

TE 167



Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT)

Área de probabilidad y Estadística

Igualación de Tonos en el Esmalte Almendra

T E S I N A

Que para obtener el grado de:

ESPECIALISTA EN INGENIERIA DE LA CALIDAD

Área: Probabilidad y Estadística

presenta:

Francisco Ramírez Flores

Asesor: Jorge Domínguez Domínguez

CIMAT, Gto, Septiembre 2002

Contenido

1. Tema del Proyecto.

Igualación de Tonos en Esmalte Almendra.

Introducción

1.1 Antecedentes del problema

1.2 Estado actual

Revisión de literatura

1.3 Conceptos Básicos del Color

1.3.1 Color, brillantez y saturación

1.3.2 Parámetros de medición del color

1.4 Conceptos Básicos del Esmalte

1.5 Sistema de Medición (Gage R&R)

1.6 Diseño de Experimentos

Medición y análisis de resultados

1.7 Título del proyecto

1.8 Objetivos del experimento

1.9 Apoyos relevantes para los objetivos

1.9.1 Análisis de la información histórica

1.10 Variable de respuesta

1.11 Consideraciones sobre los factores

1.12 Restricciones sobre el experimento

1.13 Esquema experimental

1.14 Desarrollo del experimento

1.15 Resultados del sistema de medición

1.15.1 Análisis Gage R&R

1.15.2 Análisis de resultados de la variable de respuesta "L"

1.15.3 Análisis de resultados de la variable de respuesta "a"

1.15.4 Análisis de resultados de la variable de repuesta "b"

1.15.5 Análisis de resultados

1.10 , Conclusión y recomendaciones

1. Introducción

1.1 Antecedentes del problema

El proceso del esmaltado de partes metálicas en la planta de Mabe Estufas México, como algunos otros procesos se ha llevado a cabo a través de la experiencia adquirida por los operadores, quienes llevan a cabo los ajustes y adecuaciones de los parámetros de proceso con la finalidad de buscar la consistencia y en los resultados. Esta situación es derivada de una cultura de trabajo que no contempla el empleo de una metodología que nos permita encontrar las causas raíz de los problemas y tener una memoria histórica que nos evite incurrir en los mismo errores que el personal que nos precedió en las funciones, esta situación no es exclusiva de Mabe, sino un mal generalizado en un gran porcentaje de las compañías Mexicanas, por tal motivo el problema de igualación de tonos se nos presenta como una oportunidad de conocer y analizar uno de los varios procesos que se desarrollan en Mabe Estufas México, así mismo contribuir a la generación de una base de conocimiento en esta área tan aplicada en nuestra empresa y poco entendida.

1.2 Estado actual

El proceso del esmaltado de algunas de las partes que conforman la estufa se lleva a cabo a través de un proceso que consta de los siguientes pasos enlistados en la Tabla 1.

PROCESO DE FABRICACIÓN Y ESMALTADO DE LAS PARTES METÁLICAS.		
No	Proceso	Descripción
1	○	Fabricación de la parte metálica
2	⇒	Transporte al almacén de fabricación
3	▽	Almacenamiento en el área de fabricación
4	⇒	Transporte a cadena de colgado de lavadora
5	○	Colgado de la pieza en cadena transportadora de lavadora
6	○	Lavado de la pieza (eliminación del antioxidante)
7	○	Secado de la pieza mediante aire caliente
8	○	Descolgado de la cadena transportadora
9	○	Colgado en cadena o banda de aplicación
10	○	Aplicación de esmalte (dependiendo del tipo de acabado)
11	○	Secado de la parte esmaltada en horno de secado infrarrojo
12	□	Revisión de la parte esmaltada en biscocho (esmalte crudo)
13	○	Descolgado de material en proceso
14	○	Colgado en cadena de Horno de quemado
15	○	Quemado de la parte en horno a temperatura de aprox. 810 °C
16	○	Enfriado de la pieza en túnel de enfriamiento
17	○	Descolgado de la parte de cadena de horno
18	○	Colocación en banda de inspección
19	□	Revisión de calidad
20	○	Colocación en contenedor
21	○	Liberación de calidad
22	⇒	Transporte a almacén de partes esmaltadas
23	○	Almacenamiento
24	⇒	Transporte a líneas de ensamble
25	□	Revisión de calidad antes del ensamble
26	○	Ensamble de la parte en la estufa
27	○	Fin del Proceso

Tabla 1 Hoja de Proceso de

El proceso antes indicado se lleva a cabo en general para el esmaltado de las partes que conforman la estufa, incluyendo las partes esmaltadas en color, para nuestro caso de estudio nos enfocaremos específicamente al esmaltado en color almendra, para el cual se describen a continuación en la Tabla 2 los pasos del proceso de preparación, prueba e igualación de tono del esmalte almendra.

PROCESO DE IGUALACIÓN DE TONOS DEL ESMALTE ALMENDRA		
1	<input type="radio"/>	Se recupera esmalte almendra de cabinas de aplicación
2	<input type="radio"/>	Se deposita en contenedores plásticos y se preserva del polvo
3	<input type="radio"/>	Se prepara esmalte virgen hasta obtener las condiciones de proceso
4	<input type="radio"/>	Se mezcla esmalte virgen con esmalte recuperado en una proporción de 50 /50 % aprox.
5	<input type="radio"/>	Se mezclan ambos esmaltes hasta obtener una mezcla homogénea
6	<input type="radio"/>	Con la mezcla en condiciones de proceso se aplica una cubierta
7	<input type="radio"/>	Se deja secar al ambiente por un tiempo de. 45 min. aprox.
8	<input type="radio"/>	La cubierta con el esmalte seco se hornea a 800 °C. Aprox.
9	<input type="radio"/>	La pieza esmaltada se pasa a través de un túnel de enfriamiento
10	<input type="checkbox"/>	Se miden los parámetros de tono "ΔE"
11	<input type="checkbox"/>	El valor de "ΔE" está dentro de especificación?
12	<input type="radio"/>	SI El esmalte es liberado para producción
13	<input type="radio"/>	Fin del proceso
14	<input type="radio"/>	NO Se determina la proporción de óxidos para modificar el parámetro "ΔE"
15	<input type="radio"/>	Los óxidos son mezclados con agua y son tamizados con malla 200
16	<input type="radio"/>	Se agrega la mezcla de óxidos al esmalte
17	<input type="radio"/>	Se mezcla el esmalte y los óxidos por un periodo de 3 a 5 min.
18	<input type="radio"/>	Se regresa al paso 6 hasta lograr el parámetro de tono especificado.
19	<input type="radio"/>	Fin del proceso

Tabla 2. Proceso de igualación de tonos en esmalte Almendra.

4 BIBLIOGRAFÍA

Castañó, Tostado Eduardo, Jorge Domínguez Domínguez, Diseño de Experimentos Para el Desarrollo Tecnológico y Mejora de la Industria, Just in Time Press, 2001, p.p. 12-15

Hicks, Charles R. and Kennet V. Turner, Jr., Fundamental Concepts in the Design of Experiments, Oxford University Press, New York, 1999, p.p. 3-10

Manual de Planeación Avanzada de la Calidad, Grupo Spicer S.A, p.p 45,46

Manual de Entrenamiento SeisSigma, Mabe S.A de C.V de R.L, Cap. 6, p.p 2-38

Manual de Operación de Espectrofotometro, Minolta.Co.Ltd, p.p 5-11

2.0 Revisión de literatura

2.1 Conceptos básico del Color

El color es una cuestión de percepción y de interpretación subjetiva. Incluso cuando varias personas están observando el mismo objeto, la gente puede dar diferentes referencias y expresar con diferentes palabras el mismo color. Debido a que cada uno tiene diferentes formas de expresar el color, describir un color es extremadamente difícil más aún lo es la expresión verbal de los estándares de color dentro de un proceso de producción.

Condiciones que afectan la percepción del color.

La fuente de iluminación

La fuente de iluminación puede tener efectos en la apariencia de una misma parte, dentro de estos tipos de iluminación tenemos: Luz solar, luz fluorescente, luz de tungsteno, etc.

La percepción de cada individuo

La sensibilidad visual de cada persona es ligeramente diferente, incluso en persona consideradas con una visión "normal", otro factor importante es que la agudeza visual del individuo cambia a través del tiempo.

Tamaño de la pieza o parte pintada

El tamaño de la parte pintada es un factor que influye en la brillantez, de tal forma que por ejemplo al escoger un papel tapiz en un muestrario este parecerá más brillante una vez que es colocado en la pared, debido a que las partes grandes aparecerán más brillantes que las partes pequeñas.

Fondo de vista

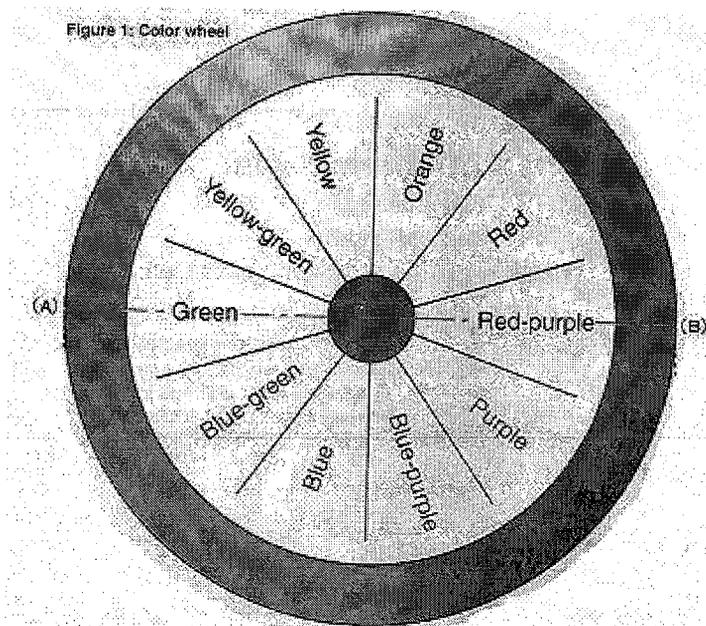
El fondo de la parte observada es importante, debido a que la apariencia que tendrá un objeto se verá afectado por el color de fondo, de tal forma que un objeto parecerá opaco cuando este ubicado frente a un fondo oscuro.

2.1.1 Color Brillantez y Saturación (Definición).

El color (Rojo, Amarillo, Verde, Azul, El color forma la rueda del color)

Las manzanas son rojas, los limones amarillos, el cielo es azul; así es como todos nosotros pensamos del color todos los días en todos los lenguajes. El color es el término usado en el mundo del color para la clasificación del rojo, amarillo, azul, etc. También, aunque amarillo y rojo son dos colores totalmente diferentes, mezclar amarillo y rojo juntos resulta naranja (el cual es algunas veces referido como amarillo- rojo), mezclar amarillo y verde resulta en amarillo-verde, mezclando azul y verde resulta en azul-verde, y así sucesivamente, la continuación de esos colores resulta en la rueda de colores mostrada en la

Fig. 1. Rueda de los Colores



La luminosidad (color brillante, colores oscuros, la luminosidad de los colores cambia verticalmente)

Los colores pueden ser separados en colores brillantes y oscuros cuando su brillantez (que tan brillante son) es comparada. Tome por ejemplo, el amarillo del limón y el de la uva. Sin duda, el amarillo del limón es más brillante. Como sobre el amarillo del limón y el rojo de una cereza dulce. Contra el amarillo del limón es más brillante correcto.? Esta luminosidad puede ser medida independientemente del color. Ahora observe la Figura 2. Esta figura es la sección transversal de la Figura 1, corte a lo largo de una línea recta entre A (verde) y B (rojo - púrpura). Como en la figura mostrada, la brillantez se incrementa hacia arriba y decrece hacia abajo.

