

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Campus Monterrey

Escuela de Ingeniería y Ciencias



Demoras en Descarga de Materias Primas provenientes de Vagones  
Ferroviarios

Reporte presentado por

Cristina Hazel Colín Valverde

sometido a la

Escuela de Ingeniería y Ciencias

como un requisito parcial para obtener el grado académico de

Maestro en Ingeniería

en

Administración de la Ingeniería


Monterrey Nuevo León, 29 de noviembre de 2019

# Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Campus Monterrey

Escuela de Ingeniería y Ciencias

Los miembros del comité aquí citados certificamos que hemos leído el reporte presentado por Cristina Hazel Colín Valverde y consideramos que es adecuado en alcance y calidad como un requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Administración de la Ingeniería,




---

Dr. Eduardo López Soriano  
Tecnológico de Monterrey  
Escuela de Ingeniería y Ciencias  
Asesor principal




---

Dr. Daniel Zavala Río  
Tecnológico de Monterrey  
Miembro del comité o Co-asesor



---

MC Melina Vanessa Castillo Corral  
Universidad Autónoma de Nuevo León  
Testigo de la empresa



---

Dr. Adán López Miranda  
Director de la Maestría en Administración de la Ingeniería  
Escuela de Ingeniería y Ciencias

Monterrey Nuevo León, 29 de noviembre de 2019

## Declaración de autoría

Yo, Cristina Hazel Colín Valverde, declaro que este reporte titulado, Demoras en Descarga de Materias Primas provenientes de Vagones Ferroviarios, y el trabajo que se presenta es de mi autoría. Adicionalmente, confirmo que:

- Realice este trabajo en su totalidad durante mi candidatura al grado de maestría en esta universidad.
- He dado crédito a cualquier parte de este reporte que haya sido previamente sometido para obtener un grado académico o cualquier otro tipo de titulación en esta o cualquier otra universidad.
- He dado crédito a cualquier trabajo previamente publicado que se haya consultado en este reporte.
- He citado el trabajo consultado de otros autores, y la fuente de donde los obtuve.
- He dado crédito a todas las fuentes de ayuda utilizadas.
- He dado crédito a las contribuciones de mis coautores, cuando los resultados corresponden a un trabajo colaborativo.
- Este reporte es enteramente mío, con excepción de las citas indicadas.



---

Cristina Hazel Colín Valverde

Monterrey Nuevo León, 29 de noviembre de 2019

## **Dedicatoria**

Dedico primeramente este trabajo a mi esposo Manuel Barraza, sin ti nada de este sueño hubiera sido posible. Gracias por la ayuda y dedicación; y por hacer saber a nuestro hermoso hijo lo importante que era esto para mí.

En segundo lugar, a mi padre, Carlos Colín, quién siempre ha estado para apoyarme y ha creído sin dudar por un instante en cada uno de mis sueños de vida.

Después a mi madre, Felipa Valverde, quién me ha enseñado a que la dedicación, pasión y coraje por conseguir tus metas son los vehículos principales para lograr mis objetivos. Gracias por tus consejos, tu amor y toda tu fe en mí.

Agradezco de igual forma a todo mi equipo de trabajo, por las enseñanzas y por el apoyo. Sin ustedes no hubiera sido posible este proyecto.

# **Demoras en Descarga de Materias Primas provenientes de Vagones Ferroviarios**

por

Cristina Hazel Colín Valverde

## **Resumen**

El presente trabajo busca mostrar una solución a una problemática de índole económica a través del uso de la estadística y las matemáticas.

A través del tiempo, la empresa ha incurrido en costos por concepto de demoras debido a retrasos en descarga de materia prima. Esto derivado de varios rubros de los cuales se seleccionó la variación en el consumo de material.

Después de analizar la premisa bajo la que se decide la variación en el consumo y sobre todo la interacción que existe entre los proveedores y la empresa a través de la estadística; se define una herramienta de apoyo a forma de predicción de la resultante e interacción de los diversos materiales y sus características físicas propias.

# Contenido

Capítulo 1 .....	7
Introducción.....	7
Capítulo 2.....	14
Marco Teórico .....	14
2.1 Introducción .....	14
2.2 Cerámica.....	15
2.3 Propiedades Físicas y el Área Superficial .....	17
2.4 Metodología para la medición del Área Superficial .....	18
2.5 Equipo para la medición del Área Superficial .....	20
2.6 Validación del Equipo de Medición .....	22
2.7 Análisis de Regresión .....	23
2.8 Media Ponderada .....	29
2.9 Concepto de Demoras Ferroviarias .....	30
Capítulo 3.....	31
Desarrollo.....	31
Capítulo 4.....	37
Análisis de la Información .....	37
4.1 Validación del Equipo de Medición.....	37
4.2 Análisis de Regresión Lineal .....	39
4.2 Área Superficial Ponderada .....	49
Capítulo 5.....	51
Conclusión.....	51
Anexo 1 .....	52
Tabla de Distribución t.....	52

# Capítulo 1

## Introducción

El proyecto se lleva a cabo en una empresa líder en el mercado de muebles para baños y cocinas con sede en Estados Unidos de América y presencia en Europa, Asia y el continente americano.

Dentro de esta rama, dónde se fabrican productos de alta gama; encontramos productos cerámicos, llaves, y forja que complementan espacios para los clientes más exigentes.

En base a ese sentido de servicio y las expectativas generadas; así como las necesidades que se buscan cubrir, la empresa ha buscado reinventarse día a día a todo lo largo y ancho de la corporación. Es así como la optimización en la operación ha estado marcando el paso de las decisiones en los últimos años.

Dentro de este sistema de optimización se encontró una oportunidad relacionada a las materias primas y en la variación e incertidumbre que generaban al corazón del proceso que es la fabricación de piezas cerámicas.

Parte de las materias primas enviadas en forma de lodos, generaban alta incertidumbre y a la vez alta variación en los procesos subsecuentes. Esto se debía a lo siguiente, los lodos sirven como materiales intermedios que al ser mezclados en proporciones ya dadas forman el material para uso en la producción de piezas cerámicas; el cual de ahora en adelante llamaremos barbotina.

Estos lodos, a pesar de ser los materiales requeridos, tener la mineralogía solicitada y las propiedades requeridas; tenían una alta incertidumbre en el cómo y qué aditivos habían sido agregados para lograr las propiedades reológicas requeridas. Todo esto sin considerar el tiempo que tenían las reacciones de haber ocurrido o si las reacciones aún continuaban mientras el material estaba en uso. El proveedor tampoco tenía posibilidad de aclarar de manera puntual lote a lote.

Aunado a esto, los aditivos que requeríamos agregar previo a la fabricación de barbotina que podían o no reaccionar con los aditivos agregados con el proveedor. La incertidumbre en los tiempos de añejamiento, junto con periodos de reacción cortos en

la búsqueda de condiciones de operación llevaron a realizar un cambio de proceso. Los materiales dejaron de recibirse en forma de lodos para iniciar el uso de sólidos aeroflotados.

A partir de esto, el proceso de fabricación de barbotina migró a un sistema con mayor necesidad de control y subprocesos como podemos ver en la Figura 1. Ahora, los lodos son elaborados en sitio con un control certero e inmediato de las propiedades de los lodos a utilizar en la fabricación de barbotina.

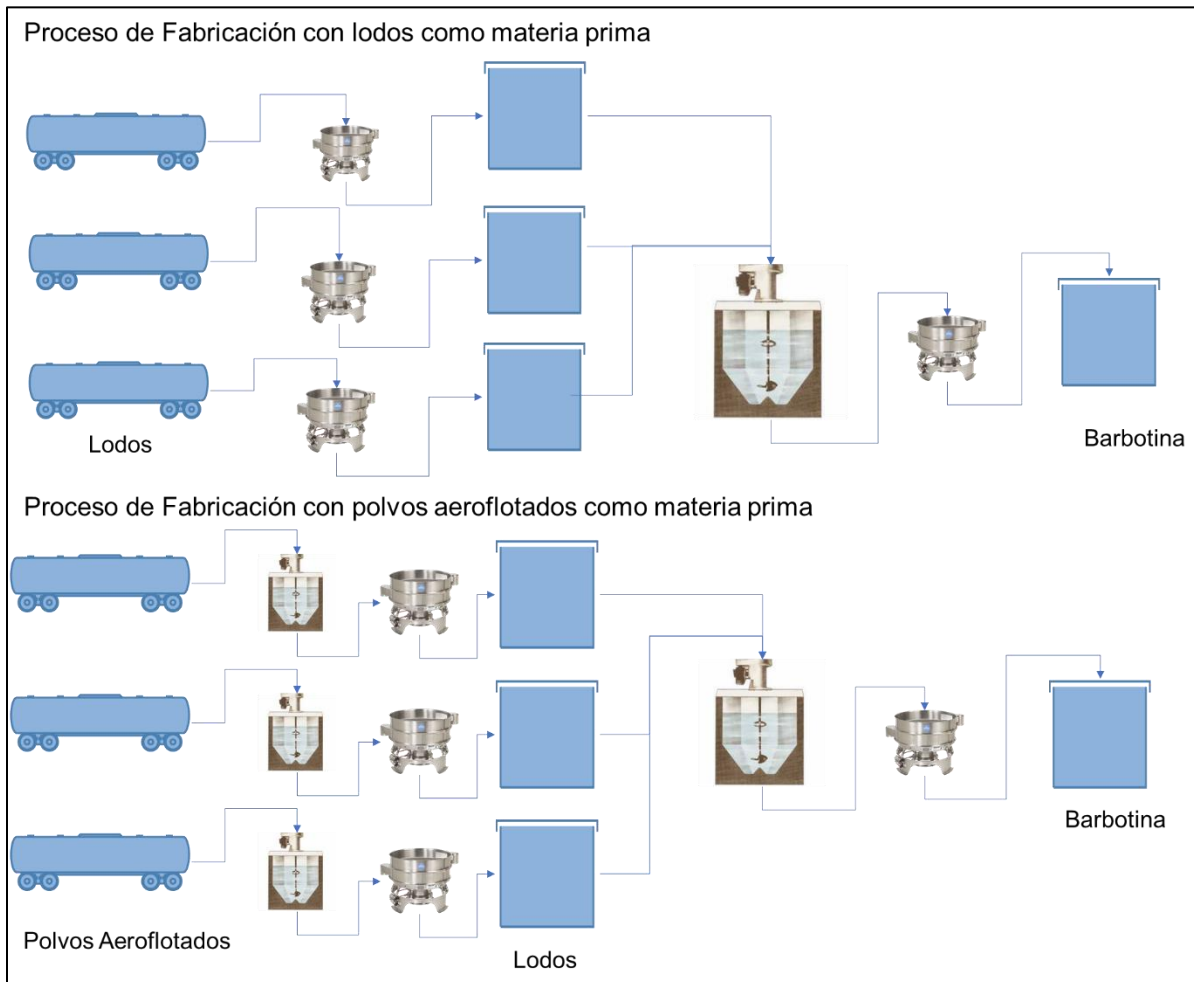


Figura 1: Proceso de fabricación de barbotina previo y actual.

Esto se debe a que los aditivos agregados son controlados en gramaje y tiempo; lo que nos da oportunidad de estabilizar los lodos y añejar propiamente previo al uso para la fabricación de barbotina.



Este cambio de proceso fue un éxito, estabilidad en el proceso, así como añejamientos propios que permiten que la barbotina esté estable previo a su uso en el proceso subsecuente fueron rotundamente denotados.

Sin embargo y como en todo cambio de proceso, algunas áreas de oportunidad surgieron. Dentro de las más importantes fue un incremento en el costo generado por cobros de Ferrocarriles Mexicanos (Ferromex).

Este cargo se debe a las demoras en la descarga de los materiales a partir de vagones detenidos en las vías férreas en sitio. Y a pesar de los esfuerzos, este sigue siendo uno de los más considerables.

Este cargo es generado a partir de cada día que la planta se demore en la descarga de un vagón y corre de las 12:00 hrs. a las 12:00 hrs. del día siguiente e incrementa según los días que el vagón pase en el sitio sin ser descargado.

Debido al costo que se genera por estas demoras, hemos llevado un registro de este a lo largo de los años y detectamos que, a partir de este cambio de proceso, en 2013, los costos incurridos por demoras no han podido ser menores a \$500,000.00 MN. (Figura 2).

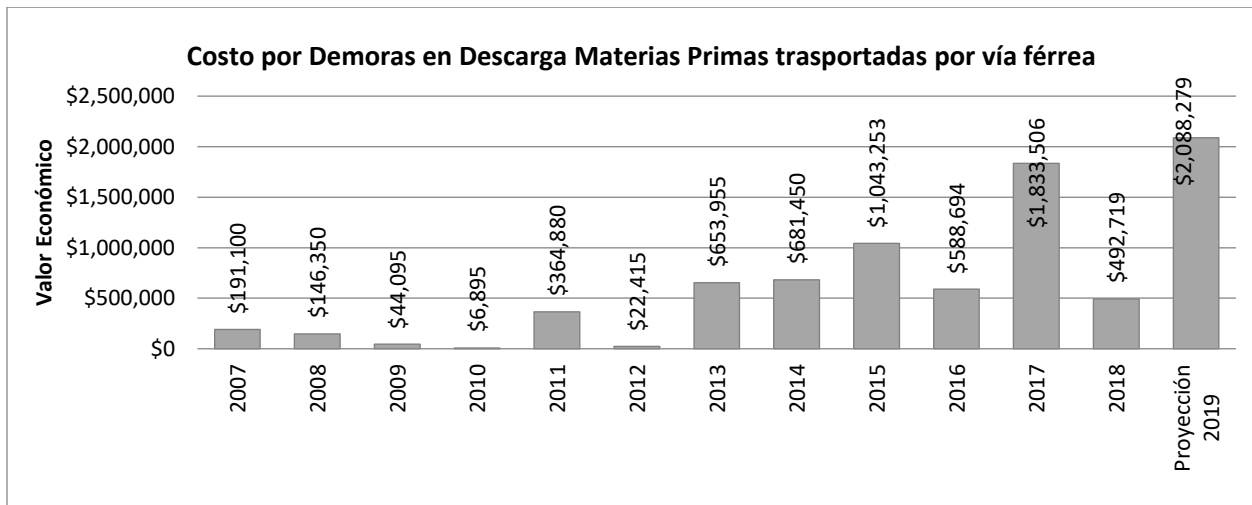


Figura 2: Costo por demoras en descarga de materias primas trasportadas por vía férrea 2007-2019

Del universo de demoras que aquí se presenta, referimos que durante 2018 se incurrió en demoras debidas a un factor externo que refiere la inclusión de una planta adicional a nuestro sistema de subministro de materiales. Esto se refiere a que se tubo fabricación de barbotina para otra unidad de proceso; y por un periodo extraordinario otra

espuela disponible para descargar material de vagones ferroviarios. Debido a esta condición 2018 es un año atípico por lo que no se integrará al estudio principal.

