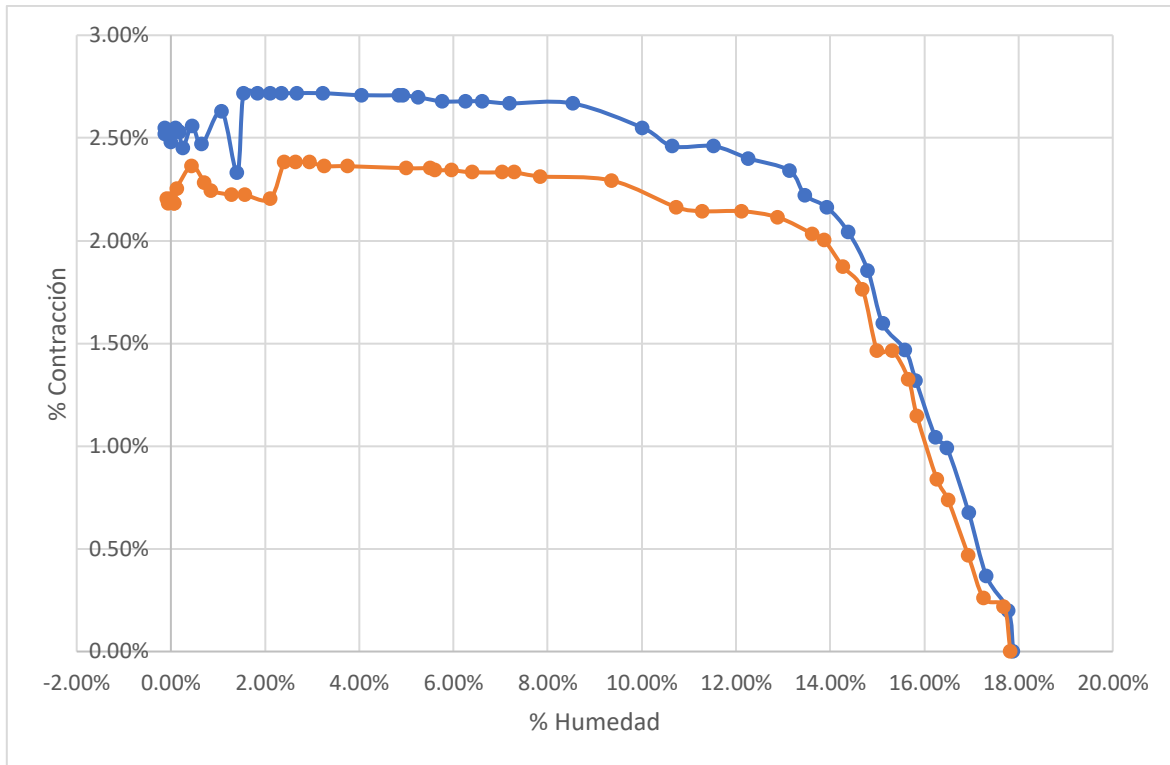
Las curvas de secado realizadas para las probetas se pueden observar en las gráficas 11, 12 y 13, esta última corresponde a la curva de Bigot, la cual muestra la tendencia de la contracción de la pieza con la humedad de la misma, es decir, muestra cómo la pieza se contrae a medida que pierde humedad.



Gráfica 11. Humedad y contracción vs tiempo de la probeta A.