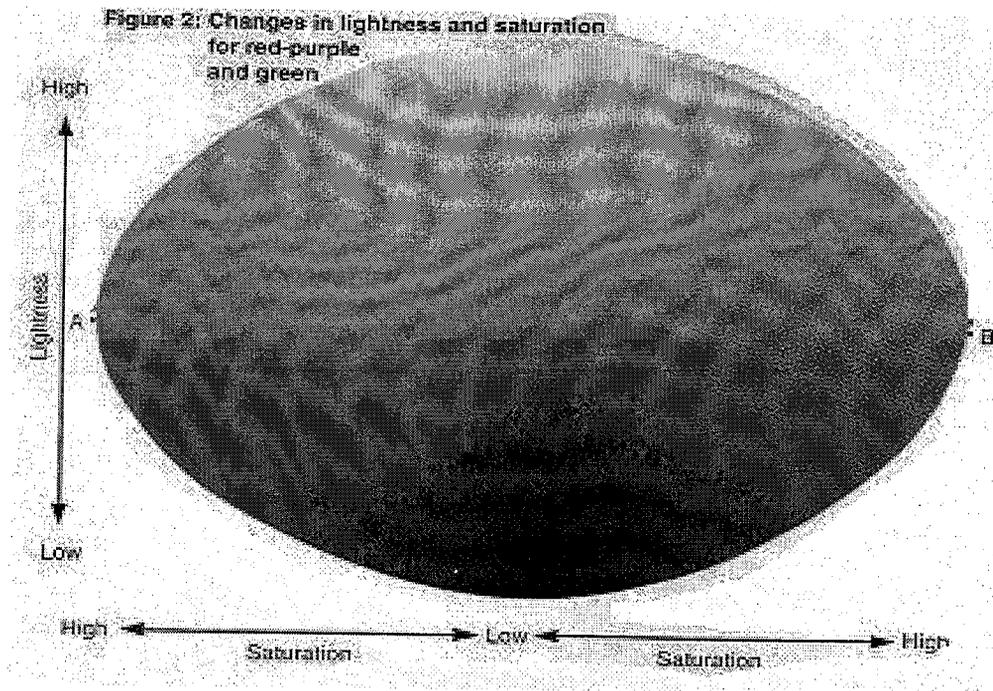


Fig. 2. Cambio en Brillantez y Saturación del Color

Saturación (colores vivos, colores apagados. La saturación cambia hacia fuera del centro.)

Regresemos al amarillo, como compara el amarillo de un limón y el de una pera.? Tu puedes decir que el amarillo del limón es más brillante, pero más el punto en este caso, este es vivido, en tanto que el amarillo de la pera es apagado. Esta es otra gran diferencia, pero esta vez la saturación del color o la intensidad. Este atributo esta completamente separado del color y de la luminosidad. Si nosotros observamos la Figura 2 nuevamente, podemos ver que la saturación cambia del rojo-púrpura y verde respectivamente como la distancia horizontal del centro cambia. Los colores son apagados cerca del centro y se vuelven mas vivos conforme se alejan del centro. La Figura 3 muestra los adjetivos usados para describir la luminosidad y la saturación del color. Para ver lo que las palabras expresan, volvamos a ver la figura 1 nuevamente.

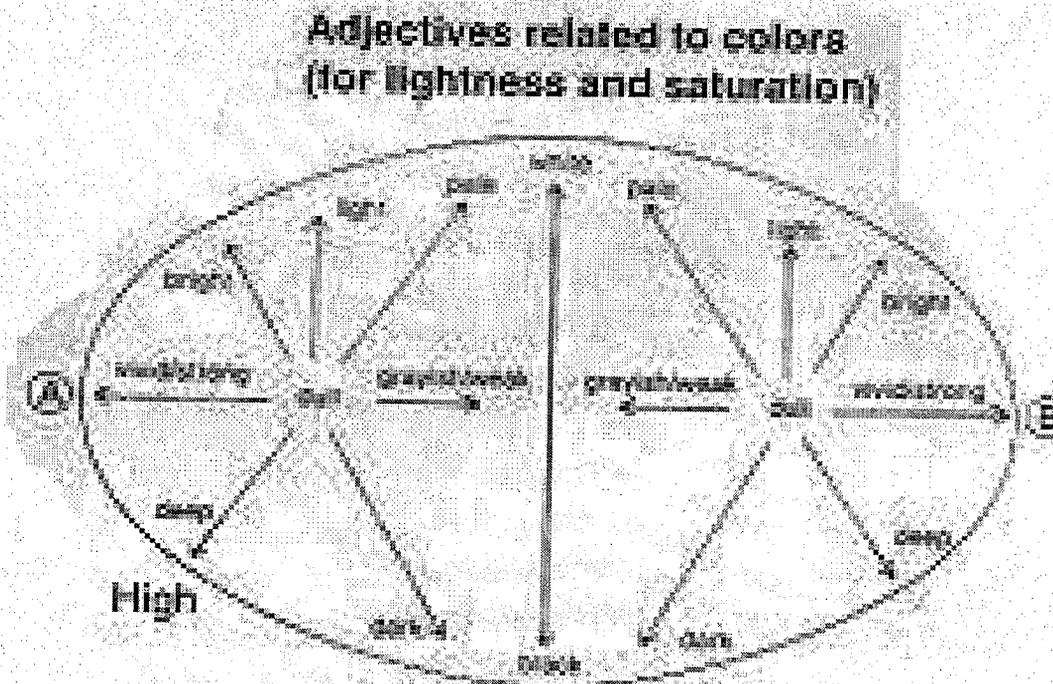


Fig. 3. Relación entre Color, Brillantez y Saturación

2.1.2 Parámetros de Medición del color

El método utilizado para la medición del color es el espacio del color $L^*a^*b^*$, es uno de los parámetros de color más ampliamente usados en todos los campos. En este espacio de color, L^* indica la brillantez, a^* y b^* son las coordenadas cromáticas, en el diagrama mostrado a^* y b^* indican la dirección del color: $+a^*$ es la dirección al rojo, $-a^*$ es la dirección al verde, $+b^*$ es la dirección al amarillo, $-b^*$ es la dirección al azul. El centro es Acromático (gradación del gris sin otro contenido de luz que el blanco de referencia, el cual se haya presente con intensidad comprendida entre los límites extremos del blanco y del negro); los valores de a^* y b^* se incrementan cuando el punto se mueve del centro hacia fuera del círculo como se puede observar en la Figura 4, por lo tanto la saturación también se incrementa.

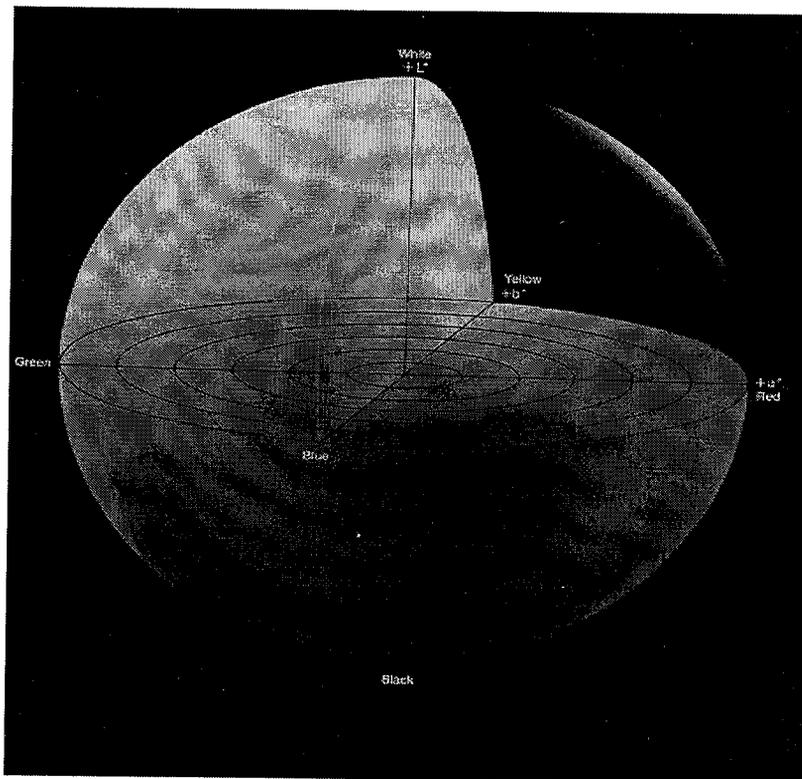


Fig. 4. Esfera del Color

En el espacio $L^* a^* b^*$ la diferencia en color puede ser expresada en un simple valor numérico, ΔE^*_{ab} , el cual indica el tamaño de la diferencia, pero no en que sentido se encuentra la diferencia. ΔE^*_{a} , ΔE^*_{b} , esta expresada por la siguiente ecuación.

$$\Delta E = \sqrt{((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)}$$

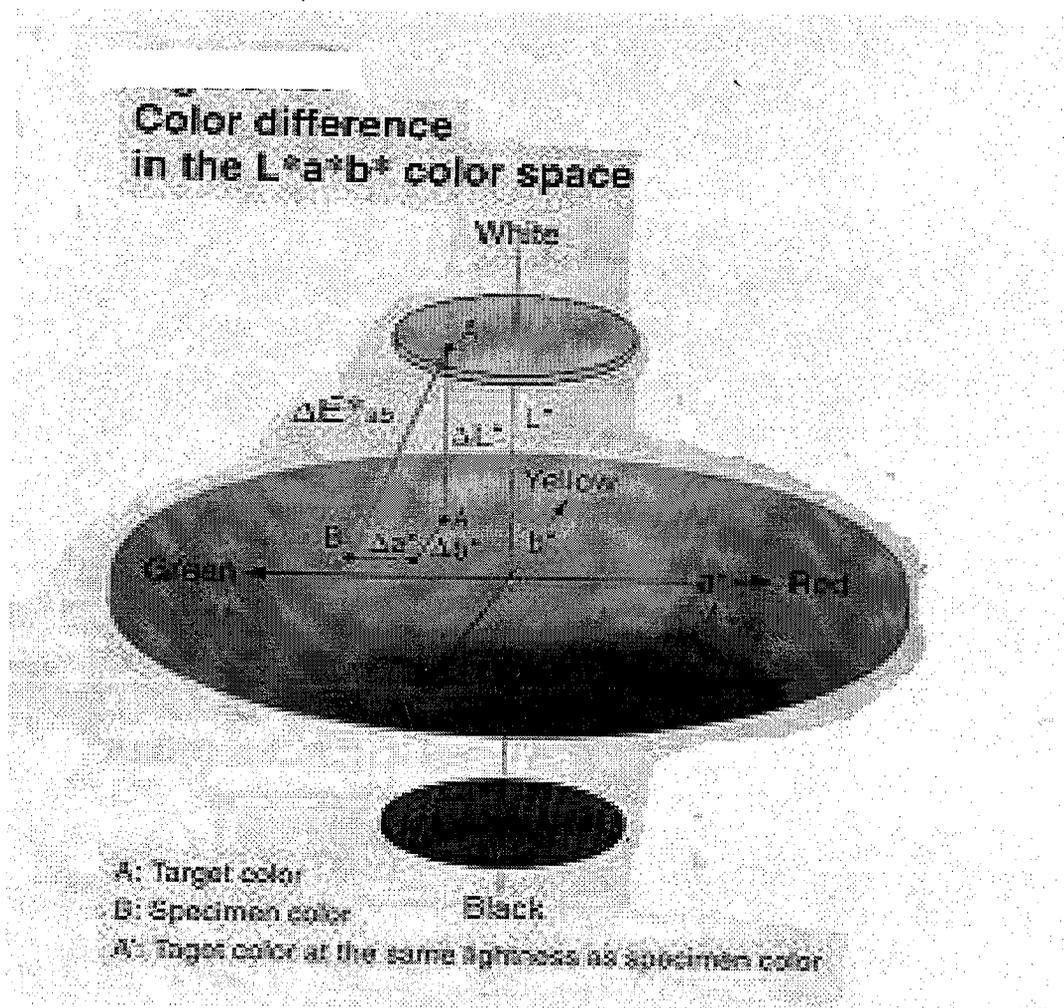


Fig. 5. Diferencia de Color en el espacio "L", "a" , "b"

2.2 Conceptos básicos del color

La frita

- Es una masa que se ha solidificado en forma de vidrio, preferentemente mediante fusión.
- Las fritas se preparan mediante fusión de Feldespato, silica, Fluorita, Nitrato de Potasio, etc.
- La Temperatura del horno de Fusión llega a ser superior a 1200°C.