Partiendo de este punto, 5 grandes oportunidades relacionadas como causal de demoras han sido identificadas:

1.- Diferencias en fechas de arribo relacionadas con Ferromex o proveedores. Estas pueden incluir problemas climáticos o descomposturas en los vagones, atrasos en el envío de materiales o problemas de logística de movimiento interna de Ferromex. En este punto, el proyecto no evocará su atención, debido a que las negociaciones con Ferromex son limitadas debido al uso de la vía para múltiples propósitos.

2.- Fallas mecánicas, que incluyen todos los sistemas de descarga; transportación, preparación y disposición a tanques. Este punto impacta directamente en la incapacidad de descarga de material y preparar barbotina. Si no hay preparación, no hay consumo de lodos y a su vez no hay capacidad de descarga. En este caso las fallas mecánicas son despreciables ya que la planta tiene un tiempo de respuesta por fallas muy corto y mensualmente los paros relacionados a estos son mínimos.

3.- Falta de personal, si no hay personal para descarga de materiales y/o movimiento de vagones, no es posible la operación y el turno de 8 horas no descarga materiales y por lo tanto no produce lodos. Para este fin acciones administrativas y de entrenamientos cruzados son consideradas a fin de hacer flexible la operación. No será objeto de estudio en este análisis.

4.- Cambio en demanda de producto. En caso de que la demanda de productos se redujera, la fabricación de barbotina estaría limitada y la descarga de materiales retrasada. De igual forma las cancelaciones de materiales se harían presentes. En sentido contrario, si la demanda aumentase, la necesidad de procesar un mayor volumen, así como las características inherentes a los materiales con tiempos diferentes de descarga podrían llevarnos a cierto nivel de demoras debido a bajos inventarios de materiales y descargas basadas en necesidad de uso y no en base a un sistema de primeras entradas y salidas (FIFO) de vagones.

5.- Reformulaciones, en este punto se refiere al cambio en las condiciones de operación o variables de proceso. Para estos puntos se tienen definidos ciertos parámetros con sus

propios límites de control; para que así la operación de los siguientes procesos no encuentre variación inherente a materia prima.

De este listado de causas principales, considerando incidencias y en base a la experiencia podemos definir como tres principales; las fallas mecánicas, el ausentismo y las reformulaciones (Véase Figura 3). Nosotros trabajaremos con las reformulaciones.

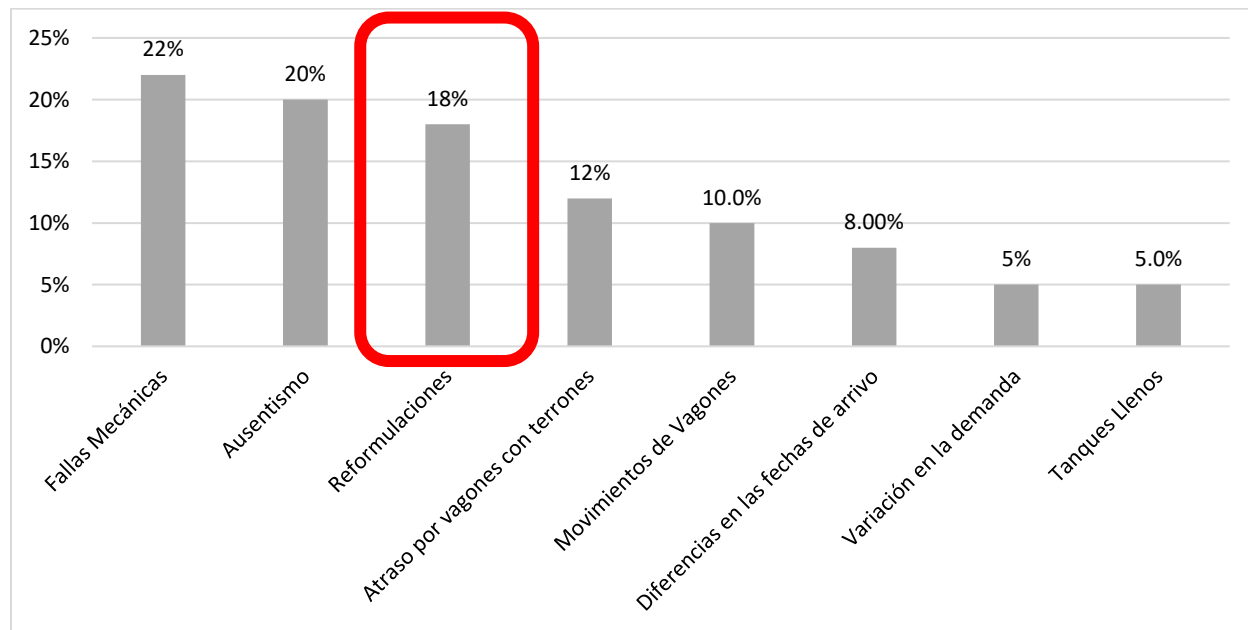


Figura 3: Pareto principales causas de demoras ferroviarias.

Una vez definido el causal en el que se va a trabajar consideremos el impacto derivado de las reformulaciones. Según los eventos relacionados de 2015 a la fecha tenemos un promedio de cambio de entre 30 y 40 por año. (Véase Tabla 1) Estos cambios de fórmula impactan de igual forma en los consumos y descarga de materiales, así como en la cancelación de vagones por este efecto.

Sin embargo, estas cancelaciones no detienen los vagones que ya han sido embarcados y ya estén presentes en las espuelas para descarga. Como se puede notar los cambios en fórmulas son altos, estamos en un nivel de al menos dos por mes en los periodos aquí presentados.

Esto se debe a que, a pesar de hacer una planeación en la petición de materiales según la información dada por el proveedor y basado en el detalle y características de los materiales; así como en los muestreos realizados en los envíos previos de los

proveedores, aún no hay una forma de analizar en conjunto la interacción de todas las variables conocidas para cada una de las materias primas utilizadas en la fabricación de barbotina.

Tabla 1: Cambios de fórmula por año (2015 a 2019)

Año	Cambio de Fórmula
2015	25
2016	40
2017	46
2018	24
2019	36

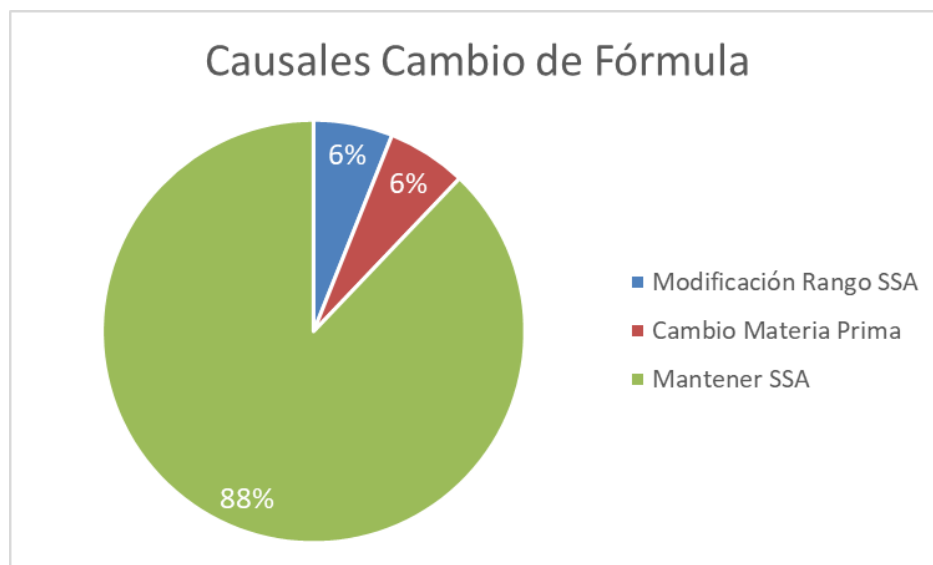


Figura 4: Causales de Cambio de Fórmula

La interacción de los materiales que componen la barbotina cerámica se puede resumir de una manera física a través del área superficial; y su efecto solo tiene un medible hasta encontrarnos en fase de fabricación.

La idea de este trabajo es la búsqueda de una herramienta para pre analizar la información compartida por los proveedores y predecir los incrementos y cancelaciones de los materiales que arriban de forma oportuna.

Si buscamos entender la proporción de cambio relacionada a la variación inherente de los materiales podemos hablar de que al menos durante 2019 se ha tenido un 88% de cambios relacionados a mantener el área superficial requerida por los

procesos siguientes. (Véase Figura 4) Lo cual a su vez provoca incrementos en días de inventario de los 3 materiales en sitio.

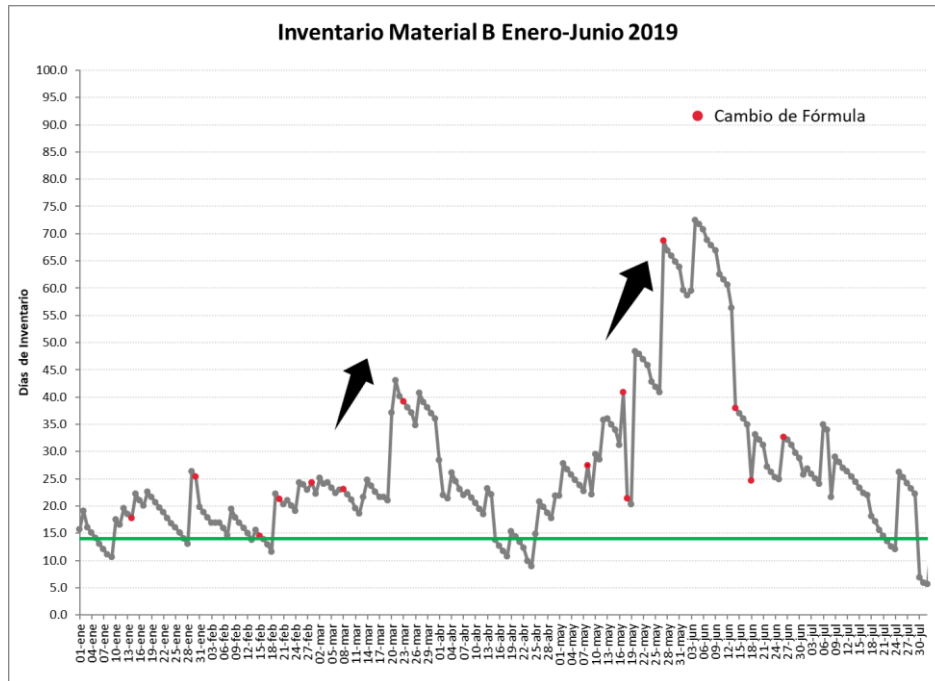


Figura 5: Gráfica de inventario de materiales.

De estos materiales podemos ejemplificar con uno de ellos la afectación de los de fórmula requeridos para mantener las condiciones de proceso; con el gráfico de días de inventario en sitio (Figura 5) podemos observar hasta 71 días de inventario derivado de no poder descargar este material debido al bajo consumo de este.

Con estos datos y variación haremos un acercamiento propio para iniciar el estudio de la interacción de los materiales y la predicción de estos basados en la información compartida por los proveedores de cada uno de los materiales y el historial disponible.

## Capítulo 2

### Marco Teórico

#### 2.1 Introducción

Una vez identificadas las principales oportunidades para la generación de costos derivados de las demoras en la descarga de vagones y haber identificado como oportunidad principal la reformulación, necesitamos trabajar en la identificación de variaciones inherentes a los materiales y el resultado de la interacción de las variaciones entre todos ellos; todo esto de una forma predictiva según las tendencias futuras e historiales ya dados.

Dentro de las herramientas clave a utilizar será el principal componente el análisis de regresión lineal sobre las tendencias de los materiales, su interacción propia y la predicción en base a los análisis previos. Esto iniciando con el entendimiento de la cerámica misma y algunos rasgos de la complejidad que esta representa.

Posterior a esto el entendimiento propio de lo implica el control de las propiedades físicas a través del Área Superficial y el equipo con el que se mide; esto sin dejar de lado la ciencia detrás de funcionamiento de este. Al mismo tiempo la validación y confiabilidad del equipo a través de herramientas estadísticas. Que se detallara en este mismo capítulo.

Además de analizar la interacción, la predicción de los comportamientos en los materiales será fundamental. El entendimiento de los múltiples escenarios futuros que se presentan en los materiales y análisis de riesgos basado en estos escenarios también deberá ser estudiado. Para conjuntar todos los materiales deberemos apoyarnos de las técnicas de medias aritméticas ponderadas.

Y por último y no menos importante, las consideraciones actuales por parte de la compañía ferroviaria para el cobro de demoras. Y el plan de pago en el que está incorporada la compañía.

Para adentrarnos propiamente en el tema iniciaremos definiendo cada una de las herramientas a utilizar dentro de este estudio.