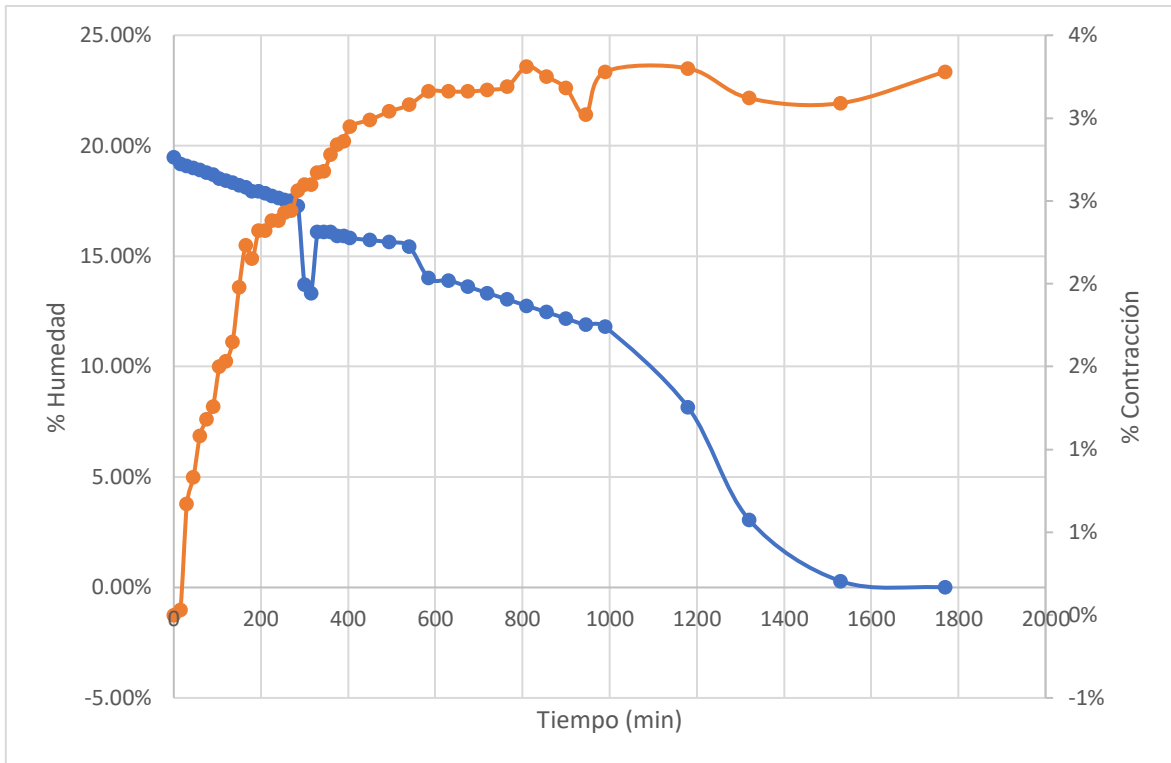


Gráfica 12. Humedad y contracción vs tiempo de la probeta B

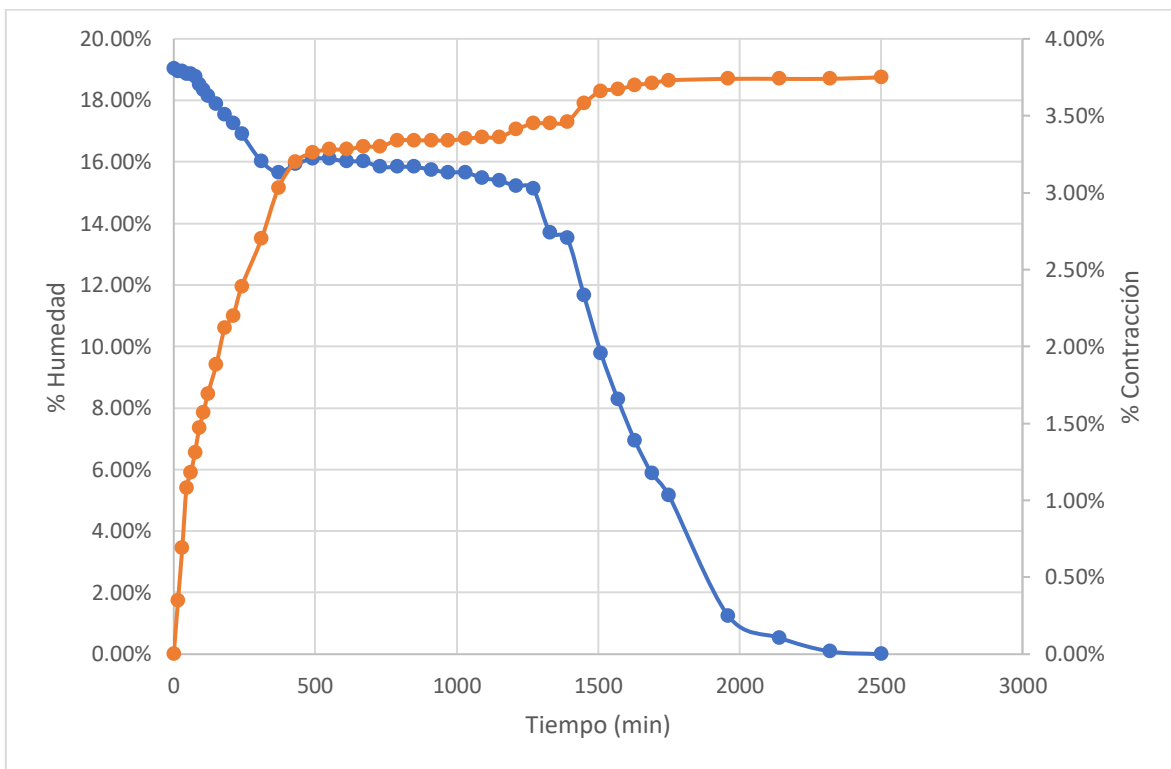


Gráfica 13. Curva de Bigot para las probetas A y B.

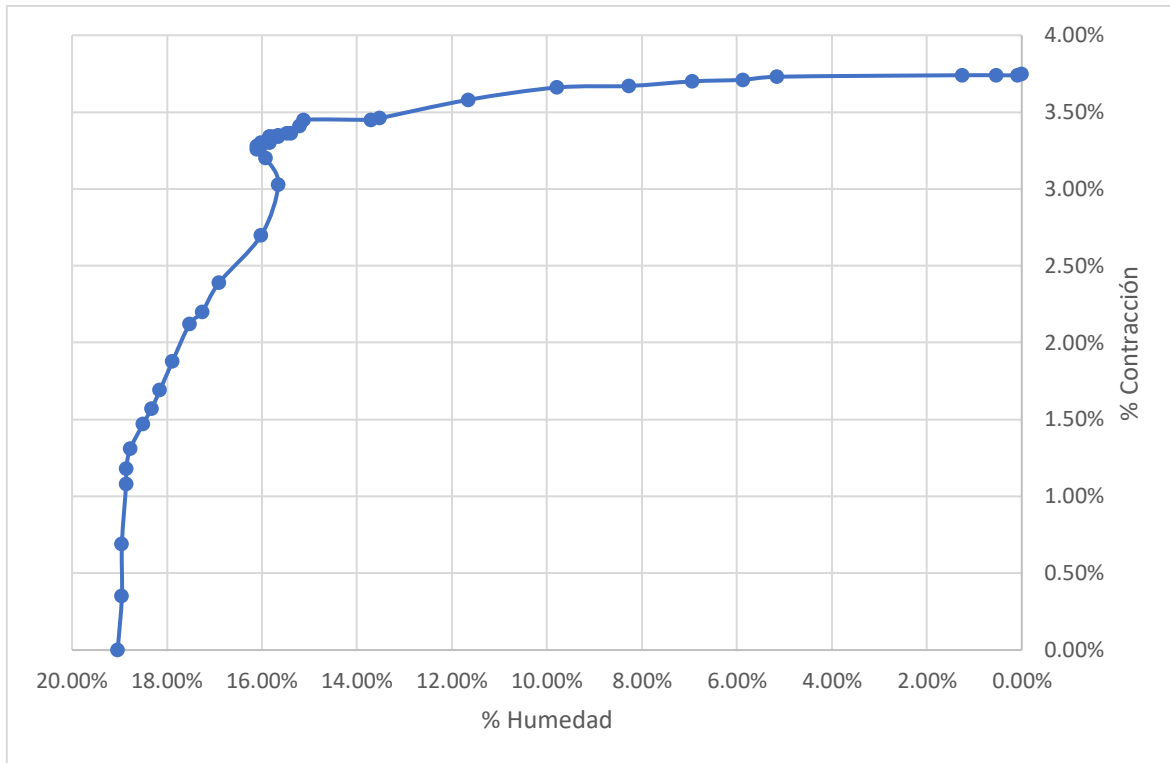
De las gráficas 11 y 12 se puede observar que la tendencia de la humedad en ambas probetas fue a descender con respecto al tiempo, durante las primeras 6 horas se puede ver que la pérdida es más acelerada, esto se ajusta a lo esperado, ya que el gradiente de humedad es mayor, por otra parte, el peso final de estas fue atípico debido a que fue mayor con respecto al valor justo anterior a este, esto puede deberse al momento en que fueron pesadas las probetas ya que si se dejaron enfriar o se espero mucho tiempo para la medida, estas ganan humedad del aire o por el simple hecho de la temperatura de la probeta ya que esta afecta la medición de acuerdo a la sensibilidad del instrumento. En cuanto a la contracción, de las gráficas se puede deducir que se llega al punto crítico alrededor de las 6 horas, es decir, a partir de este punto se puede aumentar la temperatura para acelerar el proceso de secado sin tener el riesgo de fracturas o rajadas en las piezas, sin embargo, debido a la geometría y el tamaño de las probetas, es difícil asegurar que el proceso a escala de las piezas sanitarias cumpla con los mismo tiempos, ya que la relación área/volumen de estas últimas es menor. Por ello, se realizó para las tazas las curvas de secado, obteniendo los resultados vistos en las gráficas 14 y 15, estas tazas son de referencia Tairona.