5 FORMACIÓN DE LA FRITA

- Las composiciones de las fritas fueron halladas por procedimientos puramente experimentales y se mejoraron también de forma empírica.
- Las Fritas son consideradas como una mezcla de silicatos, boratos y aluminatos, en la que pueden encontrarse disueltos o en suspensión los componentes químicos.

Materia prima

- La siguiente es una de las clasificaciones de las materias primas usadas en la fabricación de las Fritas.
- a) Sustancias Refractarias(silica, feldespato, arcilla, etc.).
- b) Fundentes(bórax, carbonato de sodio , carbonato de potasio, etc.).
- c) Agentes enturbiadores (Fluoruros)
- d) Sustancias auxiliares (Agentes oxidantes y fluidificantes, agentes adhesivos y óxidos usados como pigmentos, agentes opacificantes dentro de la frita y añadidos al molino, arcillas, etc.).

Estructura del esmalte

- La estructura del esmalte depende de la superficie metálica sobre la que haya de aplicarse.
- El material principal de las fritas es la silica, que necesariamente se ha de mezclar con otros compuestos, con el fin de que las fritas y esmaltes fundan a temperaturas aceptables y den propiedades físicas y químicas.
- Los esmaltes se aplican sobre lámina ó sobre hierro fundido, cuyas propiedades físicas oscilan dentro de límites estrechos, los propiedades de los esmaltes no pueden cambiar mas que en limites similares.
- Las propiedades físicas de los esmaltes dependen de las materias primas utilizadas y para cada material existen límites.
- Los esmaltes fundentes se deben cocer siempre a temperaturas superiores a los esmaltes cubierta.
- Por lo general se aplican varias capas de esmalte y para que estas se adhieran bien unas a otras es necesario que el esmalte que se cueza sobre una primera capa de esmalte tenga su intervalo de fusión dentro del otro.

Esmalte fundente

- Todos los esmaltes fundentes son recubrimientos que aseguran una unión sólida entre el hierro y el esmalte.
- Esta es su misión fundamental y por ello en la preparación de estos esmaltes se concede la mayor importancia a que cumplan esta finalidad de la mejor forma posible

Esmalte de cubierta para lámina.

- Las cubiertas de esmalte para chapas han de satisfacer determinadas exigencias. Por una parte han de cubrir el esmalte fundente, que la mayoría de las veces no es estético; por otra parte deben poseer buen aspecto, un color determinado y la mayoría de las veces un buen brillo. Deben resistir a los ataques químicos y soportar choques térmicos.

2.3 Sistema de Medición (GAGE R&R)

Generalmente se cree que las mediciones realizadas en algún estudio o experimento son exactas, es conveniente recordar que cualquier tipo de medición esta sujeta a variación o a tendencias ocasionadas por fallas en la calibración de los instrumentos, la intervención de diversas personas en el uso de los instrumentos de medición, las condiciones ambientales, además de la variación inherente el equipo mismo.

El Estudio del Gage RyR es un método usado para analizar un sistema de medición para determinar la cantidad y el tipo de variación (error) cuando se mide algo

El estudio del Gage RyR nos permite:

- Determinar si el error de medición es pequeño y aceptable relativo a la variación del proceso o especificación del producto
- Determinar la confianza de la "certeza" de los datos.
- Obtener una adecuada resolución del Gage.
- Enfocar los esfuerzos de mejora si la variación de la medición es inaceptable.

Los dos factores principales que se analizarán en un sistema de medición son:

La Repetibilidad es la variación en las mediciones obtenidas por un operario empleando el mismo calibrador en la medición de características idénticas de las piezas.

La Reproducibilidad es la variación de las mediciones obtenidas por un operario empleando el mismo instrumento en la medición de características idénticas de las mismas piezas.

Adicional a estas características existen otras fuentes de variación como:

Otras características igualmente importantes son:

La exactitud. Es la diferencia entre el promedio observado en la medición y el valor real.

El valor verdadero se obtiene con un equipo de mayor resolución.

La Estabilidad. Es la diferencia del promedio de por lo menos dos estudios realizados con el mismo instrumento en las mismas piezas en diferentes tiempos y se puede traducir como la capacidad de un instrumento para repetir las mismas dimensiones a través de un periodo de tiempo.

La linealidad. Es la diferencia en la exactitud de los valores a partir de los rangos de operación del instrumento.

La Resolución. Es definida como la cantidad más pequeña que el instrumento de medición es capaz de leer.

Un Sistema de Medición. Es Todo lo asociado con la toma de medidas: La gente, la herramienta de medición, el material, el método y el ambiente, todo conocido como:

Piensa en el "Sistema de Medición" como un sub-proceso que puede agregar variación a los datos de medición. El objetivo es usar un proceso de medición que arroje al sistema la menor cantidad de error de medición.

$$\sigma^2_{Total} = \sigma^2_{Parte-Parte} + \sigma^2_{RpR}$$

The diagram illustrates the equation $\sigma^2_{Total} = \sigma^2_{Parte-Parte} + \sigma^2_{RpR}$. Three arrows point upwards from the text labels below to the corresponding terms in the equation. The first arrow points from "Variación Total de Datos" to σ^2_{Total} . The second arrow points from "Variación causada por las Diferencias entre las Partes" to $\sigma^2_{Parte-Parte}$. The third arrow points from "Variación por error de medición" to σ^2_{RpR} .

Variación Total de Datos

Variación causada por las Diferencias entre las Partes

Variación por error de medición

La variación observada de cualquier grupo de datos es la suma de la variación real de las partes más la variación del sistema de medición.

La validación del sistema de medición antes de llevar a cabo una línea base o un diseño de experimentos es de gran importancia, ya que la toma de las decisiones estará fincada en los resultados obtenidos y estos deben de tener la veracidad suficiente para que las decisiones tomadas no sean en detrimento del proceso en estudio, por lo que se establece como prerequisite la validación del sistema de medición antes de iniciar la medición del proceso.

2.4 Diseño de Experimentos DDE

Un experimento puede ser definido como un estudio en el cual ciertas variables independientes son manipuladas, sus efectos sobre una o más variables dependientes son determinados, y los niveles (valores) de esas variables independientes son asignados de una forma aleatoria a cada unidad experimental en estudio, tal experimento permite al investigador el desarrollo de un modelo estadístico y una estimación de su validez.

Una unidad experimental debe ser cuidadosamente definida. Esta puede ser una parte, una persona, una clase, un lote de partes, un mes, o cualquier otra unidad dependiendo del problema a manejar.

Variable de Respuesta

El estado del problema debe incluir referencias de al menos una característica de la unidad experimental de la cual se obtendrá la información. Dichas características son llamadas respuestas o variables dependientes. La variable de respuesta puede ser cualitativa, tal como si una persona contrajo la polio o no, o cuantitativa tal como el rendimiento en gramos de penicilina por kilogramo de maíz.

Variable dependiente

Muchas variables controlables experimentalmente, llamadas variables independientes o factores, pueden contribuir a al valor de la variable de respuesta. Los valores de los factores son llamados niveles del factor. Los factores cualitativos tiene niveles que varían por categorías en lugar de un grado numérico. Vendedor, maquinaria, y horno son ejemplos de factores cualitativos, los factores cuantitativos por otro lado, tiene niveles que son conteos o dimensiones. Temperatura en grados Fahrenheit, niveles de oxígeno en partes por millón, profundidad de recipiente de pegamento en milésimas son ejemplos de factores cuantitativos. El experimentador debe decidir cuales factores

permanecerán constantes, cuales serán manipulados en ciertos niveles específicos.

Unidades de experimentación

Una unidad experimental pueden ser Individuos, objetos o unidades de material a la cual se le aplica un tratamiento, y se le mide la característica de calidad en estudio.

Aleatoriedad

La aleatorización es la base fundamental del empleo de técnicas estadísticas inferenciales en el diseño de experimental. La aleatorización nos garantiza un orden de aplicación de los tratamientos a las unidades experimentales de tal forma que:

- Cada unidad experimental tiene la misma oportunidad de ser asignada a cualquiera de las condiciones de tratamiento
- Controla la confusión posible a reflejarse en la variable de respuesta entre lo que la unidad experimental por si misma aporte y la variación atribuida al tratamiento

La hipótesis de investigación

Desde luego el objetivo del proyecto de investigación es dar luz en el problema planteado, el siguiente es expresar el problema en términos de hipótesis a probar. Una hipótesis de investigación es una forma de establecer lo que el experimentador espera encontrar en los datos.

Los estadísticos usualmente establecen sus hipótesis en forma nula, desde luego esa es la forma más fácil de probar el planteamiento y establece la no diferencia entre las medias o las varianzas de los tratamientos aplicados a las unidades experimentales.

El análisis

El paso final, análisis, empieza con la colección de datos, los cuales fueron recopilados después de que el experimento se llevo a cabo, se debe de asegurar que estos son fáciles de usar, formatos seguros deben de ser preparados, si el experimento es complicado, se puede correr una corrida piloto para verificar los detalles y asegurar que los puntos críticos fueron asegurados.

3 Desarrollo del Experimento

3.1 Título del experimento

Identificación de las variables independientes cuyo efecto provoca la variación en las piezas esmaltadas en color almendra.

3.2 Objetivos del experimento

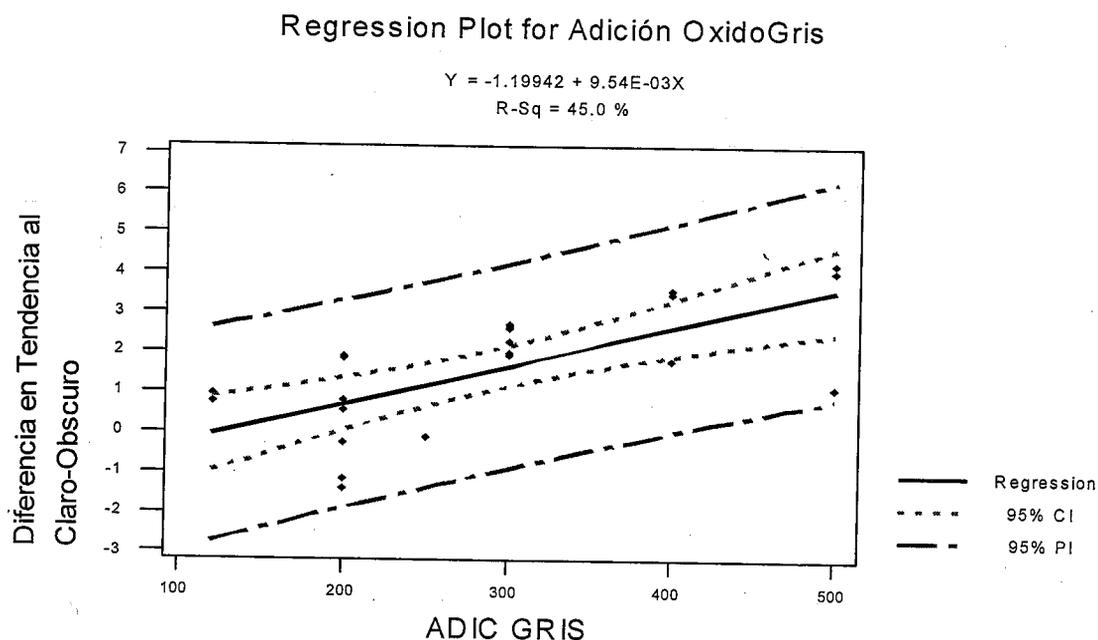
- Identificar y cuantificar el porcentaje de variación que provocan los factores en la variable dependiente
- Determinar las condiciones optimas de operación en el proceso de la igualación de tonos en el esmaltado
- Documentar el proceso de igualación de tonos

3.3 Apoyos relevantes para los Objetivos

La información histórica recabada está referida al comportamiento de la variable de salida del esmalte del proveedor Pemco. Cabe mencionar que para llevar a cabo el ajuste de tono en el esmalte de dicho proveedor se utilizaban tres Óxidos mediante los cuales se hacían las adiciones prácticas necesarias para cumplir con el valor de desviación ΔE del estándar de color, a partir de esta información se llevo a cabo un análisis de regresión con el fin de buscar un patrón de comportamiento en las tendencias de las tres diferentes variables de salida en función de las cantidades adicionadas y considerando los valores iniciales de las variables de salida.