## 2.2 Cerámica

Se define como cerámica a materiales inorgánicos y no metálicos que exhiben propiedades tan útiles como alta resistencia y dureza; y que a su vez muestran fragilidad y defectos. **(The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2018)**

Se denominan cerámicos a los productos fabricados a partir de materiales inorgánicos moldeados y posteriormente endurecidos por el calor. **(Singer & Singer, 1976)**

Denotando una definición más; un material cerámico es cualquier producto que posee una forma, compuesto por materias primas inorgánicas no metálicas, que a partir de un estado incoherente de polvo se transforma por medio de varias operaciones en un producto semielaborado, el cuál por cocción, se convierte en un objeto sólido que posee una estructura parcialmente cristalina y vítrea. **(SACMI, Asociación Española de Técnicos Cerámicos, 2004)**

Para llevar a cabo un producto cerámico se requiere de pasta cerámica moldeada, esmalte aplicado sobre la misma y un horno que permita a los materiales endurecerse a partir de la vitrificación de los materiales.

Dentro de la pasta cerámica o barbotina, que es el objeto de nuestro estudio; encontramos típicamente esta se compone de arcilla, sílice y feldespato. La relación de cada uno de estos materiales radica en el tipo de cerámica que se desea elaborar.

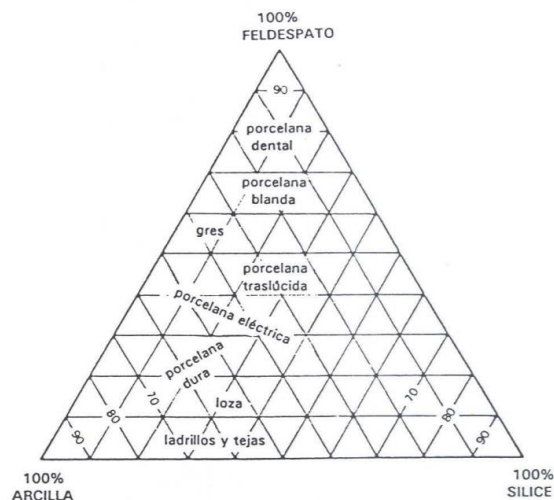


Figura 6: Diagrama triaxial fórmulas cerámicas.

En el caso de la cerámica sanitaria, puede ser identificada como cerámica vítrea o dura. Esto debido a que requiere una absorción de agua de entre 0 y 1% una vez vitrificada. La proporción de fórmula de cada material obedece a una proporción triaxial similar a la recomendada en la figura 6, la cual depende de la composición química de cada materia prima y la necesidad del fabricante.

Sabiendo en que consiste un producto cerámico, detallemos brevemente en que consiste el proceso productivo de la fabricación cerámica. El cuál podemos segmentar en las fases siguientes:

- 1.- Selección, explotación y controles de cantera (materia prima).
- 2.- Preparación de las materias primas para el mezclado.
- 3.- Preparación de la pasta o barbotina.
- 4.- Conformación de la pieza.
- 5.- Secado.
- 6.- Esmaltado y Decoración de la pieza.
- 7.- Cocción
- 8.- Clasificación y Empaquetamiento.

Cada una de estas fases tiene un sinfín de información y requiere un pleno entendimiento de diversas operaciones unitarias que conforman una línea productiva final.

Para fines de este estudio nos enfocaremos en una de las secciones de las fases de preparación y en su interacción con la selección de materia prima. Que puede verse tanto desde la perspectiva ya sea física o química de los materiales.

A pesar de que la química es la parte mas compleja del estudio cerámico, para fines de la modelación que requerimos, el control sobre las propiedades reológicas de la pasta y la utilidad de este análisis; nos enfocaremos en la física de los materiales y sus distribuciones en partícula como medible de salida y control del procesamiento para el proceso siguiente.



## 2.3 Propiedades Físicas y el Área Superficial

En la cerámica uno de los controles principales es la reología de las suspensiones; y los controles se llevan a cabo de dos formas: Por la física de las partículas y por controles químicos. Para poder obtener un estado óptimo, ambas categorías deben controlarse, ajustarse y optimizarse. **(Dinger, 2010)**

Para fines de este estudio nos enfocaremos en describir el control físico de las partículas. El tema de la física de las partículas incluye las propiedades físicas de la suspensión tales como los contenidos de sólidos, la distribución del tamaño de partícula, el área superficial, su capacidad de empaquetamiento, entre otras. La habilidad de los proveedores de suministrar materiales particulados con propiedades controladas y la habilidad de formulación y preparación de lotes es lo que se considera como control físico de la partícula. **(Dinger, 2010)**

La física de las partículas controla directamente el área superficial de los materiales particulados. A medida que las partículas reducen su tamaño el área de la superficie de las partículas crece. Para realmente controlar el comportamiento de la barbotina se requieren controlar ambas tamaño de partícula y área superficial. **(Dinger, 2010)**



Figura 7: Área Superficial vs. Tamaño de Partícula

El área superficial específica de la masa corresponde a los metros cuadrados que abarca una muestra por gramo de esta. Esta es una relación compleja con la pasta cerámica, ya que las distribuciones en los tamaños de partícula afectan las viscosidades y la reología; y el área superficial presente afecta las adiciones químicas que se requieren para ajustar la viscosidad y reología de la pasta.

Para fines de este estudio y por los ajustes reológicos que se requieren estudiaremos el control de área superficial como salida de nuestro proceso de

preparación de pasta y como entradas con los certificados provenientes de nuestros proveedores de materia prima.

## 2.4 Metodología para la medición del Área Superficial

Existen diversas metodologías para la medición de área superficial, en nuestro caso y debido al tipo de medición requerida se utiliza lo sugerido en la ASTM D4567 – 19: Método de prueba estándar para la determinación de un solo punto del área superficial específica de catalizadores y portadores de catalizadores utilizando la adsorción de nitrógeno mediante el método de flujo continuo. **(ASTM International, 2019).**

Este método de prueba cubre la determinación de un solo punto del área superficial de catalizadores y portadores de catalizadores que exhiben isothermas de adsorción de nitrógeno Tipo II o Tipo IV usando una mezcla de gas que fluye nitrógeno-helio. Este método de prueba es aplicable para la determinación de áreas de superficie total de 0.1 a 300 m<sup>2</sup>, donde se desean determinaciones rápidas de área de superficie.

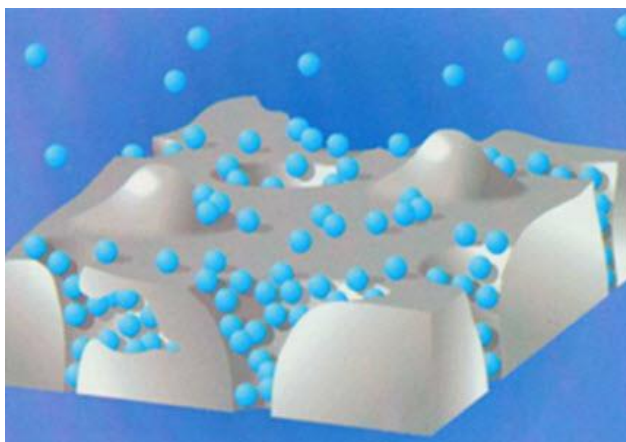


Figura 8: Medición de Fisisorción

El área superficial específica de un polvo es estimada a partir de la cantidad de nitrógeno adsorbido en a temperatura de ebullición del nitrógeno bajo condiciones de presión normales. El proceso de medición de fisisorción (Figura 8) involucra enfriar la superficie del polvo a medir utilizando nitrógeno líquido y generar una adsorción, posteriormente se revierte este proceso provocando una desorción. Con este diferencial es posible llevar a cabo la medición del área superficial. **(SELCI S.A. de C.V., 2019)**

La adsorción es el proceso dónde las moléculas de una fase gaseosa se unen en una capa condensada sobre la superficie de un líquido o un sólido. El proceso de adsorción depende de la temperatura, presión y composición del gas. **(Masel, 1951)**

La metodología aquí mostrada presenta un método de adsorción en equilibrio dónde la variación se presenta en la presión. La descripción de este equilibrio a una diferente presión y temperatura constante se le conoce como isoterma de adsorción. **(Rouquerol, 2014)**

Existen 6 tipos de Isotermas de adsorción según el material que sea evaluado. (Figura 9) En el caso del método presentado, se considera para las Isotermas Tipo II y Tipo IV. **(Masel, 1951)** Y este depende del comportamiento propio de material a evaluar.

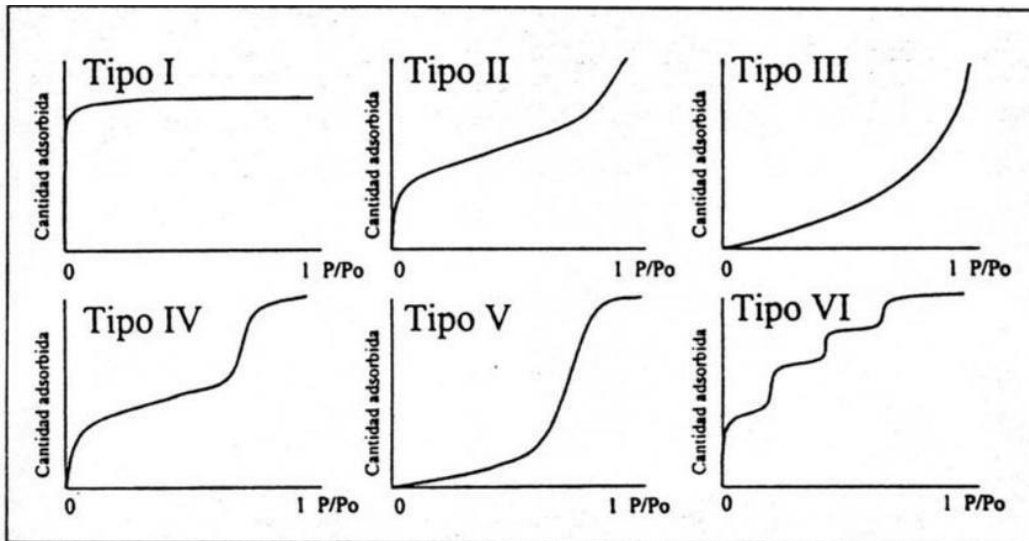


Figura 9:Tipos de Isotermas de Adsorción

El método por lo tanto evaluará según las características del material a analizar. Como se puede denotar en ambas Isotermas podemos identificar la adsorción de estos materiales; estas difieren que los materiales que siguen la Isoterma Tipo II tiene una saturación a una presión relativa mucho más elevada y el tipo IV presenta una histéresis, o variación en la trayectoria. **(Masel, 1951)**

La adsorción inicia con pocas moléculas adsorbidas y conforme la presión se incrementa la cantidad de moléculas adsorbidas aumenta. Cabe mencionar que en todas las Isotermas se muestran puntos de saturación, estos indican la conformación de una capa de material adsorbida. **(Rouquerol, 2014)** Véase Figura 10.

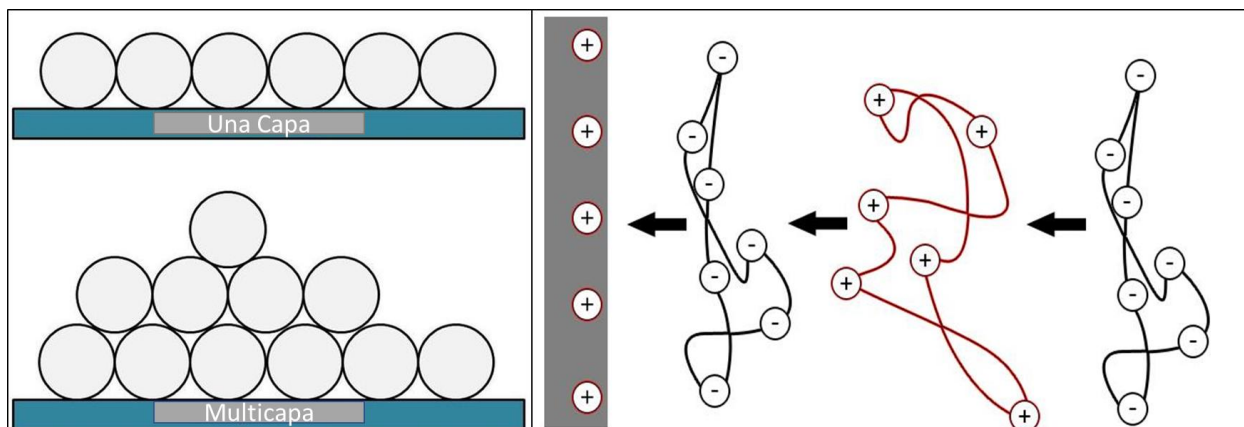


Figura 10: Ejemplo de Adsorción de una capa y multicapa.

Para el cálculo del área superficial se requiere la cantidad adsorbida en función de la presión relativa. Y posterior con una serie de cálculos transformarlo a área superficial.

## 2.5 Equipo para la medición del Área Superficial

El equipo utilizado es el FlowSorb III de Micromeritics; este mide el área superficial utilizando el método de flujo continuo de gas. Este implica el flujo continuo de una mezcla de gas adsorbente e inerte sobre la muestra a presión atmosférica. En este caso Nitrógeno-Helio. **(Labcompare, 2019)**

El FlowSorb III proporciona mediciones de área superficial BET de un solo punto y multipuntos con velocidad, precisión y confiabilidad. Las muestras que tienen áreas de superficie desde 0.01 m<sup>2</sup> / g hasta más de 1,000 m<sup>2</sup> / g.

El equipo sigue la técnica de desorción bajo el gas portador, con análisis de la corriente de gas saliente. La muestra, ubicada en un tubo en U, se desgasifica primero bajo una corriente de gas portador y luego llevado a la temperatura de adsorción bajo una corriente de gas mezcla. A la salida del tubo en U, la conductividad térmica del gas se compara con el de la mezcla de gases de partida, con la ayuda de un catéter. **(Rouquerol, 2014)**

Cuando se alcanza el equilibrio, es decir, cuando la señal del catéter es estable, entonces la muestra se calienta repentinamente para que la desorción se produzca rápidamente y produzca en el registro del catéter. (Figura 11) Un pico claro que se puede integrar fácilmente para proporcionar la cantidad de gas de sorbido.

Si se requieren puntos adicionales, la composición del gas cambia y se repite el procedimiento.