Gráfica 14. Curva de secado de una taza sanitaria.



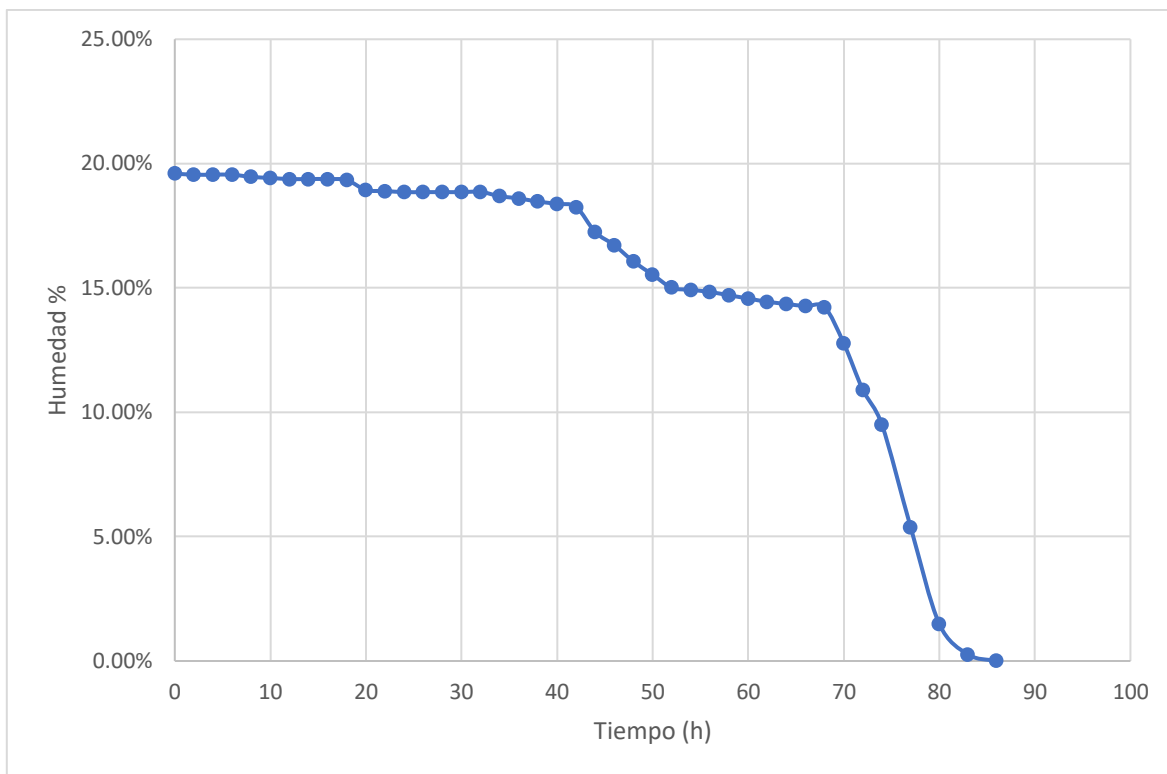
Gráfica 15. Curva de secado para una taza sanitaria.