3.3.1 Análisis de la información histórica

Se analizó el comportamiento de las tres diferentes tendencias (Claro - Oscuro / Rojo- Verde/ Amarillo - Azul), con el fin de identificar el efecto de las adiciones de oxido en la variación de cada una de las tendencias, como lo veremos en la siguiente gráfica.



Gráfica 1 Regresión de Adición de Oxido Gris VS Diferencia en tendencia

Análisis del resultados

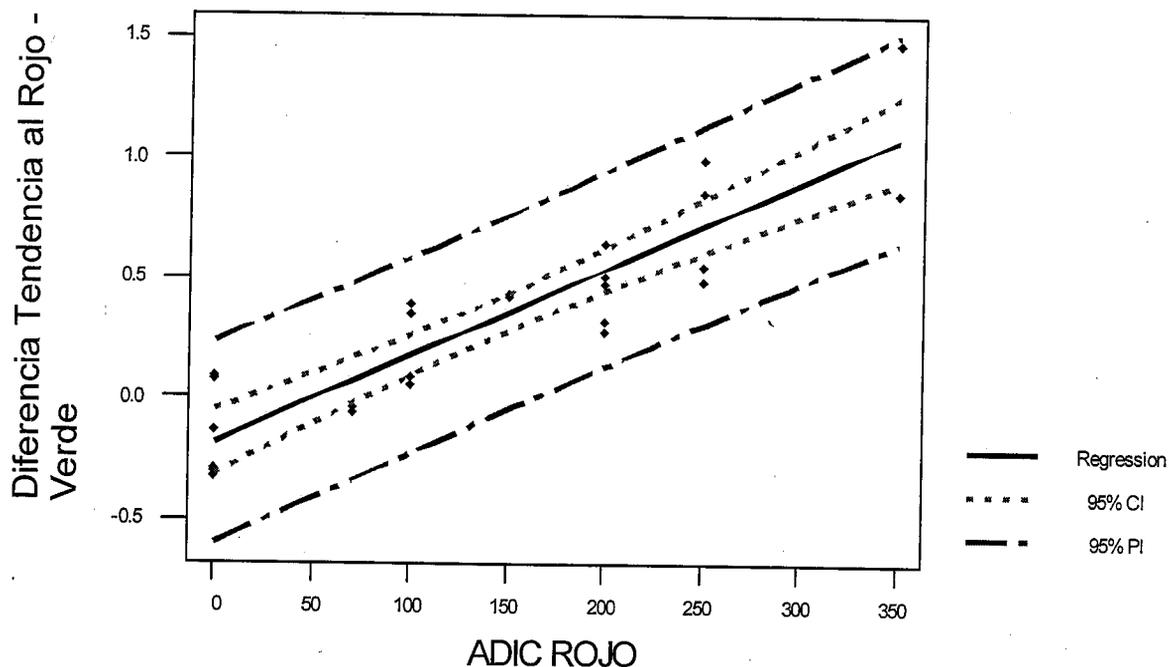
Como podemos ver en la Figura 8, la cantidad adicionada de oxido tiene un efecto inverso en la brillantez (tendencia al claro oscuro) del esmalte, es decir cuanto más oxido se agregue al esmalte tendremos una perdida de brillantez, también podemos observar que la correlación entre la variable de salida y la variable dependiente "L" es de solo el 57 %, lo cual nos indica que tenemos otras fuentes de variación que están influyendo en la variable dependiente.

Análisis del efecto de la cantidad de oxido Rojo.

Regression Plot for Adición Oxido Rojo

$$Y = -1.8E-01 + 3.61E-03X$$

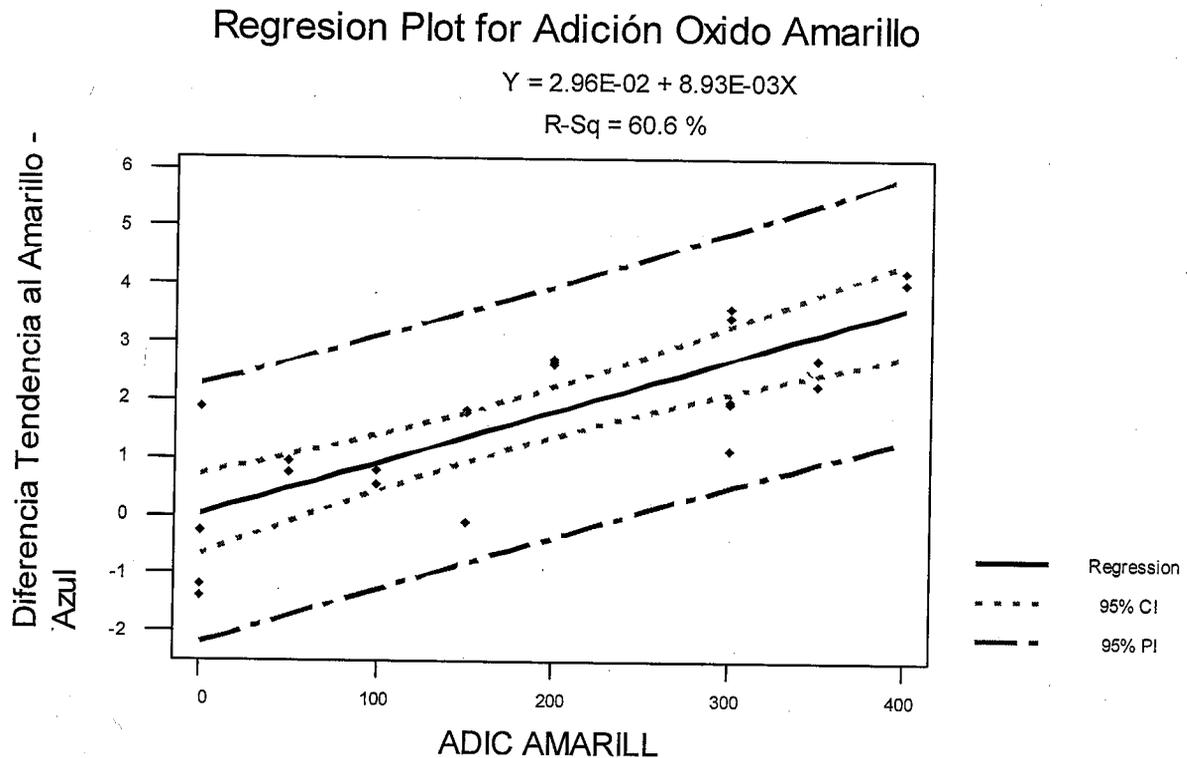
$$R\text{-Sq} = 81.6 \%$$



Gráfica 2. Regresión de Adición de Oxido Rojo VS Diferencia en tendencia

Analizando la gráfica 2 de adición de Oxido Rojo podemos observar que existe un buen valor de correlación entre la variable de independiente y la variable de salida "a" (tendencia al rojo - verde), aún cuando existe menos de un 20 % de variación que no esta siendo explicada por la cantidad de oxido rojo adicionado al esmalte.

Análisis del efecto del Oxido Amarillo en la diferencia en tendencia sobre el amarillo - azul.



Gráfica . 3

Regresión de Adición de Oxido amarillo VS Diferencia en tendencia Al amarillo - azul

Para el caso de la adición de Oxido amarillo observar en la gráfica 3 que existe una correlación positiva y baja (60.6 %), para considerar que estamos hablando de una buena correlación esta necesita ser de al menos 80 %, lo cual al igual que en el caso de la salida de Brillantez nos indica la presencia de otras variables que debemos de considerar en la etapa de la experimentación

Cabe hacer mención que estos análisis se llevaron a cabo en los esmaltes de uno de los dos proveedores que se tienen como alternativos (Pemco), el

proveedor principal en este momento Sep. Del 2002 es el proveedor Ferro Esmaltes Méx., sobre el cual esta desarrollándose el estudio.

3.4 Variable de Respuesta

La variable de respuesta es una variable de tipo continuo y es producto de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de tres variables dependientes a su vez, por tal motivo sobre la base de la opinión de los expertos se tomo la siguiente determinación.

Con fines de análisis y para este caso en particular se analizara cada una de las variables que forman el valor de la desviación de color

$$\Delta E = \sqrt{((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)}$$
, como una "Y" de forma independiente, ya que como se menciona con anterioridad el valor ΔE representa el valor absoluto de un vector en tres dimensiones que no nos permite tener una referencia de dirección de la desviación de nuestro proceso contra el estándar establecido, de tal forma que es de mayor beneficio el conocer en forma independiente el comportamiento de cada una de estas variables de respuesta.

- Y1 = ΔL^* Brillantez (Claro, Oscuro)
- Y2 = Δa^* Dirección al rojo ó verde (+a rojo, -a verde)
- Y3 = Δb^* Dirección al amarillo ó azul (b + amarillo, -b azul)

3.5 Consideraciones sobre los factores

Por otro lado las variables independientes o factores identificados con el equipo de apoyo técnico utilizando la técnica de lluvia de ideas según la metodología del material de capacitación en Seis Sigma de Mabe son las siguientes.

Identificación de las variables independientes X_s (factores)

X1*	Espesor de la aplicación
X2*	Espesor de la base
X3	Posición de quemado
X4*	Temperatura de Quemado
X5*	Velocidad de la Cadena transportadora
X6	Aplicación (operador)
X7*	Proporción de esmaltes (recuperado – virgen)
X8*	Cantidad de esmalte (espesor de la aplicación)
X9*	Cantidad de Oxido Gris (Cancelada por cambio de proveedor)
X10	Cantidad de Oxido Rojo B120
X11	Cantidad de Oxido Amarillo 5127
X12*	Tamaño de la pieza
X13*	Carga del Horno

* Variables de ruido

Clasificación de las variables independientes

Las variables independientes son aquellos factores cuyo efecto se ve reflejado en la variable de salida y estas variables se pueden clasificar de la siguiente manera:

VARIABLES INDEPENDIENTES

Controlables

No Controlables

Variables Ocultas

Son variables que pueden afectar los resultados pero que no son conocidas, no son controladas ni medidas

Variables de Ruido

Son aquellas variables que pueden tener un efecto sobre la variable de salida las podemos medir pero que no las podemos controlar

Para nuestro caso podemos identificar como variables controlables y medibles las siguientes:

- X3 Posición de quemado
- X6 Aplicación (operador)
- X10 Cantidad de Oxido Rojo B120
- X11 Cantidad de Oxido Amarillo 5127
- X12 Tamaño de la pieza

Como variables de ruido podemos identificar a las siguientes:

- X1* Espesor de la aplicación
- X2* Espesor de la base
- X4* Temperatura de Quemado
- X5* Velocidad de la Cadena transportadora
- X7* Proporción de esmaltes (recuperado – virgen)
- X8* Cantidad de esmalte (espesor de la aplicación)
- X9* Cantidad de Oxido Gris (Cancelada por cambio de proveedor)
- X13* Carga del Horno

3.6 Restricciones sobre el experimento

Los problemas para llevar a cabo la experimentación en piso son múltiples y de diversa índole, y van desde la resistencia que muestran las personas con mayor experiencia en el área hasta los problemas en cuanto al costo que esto implica sobretodo cuando se trata de un proceso continuo como lo es el esmaltado, la cuestión económica en el caso particular de esta experimento implico el sacrificar la aleatoriedad en la aplicación de los operadores debido al costo que implicaba tener al mismo tiempo a las dos personas que se encargan de hacer las aplicaciones en las igualaciones de tono, sin embargo uno de los principales problemas que podemos detectar cuando incursionamos en una área es el desconocimiento de la teoría que lo gobierna, razón por la cual es una doble tarea al querer solucionar un problema, es decir en primera instancia debemos conocer la bases teóricas del problema y posteriormente debemos de identificar la herramienta que nos puede ayudar a explicar de la mejor forma posible el comportamiento del proceso.