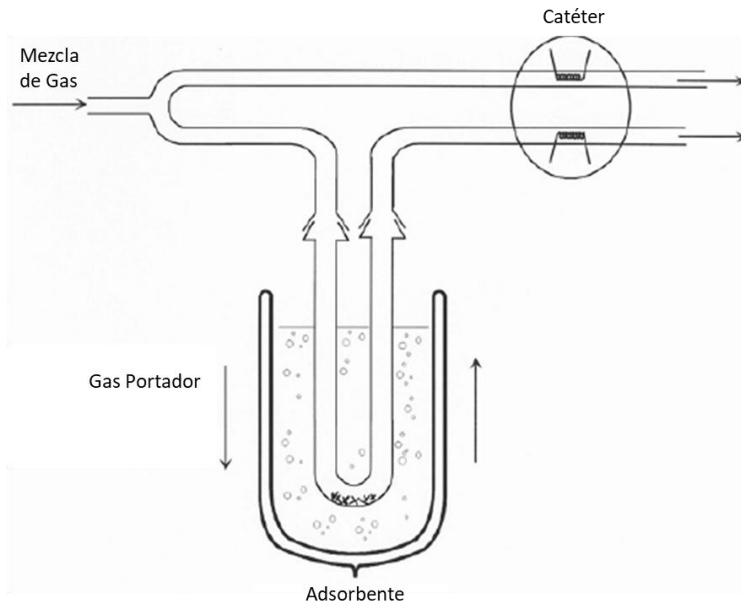


Figura 11: Técnica de desorción bajo gas portador.

A partir de esta medición y utilizando el método BET se obtiene el área superficial del material a evaluar. El método BET sigue la ecuación 2.1 y 2.2 (Micromeritics, 2012)

$$\frac{\frac{P}{P_0}}{V \left[ 1 - \left( \frac{P}{P_0} \right) \right]} = \frac{1}{(V_m C)} + \left[ \left[ \frac{C-1}{(V_m C)} \right] * \frac{P}{P_0} \right] \quad (2.1)$$

Dónde

V = Volumen de gas adsorbido a una presión P

P<sub>0</sub> = Presión de Saturación

V<sub>m</sub> = Volumen de gas requerido para formar una capa monomolecular adsorbida.

C = Constante relacionada a la energía de Adsorción

$$S = \frac{V_m A N}{M} \quad (2.2)$$

Dónde

S= Área Superficial  
A =Número de Avogadro  
M = Volumen Molar del gas  
N = El área de cada molécula de gas adsorbido

## 2.6 Validación del Equipo de Medición

Para la validación del equipo es necesario validar una muestra dentro de la población total contra el valor nominal de la muestra patrón. En este caso se requiere que las medias sean iguales.

Para poder llevar a cabo este estudio se requiere mostrar la significancia de un modelo; específicamente si un modelo de regresión y su pendiente es se realiza una prueba de hipótesis relacionada a  $\beta_1$ .

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

La prueba de significancia se afirma cuando no se puede rechazar la hipótesis nula. Con esto se denota que no hay regresión lineal entre la variable dependiente y la independiente. **(Douglas C. Montgomery, 2006)**

Esta prueba de hipótesis se realiza con la prueba t. Para ella se requiere la comparativa entre el valor calculado  $t_0$  y la t de tablas (Anexo 1).

Si  $t_0$  es menos a t tablas se acepta la hipótesis nula por lo que se puede concluir con un nivel de significancia  $\alpha$  que las medias son iguales y que el equipo está calibrado. **(Douglas C. Montgomery, 2006)**

$$t_0 = \frac{\hat{\beta}_1}{se(\hat{\beta}_1)} \quad (2.3)$$

Donde:

$$se(\hat{\beta}_1) = \sqrt{\frac{MS_{Res}}{S_{XX}}} \quad (2.4)$$

Y

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}} = \frac{S_{xy}}{S_{XX}} \quad (2.5)$$

$$MS_{Res} = \frac{SS_{Res}}{n-2}, \quad (2.6)$$

$$SS_{Res} = SS_T - \hat{\beta}_1 S_{xy}, \quad (2.7)$$

$$SS_T \equiv \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (2.8)$$

Fuentes de Error de los sistemas de medición

Los sistemas de medición tienen 3 diferentes fuentes de error:

- Repetibilidad: Diferencia en las mediciones hechas a la misma muestra por la misma persona.
- Reproducibilidad: Diferencia en las mediciones hechas a la misma muestra por diferentes personas.
- Estabilidad: Diferencia en los resultados obtenidos en diferentes puntos en el tiempo bajo las mismas condiciones. **(Taguchi, 1991)**

En el caso de nuestro estudio, el equipo utilizado presenta estas posibles fuentes de error. En un primer acercamiento se busca entender si existe esa variación en los resultados dados por el equipo sin importar el tiempo, ni el operador que conduzca la prueba requerida.

## 2.7 Análisis de Regresión

### 2.7.1 Modelo de Regresión Lineal Simple

La regresión línea es una técnica estadística para la investigación de la relación entre variables. La forma más sencilla para identificar esta correlación es mediante la evaluación de la interacción entre ambas y la forma gráfica más sencilla es a través de un diagrama de dispersión. **(Douglas C. Montgomery, 2006)**

Esta técnica utiliza la relación entre dos o más variables cuantitativas de forma que la variable respuesta (y) pueda ser predicha por la variable de entrada (x). **(Michael H. Kutner, 2003)**

Un ejemplo claro de esto se puede apreciar en la Figura 12 dónde se aprecia una serie de valores de entrada o variable independiente (x) contra sus variables de respuesta o variable dependiente (y). **(Michael H. Kutner, 2003)**

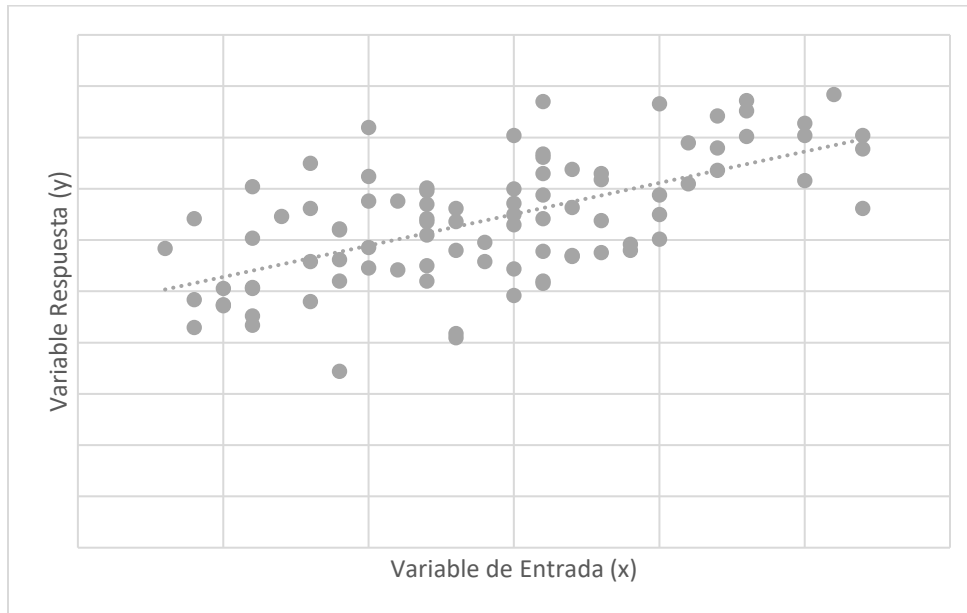


Figura 12:Diagrama de Dispersión tipo

Este tipo de representaciones es la forma más básica de correlación entre una variable independiente y una dependiente (ecuación 2.9). Esta denota la correlación lineal entre las variables x y y; dónde  $\beta_0$  es el intercepto,  $\beta_1$  es la pendiente de la línea recta y  $\varepsilon$  es el error. Para este tipo de regresiones se considera que el error es cero y que la varianza es desconocida. **(Douglas C. Montgomery, 2006)**

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (2.9)$$

Para efectos de este estudio este es el tipo de regresión que se utilizará. Aunque existen modelos más complejos en casos dónde la distribución de x vs y denota formas distintas a la lineal nuestro estudio no requiere regresiones con otro tipo de ajustes o efectos. **(Michael H. Kutner, 2003)**

La estimación de una función de regresión requiere de una serie de datos para realizar la estimación necesaria; y el método más simple para llevar a cabo esta estimación es el método de los mínimos cuadrados. Esto implica que se estimarán  $\beta_0$  y  $\beta_1$  de manera que la suma de los cuadrados de las diferencias entre las observaciones  $y_i$  sea mínima. **(Douglas C. Montgomery, 2006)**



Consideremos que  $\beta_0$  sigue la ecuación 2.10, donde  $\bar{y}$  y  $\bar{x}$  denotan el valor promedio de los datos utilizados. En tanto para la estimación de  $\beta_1$  siguiendo la ecuación 2.3

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad (2.10)$$

En tanto para la estimación de  $\beta_1$  siguiendo la ecuación 2.3 donde n es el tamaño de la muestra.

La diferencia entre el observado  $y_i$  y el valor de  $\hat{y}_i$  ajustado es el residuo. Este juega un rol importante en la definición de la adecuación del modelo. **(Douglas C. Montgomery, 2006)**

### 2.7.2 Prueba de Significancia

Para validar la adecuación del modelo se requiere nuevamente realizar una prueba de significancia, siguiendo la misma prueba de hipótesis referida en la sección 2.6. La diferencia es que esta se valida cuando se rechaza la hipótesis nula.

Si  $t_0$  es mayor a t tablas se denota que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula por lo que se puede concluir con un nivel de significancia  $\alpha$  que existe una relación lineal entre la variable independiente x y la variable dependiente y.

### 2.7.3 Análisis de Varianza

Otra técnica estadística utilizada para realizar esta validación es el análisis de varianza. La técnica de la varianza media la fue creada para resolver el problema de la comparación simultanea de dos o más medias muestrales; permitiendo así, analizar si las diferencias detectadas entre dos medias son significativas o debidas al azar. **(Taguchi, 1991)**

El análisis de varianza se refiere en general a una colección de situaciones experimentales y procedimientos estadísticos para el análisis de respuestas cuantitativas de unidades experimentales. La característica que diferencia los tratamientos uno del

otro se denomina el factor a estudiar y los diferentes tratamientos se definen como niveles. **(Devore, 2014)**

Un análisis de varianza evalúa la siguiente prueba de hipótesis

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$$

$$H_a: \text{al menos una es diferente}$$

La ANOVA se puede evaluar en una tabla básica que describe el total de la suma de los cuadrados asociados con los grados de libertad. Adicional a esto, en la tabla se encuentra una columna con la media cuadrática esperada. **(Michael H. Kutner, 2003)**

En la tabla 2, podemos encontrar la descripción y ecuaciones para cada una de las casillas de la tabla de ANOVA. Estas referenciadas a la sección 2.7 de Análisis de Regresión.

Tabla 2: Fórmulas Análisis de Varianza (ANOVA) **(Douglas C. Montgomery, 2006)**

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F0
Regresión	$SS_R = \hat{\beta}_1 S_{xy}$	1	$MS_R$	$MS_R / MS_{Res}$
Residuo	$SS_{Res} = SS_T - \hat{\beta}_1$	$n - 2$	$MS_{Res}$	
Total	$SS_T$	$n - 1$		

#### 2.7.4 Intervalo de Confianza

Es un rango de valores que se deriva de los estadísticos de la muestra obtenida y en estudio. Nos dice que con un nivel de significancia  $\alpha$  el valor de la variable dependiente se encuentra dentro del rango definido. Si se repite muchas veces su muestra, un determinado porcentaje de los intervalos de confianza resultantes incluiría el parámetro de población desconocido **(Minitab, 2019)**

Para ejemplificar un intervalo de confianza véase la figura 13; dónde la línea negra representa el valor fijo de la media desconocida de la población,  $\mu$ . Los intervalos de confianza azules verticales que se sobreponen a la línea horizontal contienen el valor de la media de la población. El intervalo de confianza rojo que está completamente por debajo de la línea horizontal no lo contiene. Un intervalo de confianza de 95% indica que

el 95% de la misma población producirán intervalos de confianza que contendrán el parámetro de población. **(Minitab, 2019)**

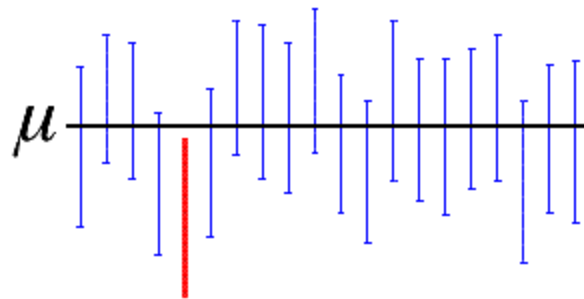


Figura 13: Gráfico Intervalo de Confianza **(Minitab, 2019)**

Este intervalo de confianza es dinámico por lo que depende del valor de la variable independiente y los valores de la muestra obtenidos. El intervalo se construye a partir de las ecuaciones 2.11 y 2.12 y reemplazando estos valores en la ecuación de regresión lineal original. **(Douglas C. Montgomery, 2006)**

Una vez reemplazados estos valores en la ecuación se tendrá el valor mínimo y máximo de la variable dependiente y con respecto a su variable independiente x.

$$\hat{\beta}_0 - t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} se(\hat{\beta}_0) \leq \hat{\beta}_0 \leq \hat{\beta}_0 + t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} se(\hat{\beta}_0) \quad (2.11)$$

$$\hat{\beta}_1 - t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} se(\hat{\beta}_1) \leq \hat{\beta}_1 \leq \hat{\beta}_1 + t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} se(\hat{\beta}_1) \quad (2.12)$$

### 2.7.5 Predicción de nuevas observaciones

Una de las aplicaciones más importantes de la obtención de un modelo de regresión es la predicción nuevas observaciones de variables de respuesta según un valor específico dado de una variable de entrada. **(Douglas C. Montgomery, 2006)**

Si además de este valor puntual obtenemos un intervalo de salida de este valor futuro, tendríamos el intervalo de confianza como respuesta a un valor determinado de x; y así desarrollamos un intervalo de predicción. **(Douglas C. Montgomery, 2006)**