Gráfica 16. Curva de Bigot para una taza.

Debido a las perturbaciones mostradas en la gráfica 14 se realizó nuevamente la curva obteniendo la gráfica 15, sin embargo, de ambas se puede concluir que la contracción tiende a ser continua alrededor de los 500 minutos, es decir a partir de las 8 horas de secado, con lo cual se puede prescindir del salón frío y adecuar mejor el salón 2 donde son desmoldadas las piezas con el fin de llegar en un menor tiempo al punto crítico sin causar daño a las mismas, para posteriormente ingresarlas a presecado y secaderos.

Para las *one piece*, no se logró hacer la curva de contracción versus tiempo debido a que estas, una vez desmoldadas son cubiertas con plásticos para evitar roturas provocadas por la tensión ocasionada por la diferencia de humedad en zonas de la pieza, sin embargo, la curva de humedad versus tiempo se puede observar en la gráfica 17.



Gráfica 17. Curva de secado de una One Piece.

En la gráfica anterior se observa durante las primeras 30 horas una pérdida de humedad lenta pero uniforme, lo cual corresponde al tiempo que dura la taza cubierta con los plásticos, una vez estos son retirados la pérdida se hace un poco más rápida pero sigue teniendo un comportamiento constante, culminadas las 40 horas iniciales se observa que la pérdida se acelera de manera significativa lo que corresponde a un incremento en la temperatura a la cual están expuestas y a una disminución de la humedad relativa del ambiente, a partir de la hora 70 la pendiente aumenta considerablemente, esto corresponde al tiempo en que las piezas residen en los secaderos, donde la temperatura más baja es de 70 °C. Al no tener la curva de contracción, es difícil asegurar cuál es el punto crítico en el secado de estas tazas, por lo cual no se puede garantizar que algún cambio propuesto disminuya el tiempo sin generar roturas o fracturas en la pieza, sin embargo, se propone que una vez retirado el plástico de las tazas, se ubiquen en una habitación o salón que posea una temperatura un poco más alta como lo es el presecado el cual no supera los 36 °C, para acelerar el proceso y evitar los daños que pueda ocasionar una velocidad elevada de secado.

Adecuaciones implementadas

Como se ha mencionado anteriormente, se contrarrestó la falta de uniformidad del aire en los secaderos mediante el uso de un ventilador axial, el cual logró reducir el tiempo de residencia en los secaderos 3 horas, sin embargo, debido a las altas temperaturas el ventilador se dilató y no se pudo continuar con este ensayo, por lo cual, la empresa dispuso un ventilador centrífugo, este fue localizado en la parte superior del secadero 2, sin embargo, los datos obtenidos con el ventilador axial no pudieron ser reproducidos ya que debido a la localización y al tipo de ventilador, hubo una disipación significativa de energía térmica y dentro del

secadero, se seguía percibiendo la falta de uniformidad además de una acumulación de aire debido a que las salidas estaban ocupadas en su mayoría por los ductos de entrada o de descarga del ventilador.