3.7 Esquema Experimental

El tipo de diseño seleccionado es un Arreglo de Diseño factorial completo, debido a que se tiene la posibilidad de correr el diseño completo. Los experimentos de factoriales completos son aquellos en los que todas las combinaciones de todos los factores de todos los niveles son probadas. La propuesta de diseño es un diseño completo 2^5 , es decir cinco variables en dos niveles cada una de ellas con una sola replica, el diseño quedo definido a través del análisis de las variables que si se pueden manipular y dejando fijas las que son parámetros de proceso como lo son la velocidad de la cadena y la temperatura del horno, etc.

Unidad experimental del diseño

La unidad experimental es el individuo, objeto o unidad de material a la que se le aplica un tratamiento, a esta se le mide la variable de respuesta bajo estudio, para nuestro caso la unidad experimental son las partes a aplicar es decir piezas físicas de la estufa las cuales en condiciones normales de proceso son esmaltadas tanto en colores almendra como blancos, esta unidad experimental tiene una primera aplicación de un esmalte base, el cual tiene la función de servir de anclaje para la aplicación del esmalte de acabado en alguno de los colores mencionados, una factor implícito en esta pieza es el tamaño y pretendemos analizar el efecto de este en el cambio del tono.

Aleatoriedad en el diseño a ejecutar

La aleatoriedad es un factor que se debe de tomar en cuanto para evitar el efecto de variables ocultas las cuales pueden estar cambiando a través del tiempo, por tal motivo es recomendable en la medida de lo posible al momento de llevar a cabo un Diseño de Experimentos, para nuestro caso una cuestión de recursos provoco el que en el momento de aplicación por los operadores se tuvieran que hacer los arreglos de tal forma que las tratamientos de uno de ellos

se tuvieran que correr primero debido al costo que implica el pago del tiempo extra de los operadores.

Variables de respuesta:

3 Variables dependientes

Variables Independientes:

5 Variables controlables

8 Variables No controlables

Las Variables a manipular son:

X3 Posición de quemado

La posición de quemado esta referida a la posición que guarda la pieza en la percha del horno, es decir si la pieza está expuesta directamente a los tubos radiantes o bien recibe el calor de forma indirecta.

X6 Operador

La variable operador se refiere al método de aplicación de dos de los cuatro operadores encargados de hacer las igualaciones de tonos en los esmaltes.

X10 Cantidad de Oxido Rojo B120

Los niveles de Óxidos se harán en base a las cantidades teóricas que normalmente se manejan en la práctica, para nuestro caso los niveles bajos de las cantidad de oxido será de 0.5 gramos y el nivel alto de 1.0 gramos por cada litro de esmalte (1.72 Kg.)

X11 Cantidad de Oxido Amarillo 5127

Ídem al punto anterior.

X12 Tamaño de la pieza

La variable tamaño de la pieza será manejada en dos niveles, para este caso los dos niveles serán: nivel bajo copete de estufa (pieza chica), y nivel alto cubierta estufa (pieza grande).

La razón por la cual se definieron como variables de ruido es la siguiente:

6 X1* ESPESOR DE LA APLICACIÓN

El espesor de la aplicación es una variable que depende a su vez de dos variables más, una que es la aplicación manual y otra la aplicación automática. Por lo que se considera que es una variable que puede afectar en el resultado de los valores del tono, pero en este momento no es técnicamente posible su control.

7 X2* ESPESOR DE LA BASE

El espesor de la pieza será medida pero no controlada.

8 X4* TEMPERATURA DE QUEMADO

La temperatura de quemado aún cuando es una variable que puede influir significativamente en el resultado no es una variable que se pueda manipular debido a las características del proceso y al riego que implica una variación de la temperatura en el resto de la producción.

9 X5* VELOCIDAD DE LA CADENA TRANSPORTADORA

La velocidad de la cadena transportadora es también una condición que por razones similares a las de la temperatura del horno no podemos manipular, por lo que no se consideró entre las variables a manipular.

10 X7* Proporción de esmaltes (recuperado – virgen)

Pendiente su consideración para correr un segundo Diseño de experimentos

11 X8*

Cantidad de esmalte (espesor de la aplicación)

Esta variable será medida de forma indirecta a través de las dos personas que aplican, ídem a la variable X2.

12 X9*

CANTIDAD DE OXIDO GRIS

Esta variable quedo descartada en la semana 32 del 02 debido a un cambio del proveedor de esmalte

13 X13*

Carga del Horno

Esta variable no se puede manipular debido a las necesidades de producción, por lo que queda restringida su manipulación

3.9 Resultados sistema de medición

3.9.1 Análisis de Resultados del Sistema de Medición

Para la validación del sistema de medición se decidió utilizar el método largo según el Material de Capacitación Seis Sigma de Mabe capítulo 6(Gage R&R), para lo cual se debe contar con los siguientes elementos.

Partes (Cantidad 10 piezas)

Piezas que abarquen el rango normal del proceso, se colectaron 10 cubiertas de estufa (Unidad experimental) de 20" en los diferentes rangos de tono que se presentan en la producción normal

Operador (2 ó 3 Operadores)

Los operadores deben ser preferentemente las personas que normalmente efectúan las mediciones del proceso. Los operadores encargados de llevar a cabo las lecturas son los que llevan a cabo las igualaciones y aplicaciones de las piezas de prueba para la liberación de los tonos.

Equipo de medición

Nombre: Espectofotómetro

Marca: Minolta

Resolución: 0.01

Intervalo fotométrico: 0 - 100 % R

Ecuación del color : CIE L*a* b*]

Fecha de calibración: Mayo del 2002

Fecha de vencimiento: Mayo del 2003

Desarrollo

Se desarrolla una estructura aleatoria para llevar a cabo dos lecturas por operador según la estructura mostrada, para dar un total de 40 mediciones, al efectuar las mediciones se debe procurar que el instrumento de medición sea entregado entre operadores marcando ceros, esto con el fin de evitar el sesgo

de las mediciones del segundo operador en sus lecturas, una vez efectuadas las lecturas se lleva a cabo el análisis de los resultados del primer sistema de medición.

Fig. 9. Formato de recolección de datos validación sistema de Medición

Parte	Operador	Lectura "L"	Lectura "a"	Lectura "b"
1	1	0.26	-0.44	0.53
2	1	0.41	-0.34	0.19
3	1	0.36	-0.29	-0.25
4	1	-0.18	-0.47	-0.18
5	1	0.24	-0.27	-0.82
6	1	0.09	-0.28	-0.71
7	1	0.15	-0.31	-1.47
8	1	0.38	-0.53	-1.2
9	1	0.34	-0.23	0.07
10	1	0.45	-0.48	0.44
1	1	0.28	-0.47	0.59
2	1	0.41	-0.32	0.26
3	1	0.37	-0.29	-0.27
4	1	-0.19	-0.52	-0.23
5	1	0.26	-0.3	-0.81
6	1	0.1	-0.29	-0.69
7	1	0.1	0.22	1.53

Fig. 10. Resultados Primer Gage R&R para la variable de salida "L"

Proyecto : Igualación de Tonos		Validación del Sistema de Medición (Gage R & R)			
6 Junio 2002		Variable " L" Tendencia al Claro - Oscuro			
Two-Way ANOVA Table With Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parte	9	1.42406	0.158229	29.1204	0.00001
Operador	1	0.02652	0.026522	4.8812	0.05450
Operador*Parte	9	0.04890	0.005434	1.1567	0.37203
Repeatability	20	0.09395	0.004698		
Total	39	1.59344			
Two-Way ANOVA Table Without Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parte	9	1.42406	0.158229	30.842	0.00000
Operador	1	0.02652	0.026522	2.842	0.02756
Repeatability	29	0.14285	0.004926		
Total	39	1.59344			
Gage R&R					
Source	Var. Gage	StdDev	5.15*Sigma		
Total Gage R&R	0.006006	0.077497	0.39911		
Repeatability	0.004926	0.070185	0.36145		
Reproducibility	0.001080	0.032861	0.16923		
Operador	0.001080	0.032861	0.16923		
Part-To-Part	0.038326	0.195770	1.00821		
Total Variation	0.044332	0.210551	1.08434		
Source	%Contribution	%Study Var			
Total Gage R&R	13.55	36.81			
Repeatability	11.11	33.33			
Reproducibility	2.44	15.61			
Operador	2.44	15.61			
Part-To-Part	86.45	92.98			
Total Variation	100.00	100.00			
Number of Distinct Categories = 4					

Análisis de resultados, De acuerdo al porcentaje del estudio de variabilidad de 36.81 %, y a un número de categorías de 4 podemos concluir que el sistema de medición no es aceptable debido al alto porcentaje de variación con el que

contribuye, así mismo podemos ver que uno de los factores contribuidores a la variabilidad es la reproducibilidad, es decir la variación atribuible a los operadores.

Fig. 11. Resultados Primer Gage R&R para la variable de salida "a "

Proyecto : Igualación de Tonos		Validación del Sistema de Medición (Gage R & R)			
6 Junio 2002		Variable " a " Tendencia al Rojo - Verde			
Gage R&R for a*					
Two-Way ANOVA Table With Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parte	9	0.44939	4.99E-02	691.369	0.00000
Operador	1	0.01600	1.60E-02	221.538	0.00000
Operador*Parte	9	0.00065	7.22E-05	0.301	0.96577
Repeatability	20	0.00480	2.40E-04		
Total	39	0.47084			
Two-Way ANOVA Table Without Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parte	9	0.44939	4.99E-02	255.9	0.00E+00
Operador	1	0.01600	1.60E-02	81.538	3.96E-10
Repeatability	29	0.00545	1.88E-04		
Total	39	0.47084			
Gage R&R					
Source	SS	StdDev	5.15*Sigma		
Total Gage R&R	0.000979	0.031282	0.161100		
Repeatability	0.000188	0.013709	0.070600		
Reproducibility	0.000791	0.028118	0.144806		
Operador	0.000791	0.028118	0.144806		
Part-To-Part	0.012436	0.111517	0.574313		
Total Variation	0.013415	0.115821	0.596480		
Source	%Contribution	%Study Var			
Total Gage R&R	7.29	27.01			
Repeatability	1.40	11.84			
Reproducibility	5.89	24.28			
Operador	5.89	24.28			
Part-To-Part	92.71	96.28			
Total Variation	100.00	100.00			
Number of Distinct Categories = 5					

Análisis de resultados de la validación del sistema de medición para la variable de salida "a", podemos observar una situación similar a los resultados obtenidos en el análisis de la variable de salida "L", es decir tenemos un alto porcentaje de variación aún cuando podríamos aprobar el estudio de gage R&R, como gage condicionado debido al alto porcentaje de variación.