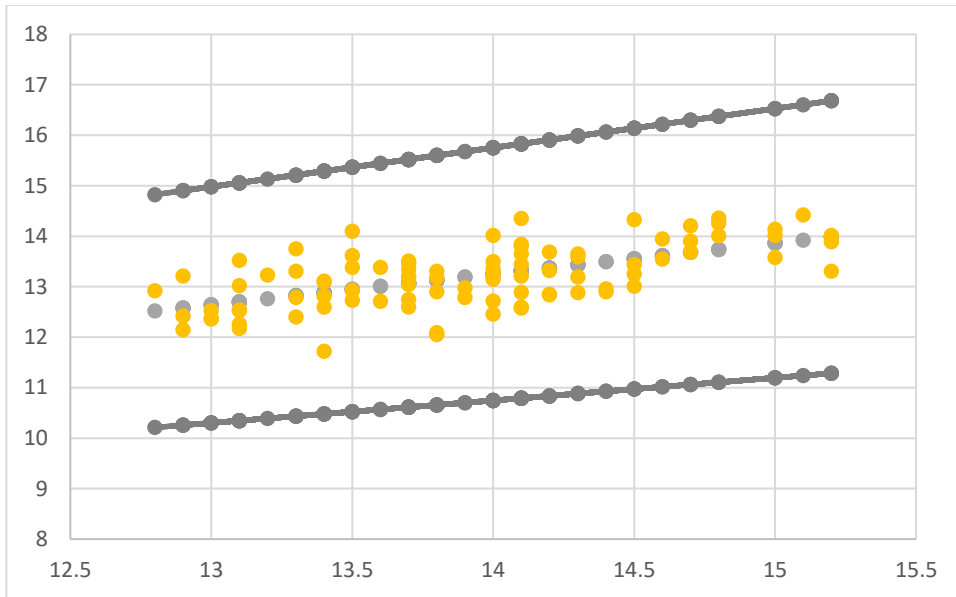


Figura 14: Ejemplo intervalo de Confianza

Este intervalo se define siguiendo la ecuación 2.13.

$$\hat{y}_0 - t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \sqrt{MS_{Res} \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}} \right)} \leq y_0 \leq \hat{y}_0 + t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \sqrt{MS_{Res} \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}} \right)} \quad (2.13)$$

Un ejemplo de esta definición se observa en el diagrama de predicción ejemplificado en la Figura 15.

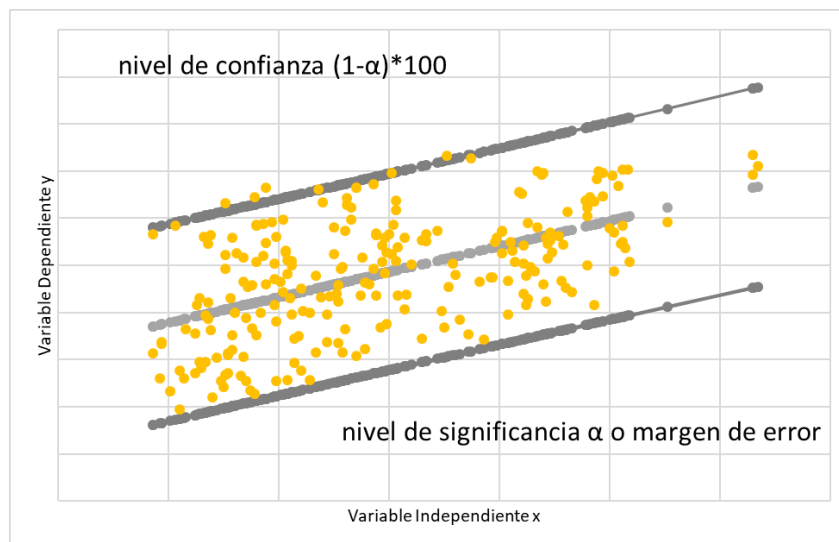


Figura 15: Ejemplo de Intervalo de Predicción

### 2.7.6 Coeficiente de Determinación

Conocido mejormente como  $R^2$ , podemos definir a este coeficiente como la reducción proporcionada de la variación total asociada con el uso de la variable predictora  $x$ . **(Michael H. Kutner, 2003)**

El valor de  $R^2$  está dado por la ecuación 2.14 cuyos límites se encuentran desde 0 hasta 1.

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{Res}}{SS_T} \quad (2.14)$$

Los límites de esta ocurren cuando:

1.-Todas las observaciones caen en los valores de la regresión dada  $SSE=0$  y  $R^2=1$ .

2.-La regresión lineal es completamente horizontal,  $\beta_1=0$ ,  $SS_{Res}=SST$  y por lo tanto  $R^2=0$ . Por lo tanto, decimos que no existe relación lineal entre  $x$  y  $y$ .

Con esto se pensaría que un alto coeficiente indicaría una fuerte correlación viceversa; sin embargo, esto no es necesariamente correcto, por lo que no es concluyente. **(Michael H. Kutner, 2003)**

## 2.8 Media Ponderada

Una técnica matemática simple que nos permite resumir una serie de valores en una sola variable numérica es la media central o de posición. Su propósito es balancear cantidades mayores y menores alrededor de la cifra encontrada.

La media de tendencia central se clasifica en matemáticas y no matemáticas. Dentro de las matemáticas se encuentra la que nos proporciona la información requerida; la media aritmética ponderada. **(Vaca, 2003)**

La media aritmética es el resultado de dividir la suma de las observaciones por el número de estas. Es el valor medio representativo de una serie estadística. Cuando las observaciones no difieren demasiado entre sí, o cuando la información es homogénea, el promedio aritmético es una media centralizadora. **(Vaca, 2003)**

En este caso nos enfocaremos específicamente en la media ponderada que resulta de seguir la ecuación 2.15.

$$\bar{x} = \frac{\sum f_i x_i}{N} \quad (2.15)$$

Donde:

$\bar{x}$ : media ponderada

$x_i$ : valor de una observación

$f_i$ : frecuencia o fracción de  $x_i$

$N$ : suma de las frecuencias

## 2.9 Concepto de Demoras Ferroviarias

Nuestros vagones actualmente arriban a través del sistema Ferroviario Ferromex y este a su vez ofrece un programa de cobro basado en la cantidad de días que permanece un vagón cargado en la espuela en la que fue entregado. A esto es a lo que denominamos demoras.

Es importante reconocer como funciona este sistema de cobro para entender cómo es que se genera este costo y relación que tiene con nuestro proyecto. Nosotros nos encontramos dentro del sistema de liberación Express.

El programa de "Liberación Express" es un Programa de Reconocimiento a Usuarios de Ferromex que reciben vagones. El plazo libre para carga y/o descarga es de 24 horas, contadas a partir del situado del carro.

El "Periodo de Liberación" es el tiempo comprendido entre el situado y el liberado de la unidad. El inicio del Plazo Libre para carros situados en vías del público será a las 08:00 A. M.

Cada carro con un "Periodo de Liberación" menor a 18 horas obtiene 5 puntos beneficio, por cada 10 puntos se compensa un día de bonificación.

Por último, es importante aclarar que no todos los vagones están sometidos a cobro; únicamente se realiza este a vagones ajenos a la compañía. Los vagones particulares o arrendados por la misma no son sometidos a cobro por parte de Ferromex.

## Capítulo 3

### Desarrollo

Una vez que hemos fundamentado nuestro estudio evaluaremos el estado actual para la programación de cada uno de nuestros materiales de arribo por vía ferroviaria. Para fines de evaluación y entendimiento a partir de ahora llamaremos Material A, Material B y Material C.

Hasta ahora la evaluación de materias primas a través de sus áreas superficiales y la interacción de todos los materiales necesarios para la fabricación de la barbotina cerámica se evalúan de forma aislada.

Se asumen las tendencias de la información de áreas superficiales que describe el proveedor en sus certificados de pre envío dados con su propio equipo de área superficial. Con esto se busca entender la tendencia de cambio y movimientos en la proporción de los materiales A y B.

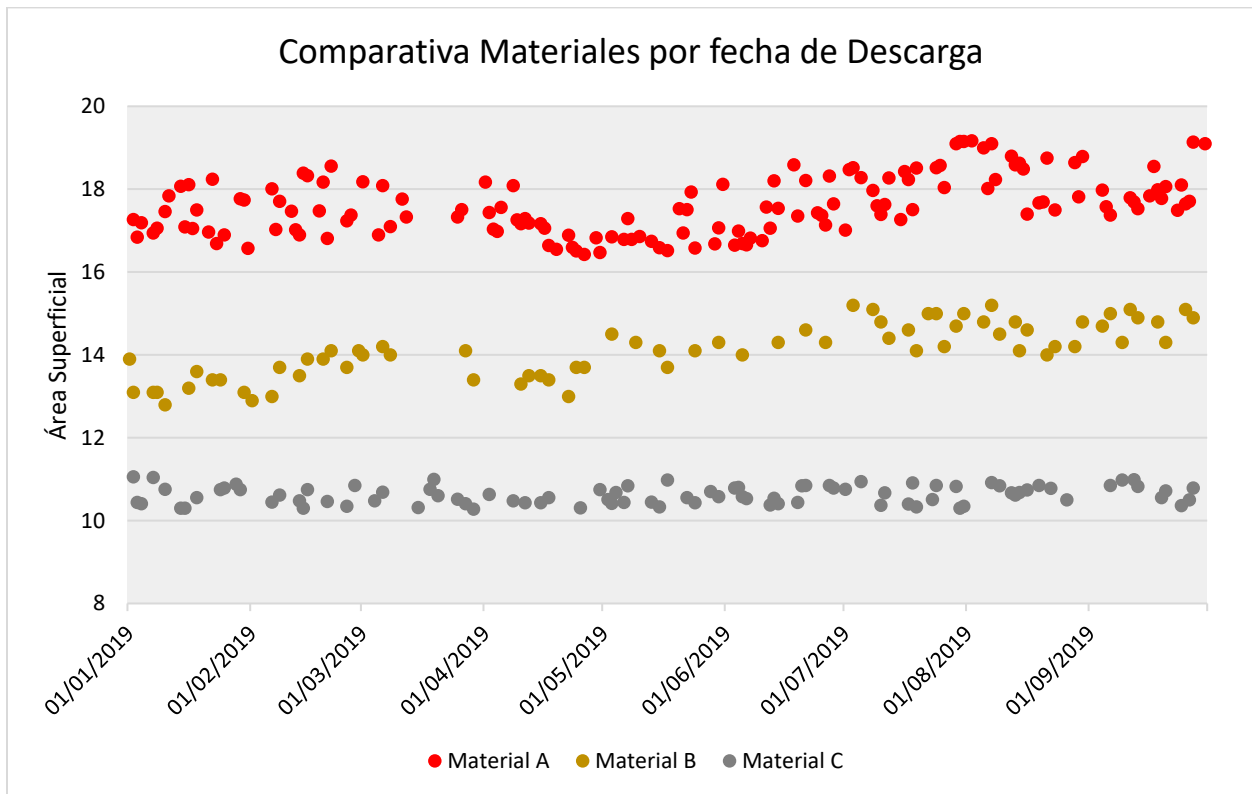


Figura 16:Comparativas Áreas Superficiales Materiales A, B y C.

Ejemplifiquemos la situación a través de la figura 16. Con estas debemos identificar las tendencias considerando el consumo semanal de cada material y asumir de forma empírica como se comportará la interacción de al menos los materiales A, B y C.

Aquí se puede observar que se sigue una tendencia temporal y que especialmente en el material A tiene una banda de efecto más amplia en comparativa a los materiales B y C. Esto se debe a la naturaleza de los materiales, aspecto que no será evaluada en este estudio. Lo que si evaluaremos es una parte de las consecuencias de estas variaciones para nuestro costo de operación

Todos estos cambios derivan a su vez en cambios de fórmula. Esto debido a que se busca un rango de área superficial definida en la barbotina a entregar a los procesos subsecuentes. (Figura 17)

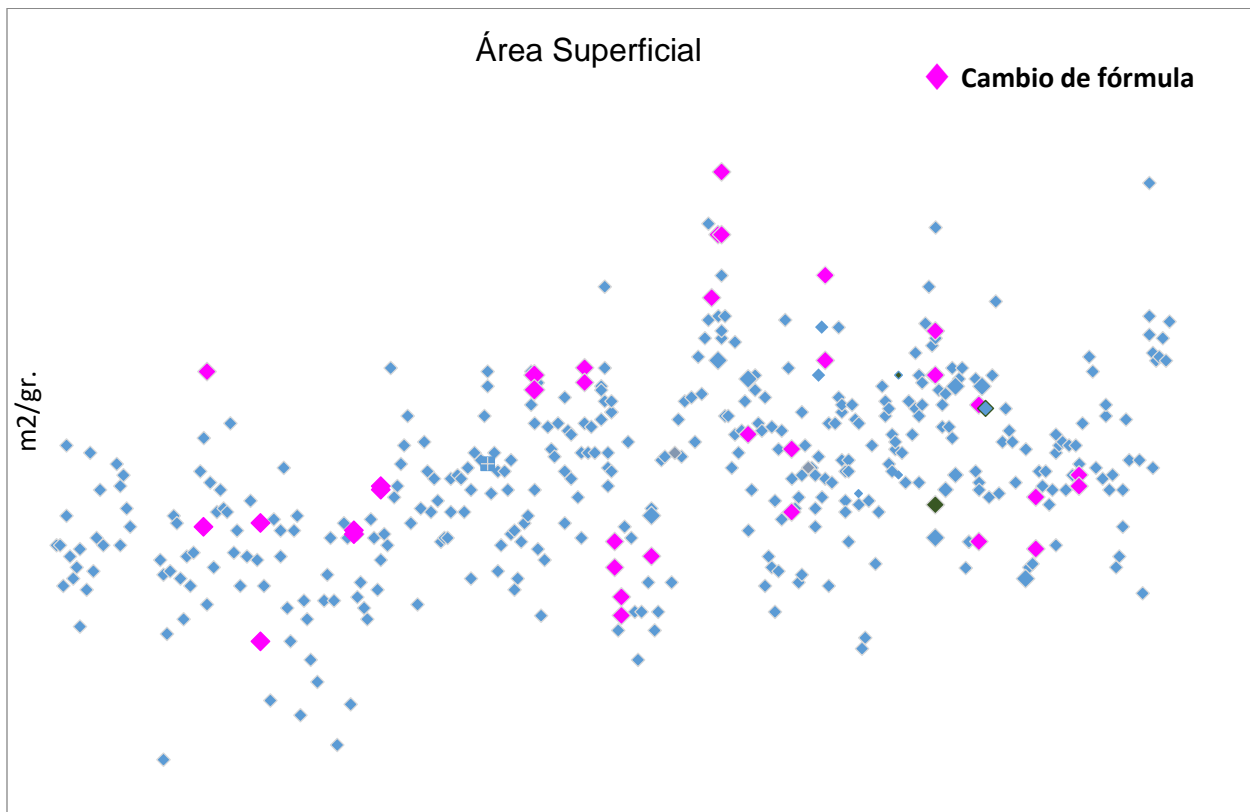


Figura 17: Áreas Superficiales vs Cambios de Fórmula

La variación del área superficial deriva en movimientos reológicos y de compactación; y estos a su vez en la variación de la conformación y características de las piezas cerámicas.