En vista de lo anterior y con base los ensayos previamente realizados, se dispuso a evaluar la factibilidad de disminuir el tiempo de residencia de las tazas en el presecado y la utilización sólo de dos de los 4 secaderos empleados en el secado de las piezas. Así pues, el ensayo consistió en disponer de una araña, la cual contiene 15 tazas desde el salón frío a presecado, dejarla allí por 3 horas, 3 horas menos de lo usual y posteriormente ingresarla a secadero 1, donde se garantiza el secado de las piezas del nivel superior debido a la entrada del aire, allí se dejó por 4 horas para su posterior ingreso al secadero 5 donde se mantuvo otras 4 horas, para un total de 11 horas desde el presecado hasta el final del proceso de secado, esto hace referencia a una disminución de 7 horas del proceso a partir de presecado.

Perspectivas

Como manera de propuesta, se plantea la idea de unificar los secaderos 3 y 4, los cuales colindan y tienen el ingreso de aire de forma opuesta, por lo cual se dará una alimentación bilateral de aire produciendo un secado más homogéneo, además se propone la adaptación de ventilación para generar una mayor circulación de aire evitando así las bolsas de aire que suelen generarse en este tipo de secaderos.

Conclusiones

- No se lograron encontrar condiciones de presión y temperatura adecuadas para una disminución en el tiempo de secado debido a los costos que ello implicaba, sin embargo, la adecuación del secadero con una ventilación axial mejora el proceso de secado, acelerando la pérdida hasta en 4% en el nivel inferior de las arañas para el caso de los secaderos 2 y 4.
- Fue posible caracterizar la pasta y observar que la composición es mayoritariamente de partículas gruesas, también se puede concluir que aunque la formulación de la pasta que se produce en la empresa se mantiene constante, el control y medición de sus propiedades se realiza en una etapa muy anticipada a su consumo, por lo cual al momento de emplearla en la hechura de las piezas cerámicas es difícil predecir el comportamiento que esta pueda tener.
- Se identificaron los parámetros involucrados en el proceso de secado y se observaron, deficiencias en el control de humedad de las diferentes zonas de secado de los productos cerámicos, además se observa que el proceso de secado por lotes o *batch*, además de las ineficiencias mencionadas a lo largo del informe, también ocasiona un secado irregular por la interrupción del secado y la exposición al ambiente el cual se encuentra más húmedo que el ambiente dentro del secadero impidiendo un secado uniforme o ralentizándolo por la interacción con la humedad del aire ambiente.
- Se contruyeron las curvas de secado y se pudo observar que el punto crítico se alcanza a las 8 horas de haberse desmoldado la pieza, por lo cual a partir de ese momento se

puede aumentar la temperatura de secado para acelerar el proceso, precindiendo del salón frío o nevera como se llama internamente.

- No se cuenta con una temperatura uniforme en el salón de presecado y secaderos, por lo mismo, se presentan diferentes velocidades de secado dentro de un mismo secadero, es decir, el secado varía con la posición o ubicación de la pieza cerámica dentro del mismo, teniendo una mayor pérdida en los secaderos 2, 4 y 5 el nivel 1 de la araña ubicada al fondo del secadero.

Referencias bibliográficas

- [1] “Proceso de secado de piezas cerámicas | Deshumidificadores.” [Online]. Available: <https://www.deshumidificador.mx/tips-y-noticias/proceso-de-secado-de-piezas-ceramicas/>. [Accessed: 17-Jun-2019].
- [2] S. De Miranda, L. Patruno, M. Ricci, R. Saponelli, and F. Ubertini, “Ceramic sanitary wares: Prediction of the deformed shape after the production process,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 215, no. 1, pp. 309–319, 2015.
- [3] SACMI, *Tecnología cerámica aplicada al sanitario*. .
- [4] D. . Estrada and J. Espinosa de los Monteros, “EL SECADO DE LOS PRODUCTOS CERÁMICOS,” *Inst. Cerámica y Vidr.*, vol. 21.
- [5] R. E. Treybal, *OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA*, 2nd ed. .
- [6] C. J. Geankopolis, *Procesos de transporte y operaciones unitarias*, 3a Edición. México, 1998.
- [7] “Municipio Temperatura Promedio [°C] Presión Atmosférica [bar].”