Fig. 12. Resultados Primer Gage R&R para la variable de salida "b"

Proyecto : Igualación de Tonos		Validación del Sistema de Medición (Gage R &R)			
6 Junio 2002		Variable " b " Tendencia al Amarillo - Azul			
Gage R&R for b*					
Two-Way ANOVA Table With Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parte	9	12.3065	1.36739	7.22929	0.00350
Operador	1	0.0031	0.00306	0.01619	0.90154
Operador*Parte	9	1.7023	0.18915	3.58078	0.00839
Repeatability	20	1.0564	0.05282		
Total	39	15.0683			
Gage R&R					
Source	VarComp	StDev	5.15*Sigma		
Total Gage R&R	0.347828	0.58985	1.79131		
Repeatability	0.05282	0.229831	1.18363		
Reproducibility	0.06816	0.261078	1.34455		
Operador	0.00000	0.000000	0.00000		
Operador*Parte	0.06816	0.261078	1.34455		
Part-To-Part	0.29456	0.542735	2.79508		
Total Variation	0.41555	0.644628	3.31983		
Source	%Contribution	%Study Var			
Total Gage R&R	29.11	53.96			
Repeatability	12.71	35.65			
Reproducibility	16.40	40.50			
Operador	0.00	0.00			
Operador*Parte	16.40	40.50			
Part-To-Part	70.89	84.19			
Total Variation	100.00	100.00			

Number of Distinct Categories = 2

Para el caso de la validación del sistema de medición sobre la salida "b", observamos un alto porcentaje de variación aportado el sistema de medición, al igual que en los dos casos anteriores observamos que una de las variables más significativas es la reproducibilidad, es decir la variación existente entre operadores, por lo tanto el gage es rechazado.

Resumen Análisis de Resultados del primer Estudios de Gage R & R

Como podemos observar en el resumen de la Tabla 1, en ninguno de los tres casos el sistema de medición es aceptable, y según el análisis de resultados observamos que uno de los principales contribuidores a la variación es la reproducibilidad, es decir la variación atribuible al operador.

Tabla 1. Resumen de resultados obtenidos en la primera validación del sistema de medición.

Variable	% de Variación	Número de Categorías	El gage es
Requicito	Menor a 20 %	Mayor a 4 Categorías	Aceptable.?
" L "	36.81	4	NO
" a "	27.01	5	Condicionado
" b "	53.96	2	NO

Las condiciones para aprobación y rechazo de un sistema de medición se tomaron en base al material de capacitación para Seis Sigma de Mabe.

(porcentaje de variación menor al 20 % y número de categorías distintivas mayor a 4)

Por lo que después de este primer Gage R & R, se procedió a evaluar el método utilizado por cada uno de los operadores, encontrando que una de las

condiciones que se deben de cuidar es la de las mediciones en un lugar específico y procurando que el nivel de iluminación sea el mismo en cualquier momento que se lleven a cabo las mediciones, por lo tanto después de haber probado un método se concluye que el cuidado de las siguientes condiciones contribuyen a reducir la variación en el sistema de medición:

Las condiciones que se deben de controlar para reducir la variabilidad del sistema de Medición en las lecturas posteriores son:

- a) Efectuar siempre las mediciones en la misma ubicación de la mesa del Laboratorio.
- b) Evitar la obstrucción del nivel de iluminación en el momento de efectuar la lectura
- c) Efectuar la calibración con el patrón de color antes de llevar a cabo las mediciones
- d) Sujetar firmemente el espectrofotómetro antes de apretar el botón de disparo
- e) Evitar cualquier movimiento al momento de apretar el botón de disparo

Adicionales al cuidado de estas condiciones se debe de contemplar la posibilidad de llevar a cabo las mediciones de tonos en una cabina especial, la cual deberá de reunir las condiciones y especificaciones necesarias con el fin de protegernos de la mayor variabilidad posible al momento de efectuar las mediciones de partes en el proceso normal de producción.

3.8 Desarrollo del Experimento

A continuación se presenta la secuencia de ejecución del experimento, el cual se llevo a cabo gracias a la participación de dos de los operadores del área de Molinos los cuales se encargaron de la aplicación manual de las unidades experimentales llevando la siguiente secuencia.

- a) Recopilación de las unidades experimentales (partes a esmaltar)
- b) Identificación de cada unidad experimental (numeración)
- c) Medición del espesor de la base de esmalte
- d) Verificación de la densidad y el pegue del esmalte
- e) Llenado de 32 recipientes de un litro con esmalte
- f) Pesado de las cantidades de Oxido para cada tratamiento
- g) Adición de urea a cada deposito de esmalte
- h) Adición de los niveles de oxido y mezclado
- i) Identificación de cada recipiente según el tratamiento
- j) Aplicación de cada unidad experimental con el correspondiente tratamiento
- k) Re identificación de las unidades experimentales
- l) Secado de las unidades experimentales
- m) Colgado en el horno según la posición
- n) Quemado de las partes
- o) Descolgado
- p) Medición del espesor del acabado en color
- q) Medición de los parámetros de tono ("L", "a" y "b")
- r) Recopilación de los datos
- s) Cargado de Información en Minitab
- t) Análisis de Información
- u) Conclusiones

Después de haber corroborado la efectividad de las medidas anteriores mediante un gage de prueba se llevo a cabo un segundo intento con tres operadores y llevando a cabo las mediciones de acuerdo al formato propuesto en la Figura 9 con los siguientes resultados.

Fig. 13. Resultados Segundo Gage R&R para la variable de salida "L"

Proyecto : Igualación de Tonos		Validación del Sistema de Medición (Gage R & R)			
11 Junio 2002		Variable " L" Tendencia al Claro - Oscuro			
Gage R&R for L*					
Gage name: "L" Tendencia al Claro - Oscuro					
Date of study: 11 Jun 02					
Two-Way ANOVA Table With Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parte	9	1.31564	0.146182	711.157	0.00000
Operador	1	0.00025	0.000250	1.216	0.29872
Operador*Parte	9	0.00185	0.000206	1.644	0.16946
Repeatability	20	0.00250	0.000125		
Total	39	1.32024			
Gage R&R					
Source	VarComp	StdDev	5.15*Sigma		
Total Gage R&R	0.000167	0.012942	0.066652		
Repeatability	0.000125	0.011180	0.057579		
Reproducibility	0.000043	0.006519	0.033574		
Operador	0.000002	0.001491	0.007677		
Operador*Parte	0.000040	0.006346	0.032684		
Part-To-Part	0.036494	0.191034	0.983827		
Total Variation	0.036662	0.191472	0.986083		
Source	%Contribution	%Study Var			
Total Gage R&R	0.46	6.76			
Repeatability	0.34	5.84			
Reproducibility	0.12	3.40			
Operador	0.01	0.78			
Operador*Parte	0.11	3.31			
Part-To-Part	99.54	99.77			
Total Variation	100.00	100.00			
Number of Distinct Categories = 21					

Gage Aceptado

Como podemos observar ahora la variabilidad se ha reducido de forma significativa, por lo que para este caso cumplimos con el requisito de tener una variabilidad menor al 20 % y un número de categorías mayor a 4

Fig. 14. Resultados Segundo Gage R&R para la variable de salida "a"

Proyecto : Igualación de Tonos		Validación del Sistema de Medición (Gage R & R)			
11 Junio 2002		Variable " a" Tendencia al Rojo - Verde			
Gage R&R for a*					
Two-Way ANOVA Table With Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parte	9	0.48581	5.40E-02	168.100	0.00000
Operador	1	0.00001	1.00E-05	0.031	0.86383
Operador*Parte	9	0.00289	3.21E-04	0.747	0.66375
Repeatability	20	0.00860	4.30E-04		
Total	39	0.49731			
Two-Way ANOVA Table Without Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parte	9	0.48581	5.40E-02	136.239	0.0000
Operador	1	0.00001	1.00E-05	0.025	0.8749
Repeatability	29	0.01149	3.96E-04		
Total	39	0.49731			
Gage R&R					
Source	VarComp	StdDev	5.15*Sigma		
Total Gage R&R	0.000396	0.019905	0.102510		
Repeatability	0.000396	0.019905	0.102510		
Reproducibility	0.000000	0.000000	0.000000		
Operador	0.000000	0.000000	0.000000		
Part-To-Part	0.013396	0.115740	0.596059		
Total Variation	0.013792	0.117439	0.604810		
Source	%Contribution	%Study Var			
Total Gage R&R	2.87	16.95			
Repeatability	2.87	16.95			
Reproducibility	0.00	0.00			
Operador	0.00	0.00			
Part-To-Part	97.13	98.55			
Total Variation	100.00	100.00			
Number of Distinct Categories = 8					

Gage Aceptado

Podemos observar una situación similar al resultado obtenido en la variable de salida "L", para este caso se cumple el requisito de tener un porcentaje de variación menor a 20 % y un valor de categorías mayor a 4.

Fig. 15. Resultados Segundo Gage R&R para la variable de salida "b "

Proyecto : Igualación de Tonos		Validación del Sistema de Medición (Gage R & R)			
11 Junio 2002		Variable " b" Tendencia al Amarillo - Azul			
Gage R&R for b*					
Two-Way ANOVA Table With Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parte	9	17.5940	1.95489	3610.87	0.00000
Operador	1	0.0009	0.00090	1.67	0.22883
Operador*Parte	9	0.0049	0.00054	0.96	0.49740
Repeatability	20	0.0113	0.00056		
Total	39	17.6110			
Two-Way ANOVA Table Without Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parte	9	17.5940	1.95489	3516.31	0.0000
Operador	1	0.0009	0.00090	1.62	0.2127
Repeatability	29	0.0161	0.00056		
Total	39	17.6110			
Gage R&R					
Source	VarComp	StdDev	5.15*Sigma		
Total Gage R&R	0.00057	0.023943	0.12331		
Repeatability	0.00056	0.023579	0.12143		
Reproducibility	0.00002	0.004163	0.02144		
Operador	0.00002	0.004163	0.02144		
Part-To-Part	0.48858	0.698987	3.59978		
Total Variation	0.48916	0.699397	3.60189		
Source	%Contribution	%Study Var			
Total Gage R&R	0.12	3.42			
Repeatability	0.11	3.37			
Reproducibility	0.00	0.60			
Operador	0.00	0.60			
Part-To-Part	99.88	99.94			
Total Variation	100.00	100.00			
Number of Distinct Categories = 41					

Gage Aceptado

Como podemos observar en la figura 15, la validación del sistema de medición para la variable de salida "b" es satisfactorio dado que tanto el porcentaje de variación como el número de categorías son adecuadas

Conclusión de la validación del sistema de medición.

En este segundo Gage como podemos observar en la Tabla 2, los resultados fueron más satisfactorios comparados con los primeros valores obtenidos, por lo tanto podemos considerar que la variación aportada por el sistema de medición es lo suficientemente pequeña como para poder tener confianza en las mediciones efectuadas sobre el proceso y poder diferenciar adecuadamente la variación del proceso.

Tabla 2. Resumen de resultados obtenidos en la segunda validación del sistema de medición.