Si evaluamos estas variaciones contra las demoras de vagones es necesario hacer un análisis por cada uno de los meses y entender los causales de las mismas.

Esto nos llevara a entender cuanto de estas demoras corresponde a variación en el área superficial de la materia prima y a su vez en reformulaciones.

Cabe mencionar que para fines de control de calidad y productividad únicamente se hacen movimientos de proporción de fórmula entre los materiales A y B. Esto sin importar las variaciones en el área superficial del resto de los materiales. Cuyas áreas superficiales también impactan en el área superficial final de la barbotina cerámica.

Se reportan de forma mensual en la tabla 3 las demoras del 1er semestre de 2019. Y a su vez la cantidad de cambios de fórmula por mes. Dónde podemos notar un incremento hacia la mitad del año.

Debido a que de enero a abril se tuvieron factores externos no relevantes para el estudio de correlación; evaluaremos únicamente los meses mayo, junio y julio.

Tabla 3: Monto Mensual Demoras vs Cambios de Fórmula

<b>2019</b>	<b>Monto</b>	<b>Cambios de Fórmula</b>
Enero	\$ 270,586.95	2
Febrero	\$ 38,399.63	5
Marzo	\$ 178,732.80	1
Abril	\$ 212,245.20	1
Mayo	\$ 163,372.95	8
Junio	\$ 180,803.25	6
Julio	\$ 174,023.00	5

Al evaluar el detalle de demoras, identificamos que el Material B, que como veíamos en el capítulo de introducción; es el que tiene inventario de forma desorbitada, teniendo un solo vagón tiene hasta 15 días en sitio.

Este material, debido al porcentaje en la fórmula, tiene un muy bajo consumo; por lo que cada cambio a una proporción menor afectará en la demanda de este y a su vez el ritmo de descarga. Esto provoca que el material no se descargue hasta que se tenga espacio en los tanques de almacenamiento.

En lo particular el material B tiene un consumo de alrededor de 1 vagón a la semana. Si su proporción en fórmula cambia y considerando que en la próxima semana podríamos tener la llegada de un vagón, los inventarios en sitio llegan hasta 75 días de inventario. Valores que consumen completamente los costos por demoras.

Bajo esta premisa consideramos todos los vagones con un tiempo en sitio mayor a 7 días como nuestro objetivo de reducción de costos. El monto por concepto de demoras que se hubiese evitado en el trimestre a estudiar y el comportamiento de cada mes puede observarse en la tabla 4. En base a estos datos anualizamos la reducción y tenemos un total de \$296,026.20

Tabla 4: Proyección de Reducción de Costos

<b>2019</b>	<b>Monto</b>	<b>Ahorro</b>	<b>Final</b>
Mayo	\$ 163,372.95	\$ 9,774.45	\$ 153,598.50
Junio	\$ 180,803.25	\$ 39,097.80	\$ 157,479.90
Julio	\$ 174,023.00	\$ 25,134.30	\$ 134,925.20
<b>Total Trimestre</b>		\$ 74,006.55	\$ 446,003.60
<b>Anualizado</b>		\$ 296,026.20	

Considerando este escenario se trabajará en minimizar el impacto de estos cambios de fórmula al predecir el espectro de salida en base a las áreas superficiales indicadas en los certificados de cada uno de los proveedores. Esto probando la interacción entre los 5 materiales que componen nuestra barbotina que llamamos Material A, Material B, Material C, Material D y Material E. Todo esto considerando que únicamente tenemos entre 15 y 20 días para evaluar la predicción que es el tiempo que toma el traslado en promedio de nuestras materias primas.

Para poder analizar la interacción, primero es necesario entender si nuestras salidas y si nuestro equipo de medición de área superficial realmente representa a nuestro proceso. Para ellos se llevó a cabo una prueba de hipótesis mediante una prueba de significancia.

La prueba de validación consiste en evaluar si el proceso de calibración del equipo es confiable. Para ello se evaluó el valor nominal de nuestra muestra patrón contra el valor de lectura del equipo una vez que se confirma la calibración.

Una vez concluida esta evaluación y habiendo reconocido que la calibración estadística ocurre iniciamos el análisis de la relación entre las áreas superficiales de los certificados que el proveedor comparte y las áreas superficiales del muestreo realizado al vagón descargado.

Se busca correlacionar mediante un análisis de regresión el valor de certificados (x) contra el valor obtenido en laboratorio de área superficial (y). En caso de que la correlación exista, buscar predecir los valores de área superficial del vagón en el sitio según el valor entregado por el proveedor en el certificado.

Obteniendo la predicción de valores de área superficial y considerando las proporciones de la fórmula dada para la fabricación de barbotina se buscará obtener el área superficial total. Esto bajo la premisa y entendimiento que el área superficial es una distribución física de materiales y que es resultado de la combinación de estos.

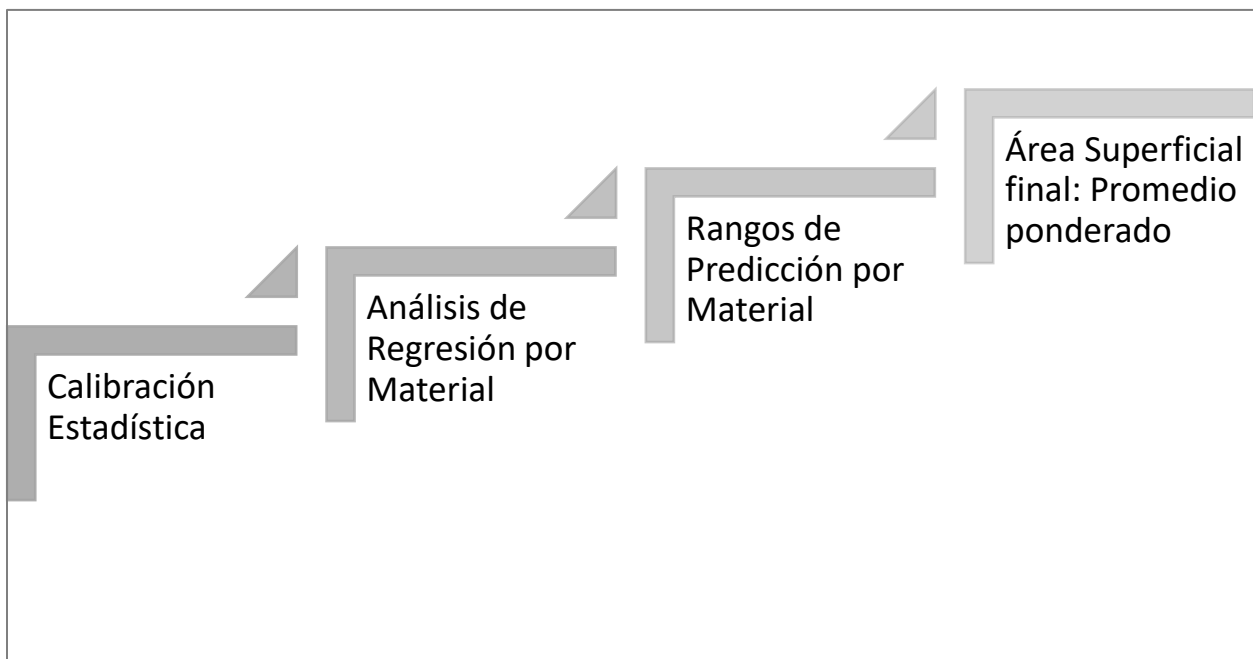


Figura 18: Diagrama de Secuencia de Análisis del Problema

Esto se llevará a cabo con una herramienta estadística básica como lo es el uso de promedios ponderador siguiendo la fórmula de la barbotina cerámica utilizada actualmente.

# Capítulo 4

## Análisis de la Información

### 4.1 Validación del Equipo de Medición.

#### 4.1.1 Calibración Estadística

Para llevar a cabo la calibración estadística se realizó una prueba de significancia del modelo. Esta se valida con la prueba de hipótesis siguiente:

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

La restricción para denotar que la calibración es efectiva es que acepte la hipótesis nula por lo que se considera que no existe una pendiente y se asume igualdad contra la calibración.

Tabla 5: Cálculos Calibración Estadística

n	40				
SUM xi	845.6	y avg	21.132	Sxx	2.9104E-11
SUM yi	845.28	x avg	21.14	Sxy	1.819E-11
SUM xi2	17875.984	y avg 2	446.561424		
SUM xiyi	17869.2192				
SUM yi2	17863.8368				
b1	0.625	b0	7.9195	bi	0.625
SSres	1.37984				
SST	1.37984				
sigma 2	0.03631158				
Se (b1)	35322.1793				
t0	1.7694E-05				
t tabla	2.02439416				
r2	0.00%				

Se muestra el desarrollo en la Tabla 5, dónde  $t_0 > t$  tablas. Con esto se acepta la hipótesis nula con un nivel de significancia de 95% y se asume igualdad entre la calibración y el valor patrón.

#### 4.1.2 Intervalo de Confianza

Para validar que la calibración será válida con un nivel de confianza de 95% se calcula el intervalo de confianza de la calibración. Se sabe que mientras el valor de calibración devuelva un valor dentro de este rango se considera que el equipo se encuentra calibrado.

Cabe mencionar que el intervalo de confianza dado es muy cercano al valor referencia como rango de calibración dado por el proveedor que nos indica que estamos trabajando según las recomendaciones y calibración dada por el proveedor y necesaria para el proceso.

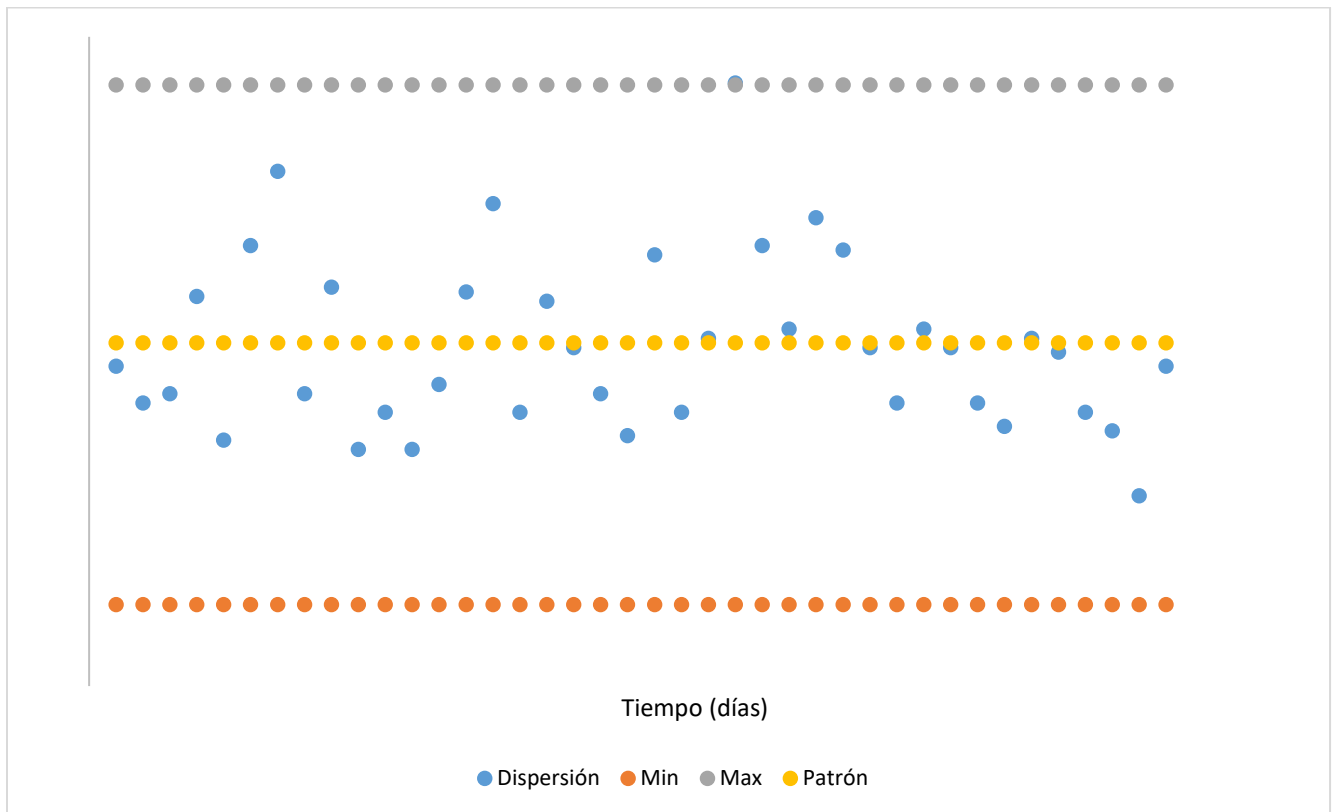


Figura 19: Intervalo de Confianza Calibración de Equipo de Área Superficial

## 4.2 Análisis de Regresión Lineal

### 4.2.1 Material A

#### 4.2.1.1 Regresión Lineal

Tabla 6: Cálculos Regresión Lineal Material A

n	231
SUM xi	4034.52
SUM yi	4022.349
SUM xi <sup>2</sup>	70561.0722
SUM xiyi	70304.1498
SUM yi <sup>2</sup>	70131.9441

y avg	17.4127662
x avg	17.4654545
y avg <sup>2</sup>	303.204428

Sxx	96.3465273
Sxy	51.9962045

b1	0.53967907
----	------------

b0	7.98702591
----	------------

bi	0.53967907
----	------------

SSres	63.6600099
SST	91.7212734
sigma <sup>2</sup>	0.27799131

t0	10.047037
t tabla	1.97037728

r <sup>2</sup>	30.59%
----------------	--------

Se (b1)	0.05371525
---------	------------

#### Prueba de Hipótesis

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

#### Conclusión

$$t_0 > t_{\text{tablas}}$$

Con esto se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significancia de 95% y se asume una correlación entre la variable dependiente área superficial de certificado y la variable independiente área superficial de sitio.

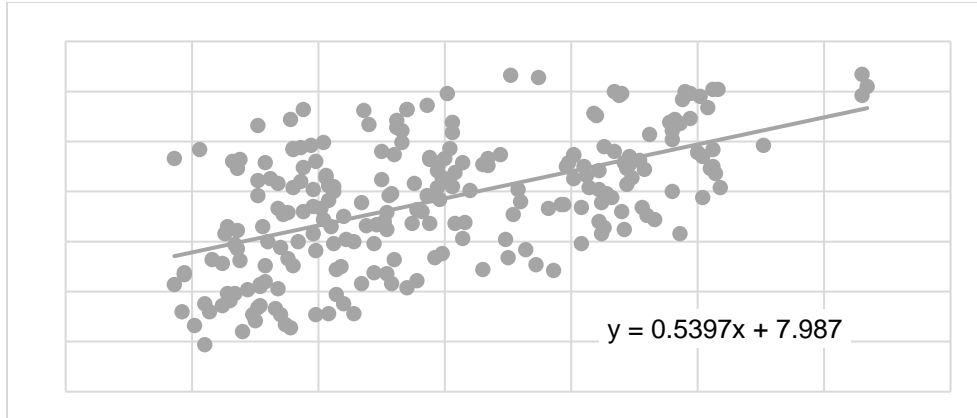


Figura 20: Diagrama de Dispersión Material A

#### 4.2.1.2 Rango de predicción

Al resolver encontramos un rango de predicción que sigue la misma tendencia que la regresión lineal dada agregando los desplazamientos dados por el valor de  $t$  y la varianza  $\sigma^2$

Esto obedece a la ecuación

$$\hat{y}_0 - t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \sqrt{MS_{Res} \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}} \right)} \leq y_0 \leq \hat{y}_0 + t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \sqrt{MS_{Res} \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}} \right)} \quad (4.1)$$

Donde, recordemos  $y_0$  es el valor dado al sustituir  $x_0$  en el modelo de regresión lineal dado.

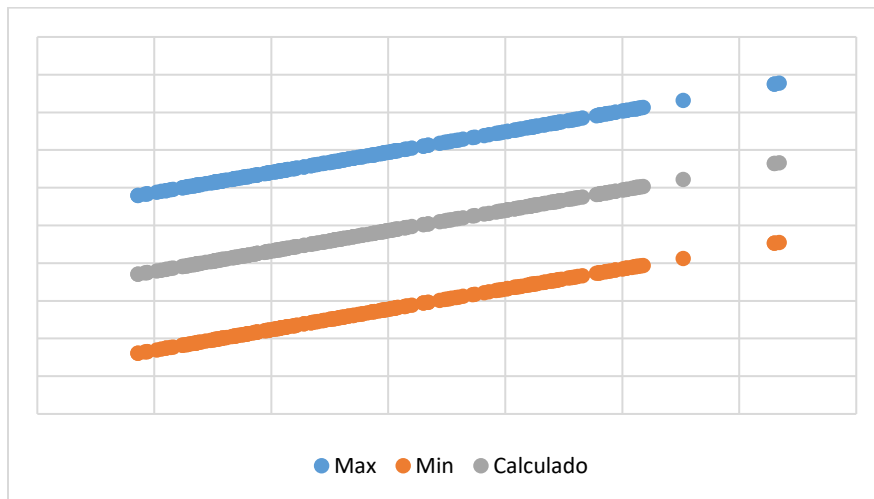


Figura 21: Rango de Predicción Material A



## 4.2.2 Material B

### 4.2.2.1 Regresión Lineal

Tabla 7: Cálculos Regresión Lineal Material B

n	90				
SUM xi	1252.7	y avg	13.2014444	Sxx	33.8178889
SUM yi	1188.13	x avg	13.9188889	Sxy	20.6635444
SUM xi2	17470.01	y avg 2	174.278135		
SUM xiyi	16558.113				
SUM yi2	15717.8745				
b1	0.61102408	b0	4.69666817	bi	0.61102408
SSres	20.216389	t0	7.41346285		
SST	32.8423122	t tabla	1.98728986		
sigma 2	0.22973169				
Se (b1)	0.08242087	r2	38.44%		

### Prueba de Hipótesis

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

### Conclusión

$$t_0 > t_{\text{tablas}}$$

Con esto se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significancia de 95% y se asume una correlación entre la variable dependiente área superficial de certificado y la variable independiente área superficial de sitio.

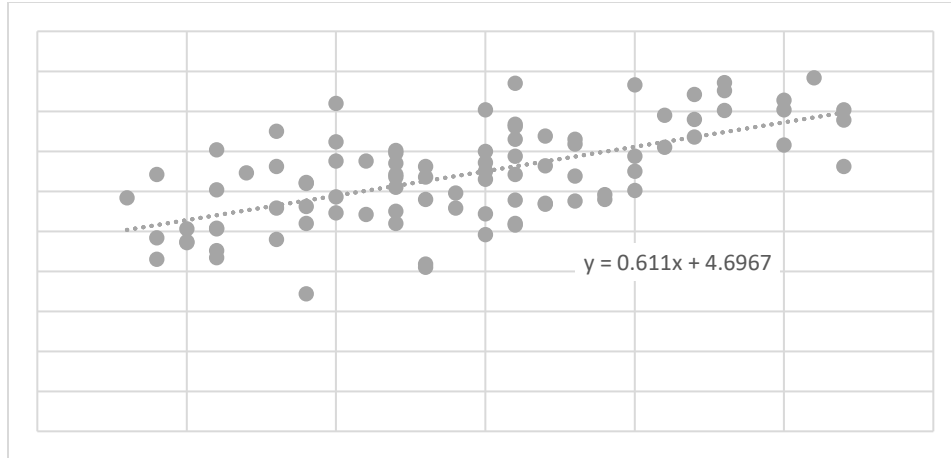


Figura 22:Diagrama de Dispersión Material B

#### 4.2.2.2 Rango de predicción

Al resolver encontramos un rango de predicción que sigue la misma tendencia que la regresión lineal dada agregando los desplazamientos dados por el valor de t y la varianza  $\sigma^2$

Esto obedece a la ecuación

$$\hat{y}_0 - t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \sqrt{MS_{Res} \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}} \right)} \leq y_0 \leq \hat{y}_0 + t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \sqrt{MS_{Res} \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}} \right)} \quad (4.1)$$

Donde, recordemos  $y_0$  es el valor dado al sustituir  $x_0$  en el modelo de regresión lineal dado.

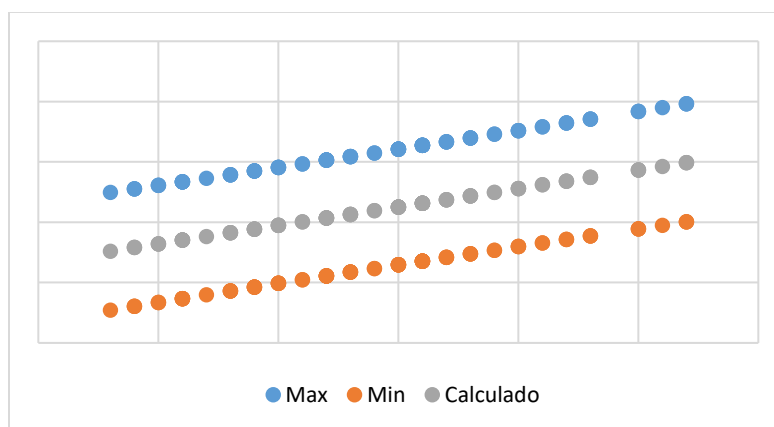


Figura 23:Rango de Predicción Material B

## 4.2.3 Material C

### 4.2.3.1 Regresión Lineal

Tabla 8: Cálculos Regresión Lineal Material C

n	107				
SUM xi	1138.69	y avg	10.3001869	Sxx	4.71688785
SUM yi	1102.12	x avg	10.6419626	Sxy	3.62426075
SUM xi2	12122.6133	y avg 2	106.093851		
SUM xiyi	11732.3441				
SUM yi2	11363.7644				
b1	0.76835847	b0	2.12334477	bi	0.76835847
SSres	8.93766481	t0	5.71971353		
SST	11.7223963	t tabla	1.98281527		
sigma 2	0.08512062				
Se (b1)	0.13433513	r2	23.76%		

### Prueba de Hipótesis

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

### Conclusión

$$t_0 > t_{\text{tablas}}$$

Con esto se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significancia de 95% y se asume una correlación entre la variable dependiente área superficial de certificado y la variable independiente área superficial de sitio.

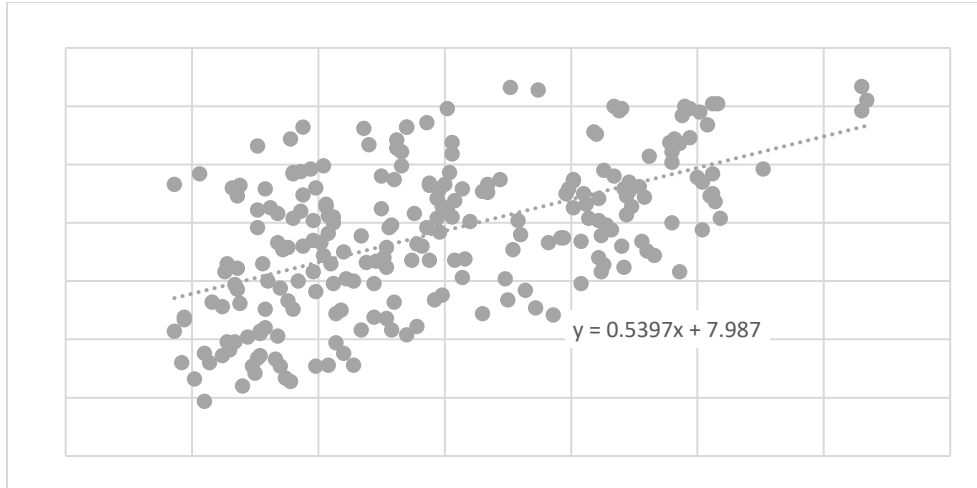


Figura 24: Diagrama de Dispersión Material C

#### 4.2.3.2 Rango de predicción

Al resolver encontramos un rango de predicción que sigue la misma tendencia que la regresión lineal dada agregando los desplazamientos dados por el valor de t y la varianza  $\sigma^2$

Esto obedece a la ecuación

$$\hat{y}_0 - t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \sqrt{MS_{Res} \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}} \right)} \leq y_0 \leq \hat{y}_0 + t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \sqrt{MS_{Res} \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}} \right)} \quad (4.1)$$

Donde, recordemos  $y_0$  es el valor dado al sustituir  $x_0$  en el modelo de regresión lineal dado.

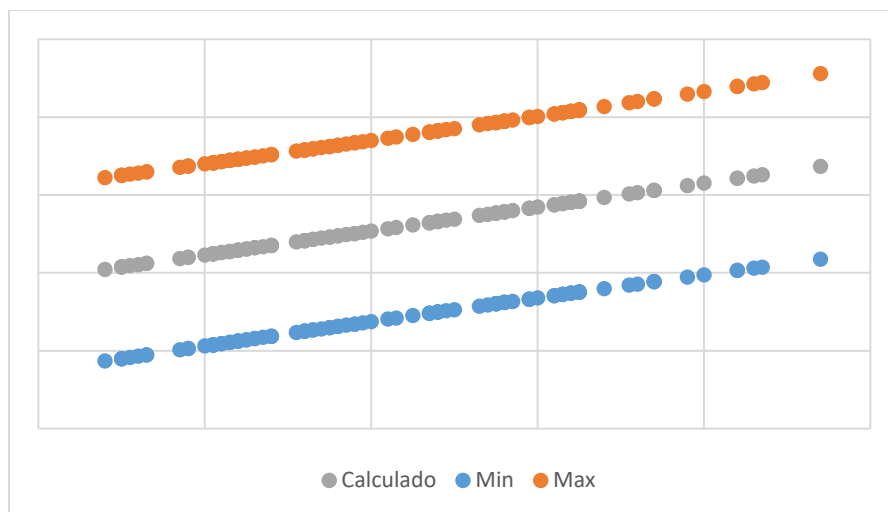


Figura 25: Rango de Predicción Material C

## 4.2.4 Material D

### 4.2.4.1 Regresión Lineal

Tabla 9: Cálculos Regresión Lineal Material D

n	71				
SUM xi	116.93	y avg	1.50098592	Sxx	0.30811831
SUM yi	106.57	x avg	1.64690141	Sxy	0.0990169
SUM xi2	192.8803	y avg 2	2.25295872		
SUM xiyi	175.6093				
SUM yi2	160.3439				
b1	0.32136	b0	0.97173767	bi	0.32136
SSres	0.35201091	t0	2.49745148		
SST	0.38383099	t tabla	1.99494542		
sigma 2	0.00510161				
Se (b1)	0.12867517	r2	8.29%		

### Prueba de Hipótesis

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

### Conclusión

$$t_0 > t_{\text{tablas}}$$

Con esto se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significancia de 95% y se asume una correlación entre la variable dependiente área superficial de certificado y la variable independiente área superficial de sitio.