Variable Requicito	% de Variación Menor a 20 %	Número de Categorías Mayor a 4 Categorías	El gage es Aceptable.?
" L "	6.76	21	SI
" a "	16.95	8	SI
" b "	3.42	41	SI

3.9.2 Análisis de Resultados de la variable de respuesta $Y_1 = L^*$

Verificando los supuestos sobre los residuales

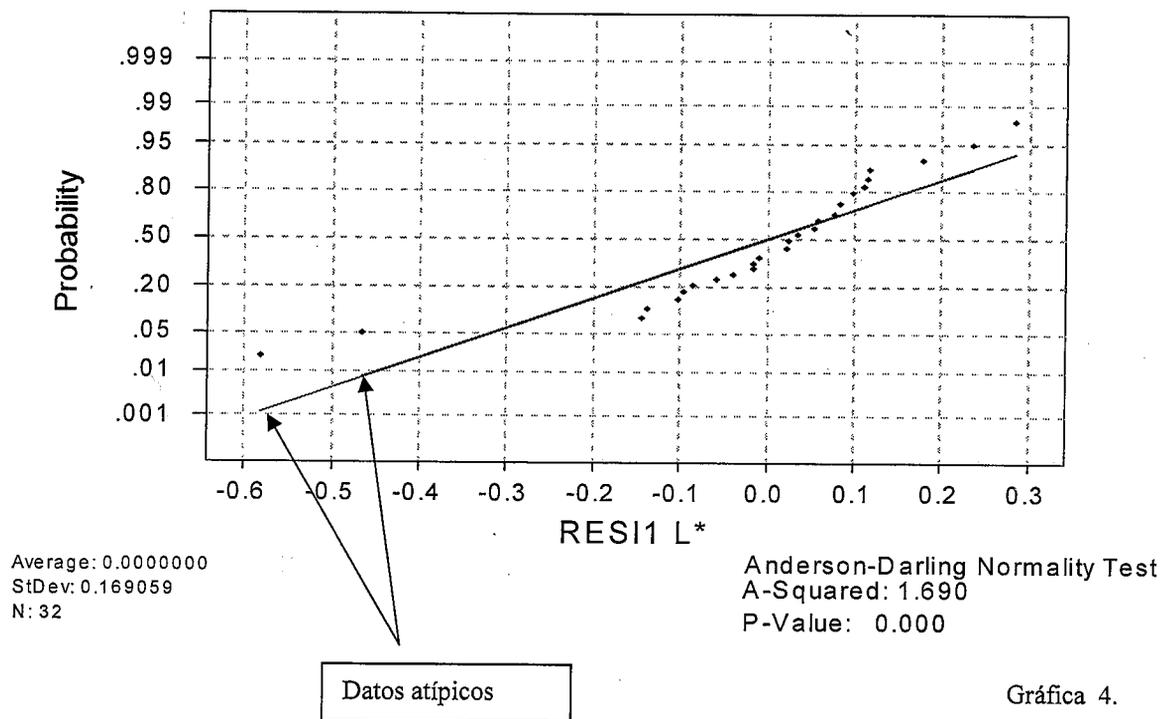
Normalidad

Distribuidos de forma aleatoria

Media igual a cero

Desviación estándar pequeña (cercana a cero)

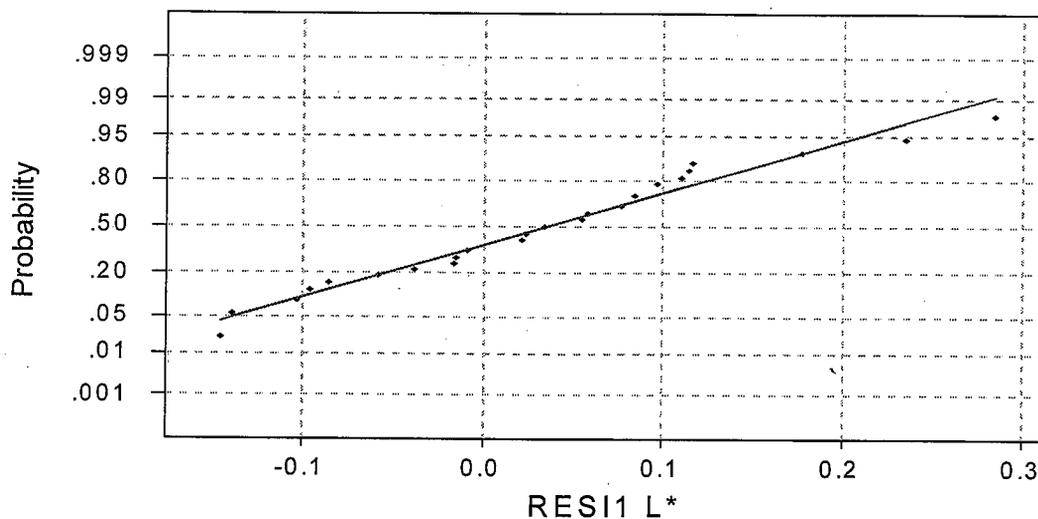
Normal Probability Plot



Podemos ver en la Gráfica 4, de normalidad sobre los residuales que en base a un valor de $P < 0.05$, rechazamos la hipótesis nula, por lo tanto los datos no se comportan como una normal, algo que podemos observar también es que aparecen dos datos atípicos, lo cuales nos están provocando la falta de normalidad, estos datos corresponden a las lecturas 5 y 29, suprimiendo estos dos valores de residuales y probando nuevamente normalidad tenemos:

Cabe aclarar que las lecturas de los datos atípicos corresponden a dos piezas que presentaron los espesores más altos en el esmaltado color almendra.

Normal Probability Plot



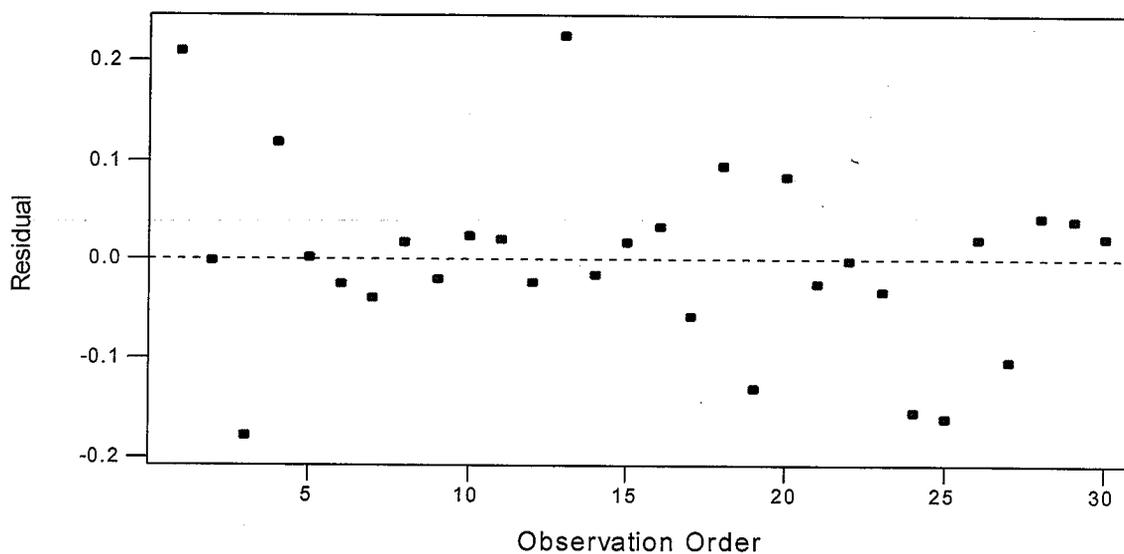
Average: 0.0349583
StDev: 0.100457
N: 30

Anderson-Darling Normality
Test A-Squared: 0.281
P-Value: 0.616

Gráfica 5

De los resultados observados en la gráfica 5, no podemos rechazar H_0 con un nivel de confianza del 95 % asumimos que los datos se comportan como una distribución normal.

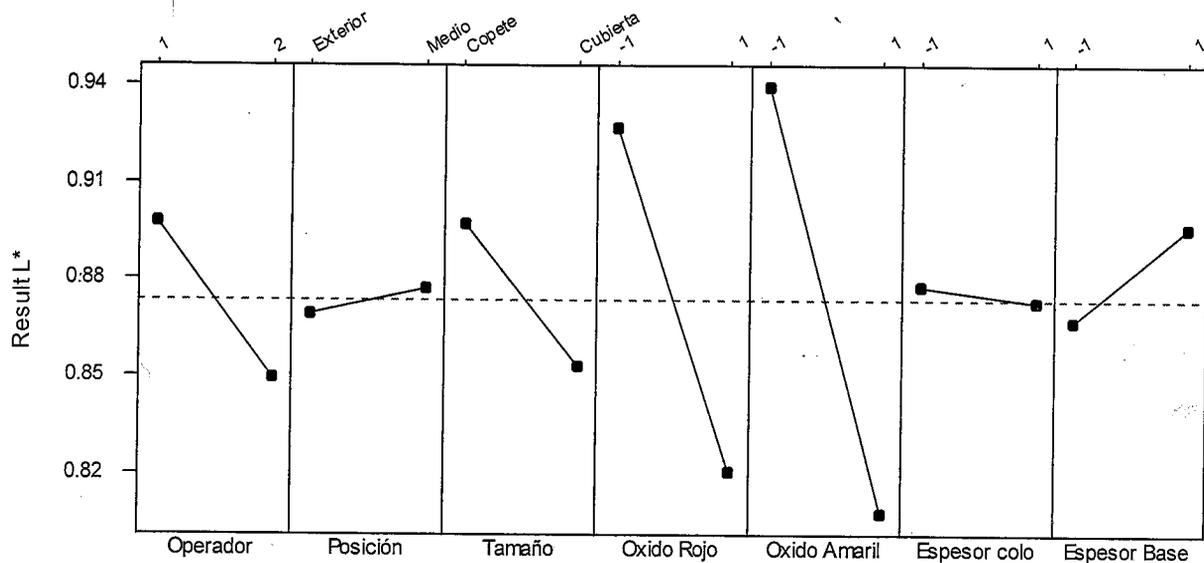
Residuals Versus the Order of the Data (response is Result L *)



Podemos observar en la gráfica 6 una distribución aleatoria de los residuales vs. orders, por lo tanto se cumple el supuesto de aleatoriedad de los residuales.

Se genera la Gráfica 7 de Efectos principales para observar cuales de ellos aparecen como significativos y cuales de ellos podemos eliminar para efectuar el análisis sobre el modelo ajustado.

Main Effects Plot (data means) for Result L*



Gráfica 7

De efectos principales sobre la variable "L"

Como podemos observar en la gráfica de efectos principales solamente los siguientes factores:

Oxido Rojo

Oxido Amarillo

Aparecen con una pendiente pronunciada, lo cual nos indica un efecto de aproximadamente una décima sobre el valor de salida debida al cambio de nivel en dichos factores.

Efectuando el análisis con el modelo ajustado tenemos los siguientes resultados.

Fractional Factorial Fit

Estimated Effects and Coefficients for Result (coded units)

Term	Effect	Coef	StDev Coef	T	P
Constant		0.87339	0.01794	48.70	0.000
Posición	0.00821	0.00411	0.01794	0.23	0.821
Oxido Ro	-0.09768	-0.04884	0.01794	-2.72	0.011
Oxido Am	-0.12482	-0.06241	0.01794	-3.48	0.002

Analysis of Variance for Result (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.20111	0.20111	0.067036	6.98	0.001
Residual Error	26	0.24979	0.24979	0.009607		
Lack of Fit	4	0.01040	0.01040	0.002599	0.24	0.913
Pure Error	22	0.23939	0.23939	0.010881		
Total	29	0.45090				

Estimated Coefficients for Result using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.87339
Posición	0.00411
Oxido Ro	-0.04884
Oxido Am	-0.06241

Análisis de Resultados

En la hoja de análisis podemos ver que para la variable de salida L* (Brillantez), solamente el óxido amarillo y el oxido rojo aparecen como variables significativas con un valor de probabilidad menor al 5 %, por tanto sobre la base de las siguientes hipótesis tenemos.

Ho El cambio de un nivel alto a un nivel bajo del factor Oxido Amarillo no tiene algún efecto sobre la variable de salida L*

Ha El cambio de un nivel alto a un nivel bajo del factor Oxido Amarillo si tiene algún efecto sobre la variable de salida L*

Por lo tanto:

Oxido Amarillo.

Con un nivel de confianza del 95 % y

Un valor de $P = 0.02 < 0.05$

Oxido Rojo

Con un nivel de confianza del 95 % y

Un valor de $P = 0.011 < 0.05$

Aceptamos la hipótesis alterna

Los factores; Oxido Amarillo y el Oxido Rojo son variables significativas sobre la variable de salida L^*

Analizando la significancia estadística de la falta de ajuste del modelo

En base al valor de probabilidad desplegado en la hoja de resultados podemos concluir que .

Con un nivel de confianza del 95 % y

Un valor de $P = 0.913 > 0.05$, no podemos rechazar la hipótesis nula de falta de ajuste, es decir para este caso la falta de ajuste no es significativa.

Analizando el porcentaje de variación explicada por el modelo

Analizando el porcentaje de error, es decir la variación no explicada por el modelo podemos observar que tenemos un error alto.

Pure Error	22	0.23939	0.23939	0.010881
Total	29	0.45090		

La razón del error puro entre el total de variación no da el porcentaje de variación no explicada por el modelo. **53 %**, es decir nuestro modelo sólo explica el **46 %** de la variación del proceso.