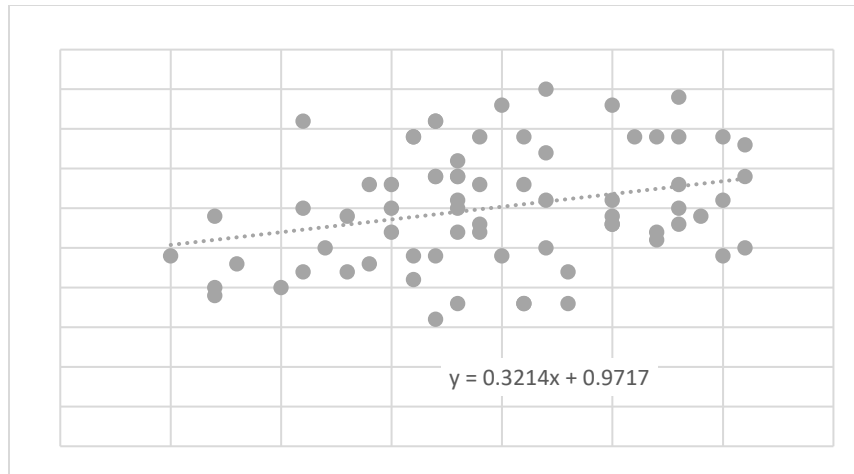


Figura 23: Diagrama de Dispersión Material D

#### 4.2.4.2 Rango de predicción

Al resolver encontramos un rango de predicción que sigue la misma tendencia que la regresión lineal dada agregando los desplazamientos dados por el valor de t y la varianza  $\sigma^2$

Esto obedece a la ecuación

$$\hat{y}_0 - t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \sqrt{MS_{Res} \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}} \right)} \leq y_0 \leq \hat{y}_0 + t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \sqrt{MS_{Res} \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}} \right)} \quad (4.1)$$

Donde, recordemos  $y_0$  es el valor dado al sustituir  $x_0$  en el modelo de regresión lineal dado.

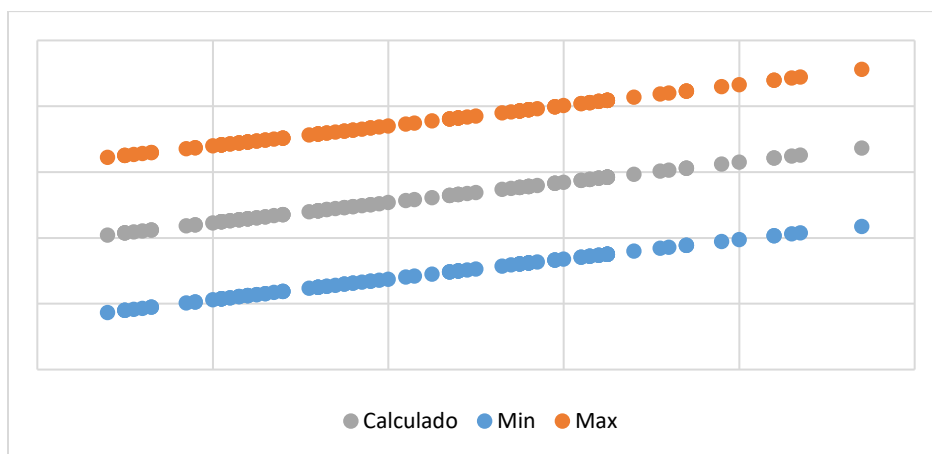


Figura 24: Rango de Predicción Material D

## 4.2.5 Material E

### 4.2.5.1 Regresión Lineal

Tabla 10: Cálculos Regresión Lineal Material E

n	162				
SUM xi	228.84	y avg	1.43	Sxx	0.81991111
SUM yi	231.66	x avg	1.41259259	Sxy	0.585
SUM xi2	324.0776	y avg 2	2.0449		
SUM xiyi	327.8262				
SUM yi2	332.6316				
b1	0.71349198	b0	0.42212652	bi	0.71349198
SSres	0.94040719	t0	8.42702923		
SST	1.3578	t tabla	1.97490156		
sigma 2	0.00587754				
Se (b1)	0.08466708	r2	30.74%		

### Prueba de Hipótesis

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

### Conclusión

$$t_0 > t_{\text{tablas}}$$

Con esto se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significancia de 95% y se asume una correlación entre la variable dependiente área superficial de certificado y la variable independiente área superficial de sitio.

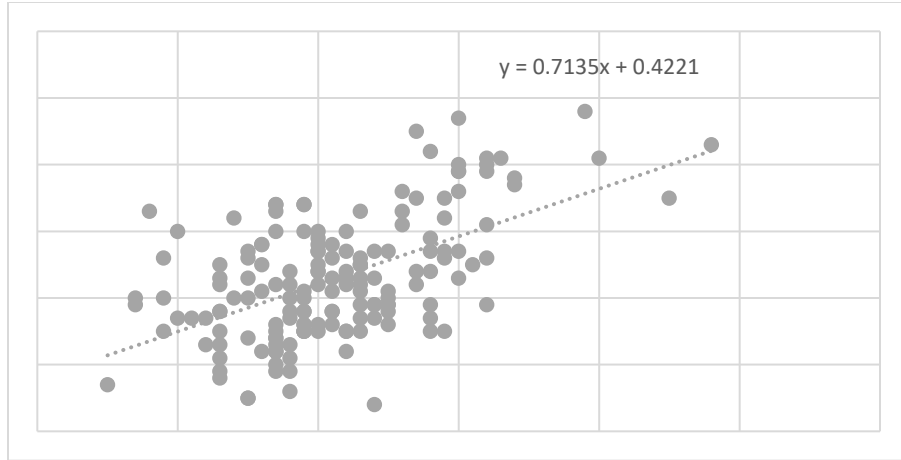


Figura 25: Diagrama de Dispersión Material E

#### 4.2.4.2 Rango de predicción

Al resolver encontramos un rango de predicción que sigue la misma tendencia que la regresión lineal dada agregando los desplazamientos dados por el valor de t y la varianza  $\sigma^2$

Esto obedece a la ecuación

$$\hat{y}_0 - t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \sqrt{MS_{Res} \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}} \right)} \leq y_0 \leq \hat{y}_0 + t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \sqrt{MS_{Res} \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}} \right)} \quad (4.1)$$

Donde, recordemos  $y_0$  es el valor dado al sustituir  $x_0$  en el modelo de regresión lineal dado.

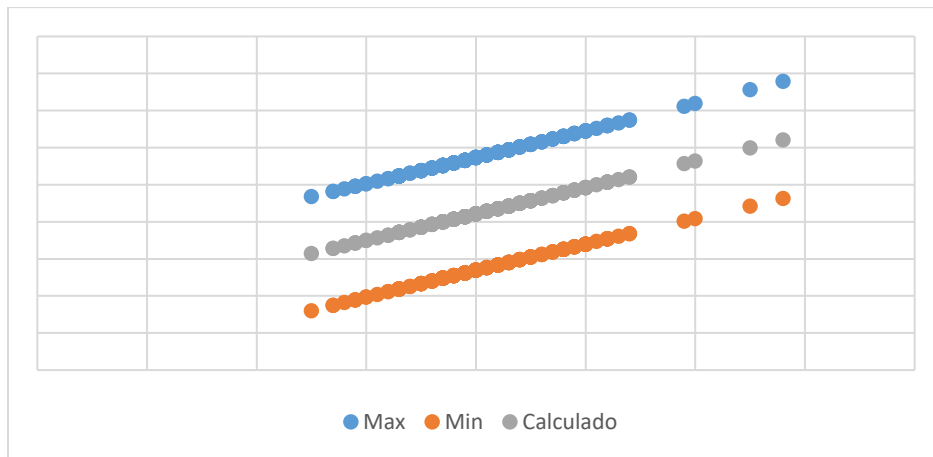


Figura 26: Rango de Predicción Material E



## 4.2 Área Superficial Ponderada

Utilizando el concepto de media ponderada y bajo el concepto de la presencia de nuestros cinco diferentes materiales con un área superficial dada tenemos un modelo representado según la ecuación 4-1.

En esta se obtiene bajo el concepto de la proporción de la participación de cada uno de los materiales en la fórmula de la barbotina cerámica el valor medio de área superficial de la barbotina cerámica.

Para entender este modelo complementario entendamos la ecuación de sustitución donde:

$\hat{a}_0 = SSA \text{ material A calculado}$

$\hat{x}_a = \text{participación de material A en fórmula}$

$\hat{b}_0 = SSA \text{ material B calculado}$

$\hat{x}_b = \text{participación de material B en fórmula}$

$\hat{c}_0 = SSA \text{ material C calculado}$

$\hat{x}_c = \text{participación de material C en fórmula}$

$\hat{d}_0 = SSA \text{ material D calculado}$

$\hat{x}_d = \text{participación de material D en fórmula}$

$\hat{e}_0 = SSA \text{ material E calculado}$

$\hat{x}_e = \text{participación de material E en fórmula}$

$ssa = \text{área superficial barbotina}$

$$ssa = \hat{x}_a \hat{a}_0 + \hat{x}_b \hat{b}_0 + \hat{x}_c \hat{c}_0 + \hat{x}_d \hat{d}_0 + \hat{x}_e \hat{e}_0 \quad (4.2)$$

A manera de ejemplificar el modelo tomemos un ejemplo utilizando medias ponderadas, consideremos valores cercanos al diagrama triaxial mostrado en el capítulo 2 y valores medios conocidos entre nuestros materiales de tipo arcillosos. (Véase Tabla 9).

Tabla 9: Cálculo SSA por proporciones utilizando media ponderada.

	Xn	n0 (m2/g)	xn*n0
Material A	26%	18.0	4.68
Material B	10%	12.0	1.2
Material C	18%	10.0	1.8
Material D	18%	1.5	0.27
Material E	28%	1.4	0.392
SSA	100%	$\Sigma$	8.342

Así obtenemos finalmente una predicción para un área Superficial resultante en nuestro proceso de fabricación de barbotina.

## Capítulo 5

### Conclusión

Al evaluar el Proyecto es evidente que el costo en el que incurre la compañía por este concepto sigue teniendo una gran área de oportunidad desde diferentes aristas y requiere estrategia para revirar la tendencia que parece cada año ser mayor.

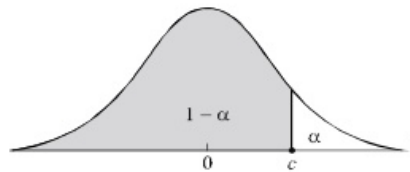
Trabajar en la simulación y evaluar la posibilidad de tener un silo para abastecer el material Grueso y no almacenar en los vagones en patio podría ser una opción importante tanto para incrementar la capacidad de almacenamiento como para buscar la estabilidad de los materiales.

De igual forma trabajar en el entendimiento de las capacidades y límites de los proveedores. Su capacidad de reacción tanto al requerir materiales adicionales como en hacer efectivas cancelaciones.

A partir de la información presentada en este estudio se espera el seguimiento puntual a la programación interactuado con las predicciones en la interacción de todos los materiales. Se espera que el estudio de estos comportamientos nos permitirá adelantarnos a los escenarios futuros y a su vez a la migración de fórmulas de una manera veraz y oportuna.

# Anexo 1

## Tabla de Distribución t



$r$	$1 - \alpha$							
	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
$\infty$	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

## Bibliografía

- ASTM International. (2019). ASTM D4567-19, Standard Test Method for Single-Point Determination of Specific Surface Area of Catalysts and Catalyst Carriers Using Nitrogen Adsorption by Continuous Flow Method. West Conshohocken, Pensilvania, EUA. Obtenido de [www.astm.org](http://www.astm.org)
- Devore, J. L. (2014). *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*. USA: Cengage Learning.
- Dinger, D. R. (2010). *Reología para Ceramistas*. Lulu.
- Douglas C. Montgomery, E. A. (2006). *Introduction to Linear Regression Analysis*. USA: Wiley.
- Labcompare. (29 de 10 de 2019). *Labcompare The Buyer's Guide for Laboratory Equipment*. Obtenido de <https://www.labcompare.com/1438-Physisorption-Analyzer/4192-FlowSorb-III-Surface-Area-Analyzer/>
- Masel, R. I. (1951). *Principales of Adsorption and Reaction on Solid Surfaces*. United States of America : John Wiley and Sons, INC.
- Michael H. Kutner, C. J. (2003). *Applied Linear Regression Models*. Singapore: McGraw-Hill Higher Education.
- Micromeritics. (2012). FlowSorb III 2305/2310 for determining Single Point and Multipoint Surface Area. USA: Micromeritics Instrument Corporation.
- Minitab. (2019). *¿Qué es un intervalo de confianza?* Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/basics/what-is-a-confidence-interval/>
- Rouquerol, J. (2014). *Adsorption by Powders and Porous Solids : Principles, Methodology and*. USA: Academic Press.
- SACMI, Asociación Española de Técnicos Cerámicos. (2004). Tecnología Cerámica Aplicada. En T. A. Gelder, *Cerámica Industrial* (pág. 444). Faenza RA Italia: Litográfica Faenza S.R.L.
- SELCI S.A. de C.V. (2019). *Servicios Especializados para Laboratorios Clínicos Industriales*. Obtenido de SELCI.mx: <http://selci.mx/marcas/horiba/particle/surface.html>
- Singer, F., & Singer, S. (1976). *Cerámica Industrial*. Bilbao, España: URMO, S.A. de Ediciones.
- Taguchi, G. Y. (1991). *Ingeniería de Calidad: Características Dinámicas*. Monterrey: Editado y traducido por el Centro de Calidad, ITESM.
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. (31 de octubre de 2018). *Encyclopædia Britannica*. Obtenido de <https://www.britannica.com/technology/ceramics>
- Vaca, W. L. (2003). *Estadística Descriptiva con énfasis en Salud Pública*. Grupo Editorial La Hoguera.