Por lo que **no** se considera un buen modelo y es recomendable la búsqueda de más variables que estén involucradas en el proceso.

General Linear Model

Factor	Type	Levels	Values
Oxido Ro	fixed	2	-1 1
Oxido Am	fixed	2	-1 1

Analysis of Variance for Result L, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Oxido Ro	1	0.08427	0.07124	0.07124	7.68	0.010
Oxido Am	1	0.11633	0.11633	0.11633	12.55	0.001
Error	27	0.25029	0.25029	0.00927		
Total	29	0.45090				

Mediante el análisis de varianza podemos determinar el porcentaje de contribución de las variables que aparecieron como significativas, para nuestro caso es:

$$((0.08124 + 0.11633) / 0.45090) = 0.4451$$

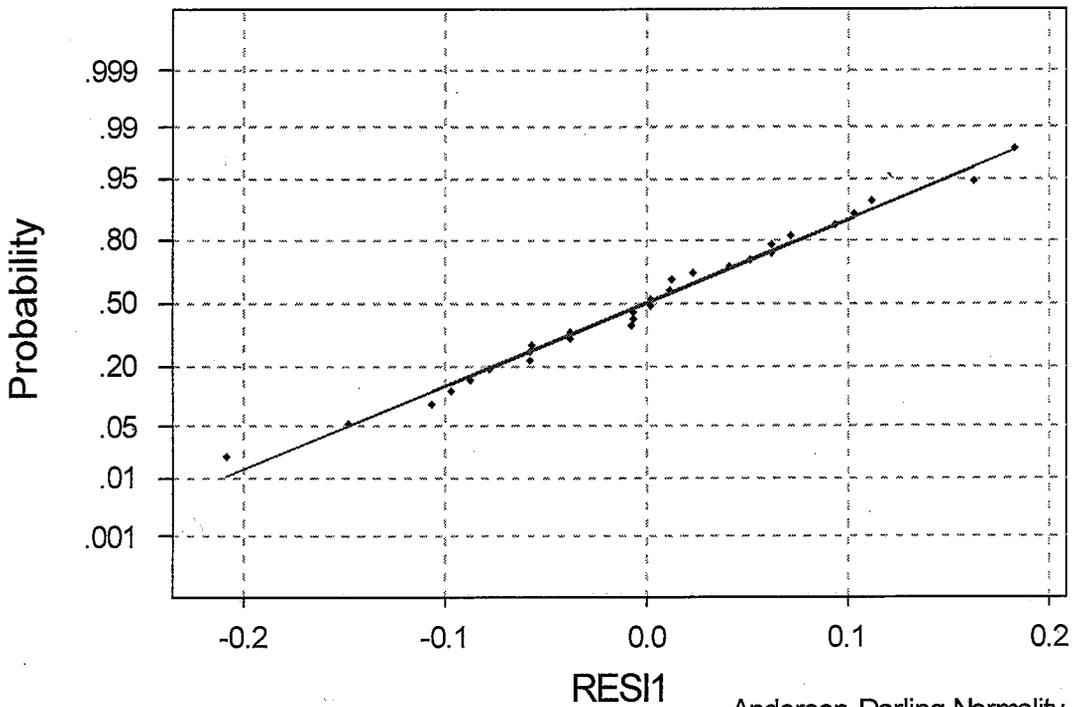
Es decir los dos factores que aparecieron significativos explican el **44.51 %**

De la variación del proceso respecto a la salida L*.

3.9.3 Análisis de resultados de la variable de respuesta $Y_2 = a^*$

Verificando los supuestos sobre los residuales

Normal Probability Plot for a^*

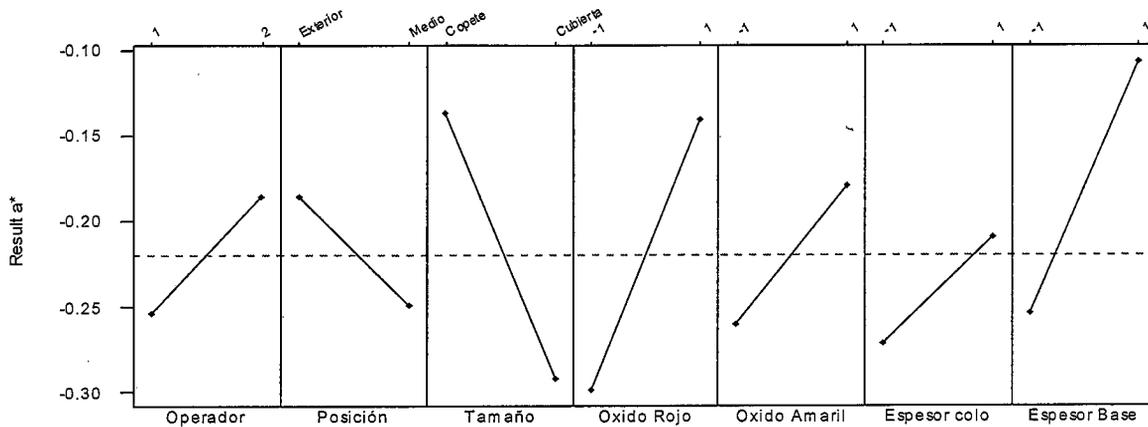


Average: -0.0000000
StDev: 0.0875867

Anderson-Darling Normality Test

A-Squared: 0.153

Main Effects Plot (data means) for Result a^*



Podemos observar una distribución aleatoria de los residuales vs orders, por lo tanto se cumple el supuesto de aleatoriedad de los residuales.

Gráfica 10 Distribución de residuales vs orden de datos

En la gráfica de efectos principales podemos observar que solamente los siguientes factores son significativos;

Tamaño del la pieza

Oxido Rojo

Espesor de la base

De acuerdo con los expertos del área el espesor de la base pudiera ser más un factor casual que causal, lo cual podremos determinar en el análisis de los valores de probabilidad.

Efectuando el análisis con el modelo ajustado tenemos los siguientes resultados.

Fractional Factorial Fit

Estimated Effects and Coefficients for Result (coded units)

Term	Effect	Coef	StDev	Coef	T	P
Constant		-0.2166	0.02130		-10.17	0.000
Tamaño	-0.1590	-0.0795	0.02130		-3.73	0.001
Oxido Ro	0.1597	0.0798	0.01766		4.52	0.000
Espesor	-0.0084	-0.0042	0.02586		-0.16	0.872

Analysis of Variance for Result (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Main Effects	3	0.36623	0.36623	0.122075	14.27
Residual Error	26	0.22247	0.22247	0.008557	
Lack of Fit	2	0.01001	0.01001	0.005007	0.57
Pure Error	24	0.21246	0.21246	0.008852	
Total	29	0.58870			

Estimated Coefficients for Result using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-0.2166
Tamaño	-0.0795
Oxido Ro	0.0798
Espesor	-0.0042

Conclusión

En la hoja de análisis podemos ver que para la variable de salida a^* (Tendencia al rojo al verde), solamente el óxido rojo y el tamaño de la pieza aparecen como variables significativas con un valor de probabilidad menor al 5 %, por lo tanto:

Oxido Rojo

Con un nivel de confianza del 95 % y

Un valor de $P = 0.000 < 0.05$

Tamaño de la Pieza

Con un nivel de confianza del 95 % y

Un valor de $P = 0.001 < 0.05$

Aceptamos la hipótesis alterna

Los factores; Oxido Rojo y el Tamaño de la pieza son variables significativas sobre la variable de salida a * y la variable espesor de la base queda descartada.

Analizando la significancia estadística de la falta de ajuste del modelo

En base al valor de probabilidad desplegado en la hoja de resultados podemos concluir que .

Con un nivel de confianza del 95 % y

Un valor de $P = 0.575 > 0.05$, no podemos rechazar la hipótesis nula de falta de ajuste, es decir para este caso la falta de ajuste no es significativa.

Analizando el porcentaje de variación explicada por el modelo

Analizando el porcentaje de error, es decir la variación no explicada por el modelo podemos observar que tenemos un error alto.

Pure Error	24	0.21246	0.21246	0.008852
Total	29	0.58870		

La razón del error puro entre el total de variación no da el porcentaje de variación no explicada por el modelo. **36 %**, es decir nuestro modelo sólo explica el **64 %** de la variación del proceso.

Por lo que **no** se considera un buen modelo y es recomendable la búsqueda de más variables que estén involucradas en el proceso.

Efectuando el análisis de varianza podemos determinar el porcentaje de contribución de las variables significativas.

General Linear Model

Factor	Type	Levels	Values
Tamaño	fixed	2	Copete Cubierta
Oxido Ro	fixed	2	-1 1

Analysis of Variance for Result a, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tamaño	1	0.17877	0.17877	0.17877	21.67	0.000
Oxido Ro	1	0.18723	0.18723	0.18723	22.70	0.000
Error	27	0.22270	0.22270	0.00825		
Total	29	0.58870				

Para el caso de la variable de salida tenemos el siguiente porcentaje de variación:

$$((0.1787 + 0.1872) / 0.5887) = 0.6215 \quad \mathbf{62.15 \%}$$

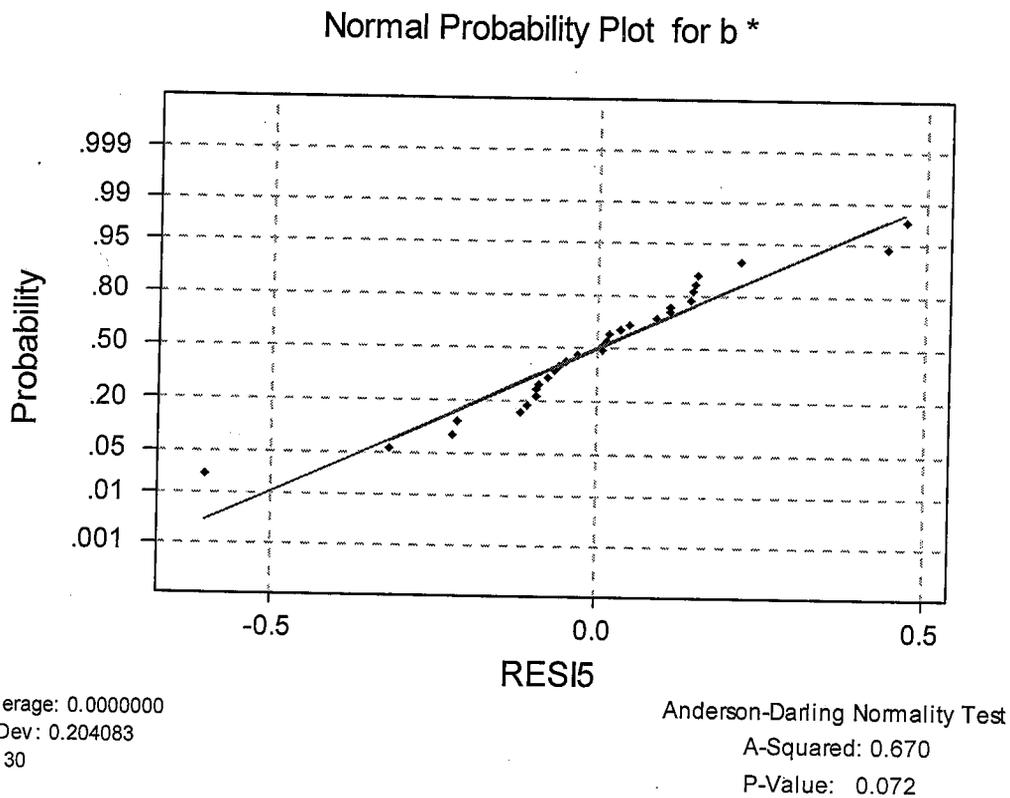
3.9.4 Análisis de resultados de la variable de respuesta $Y_3 = b^*$

Verificando los supuestos sobre los residuales

Gráfica 11 Normalidad de Residuales de la variable de salida "b"

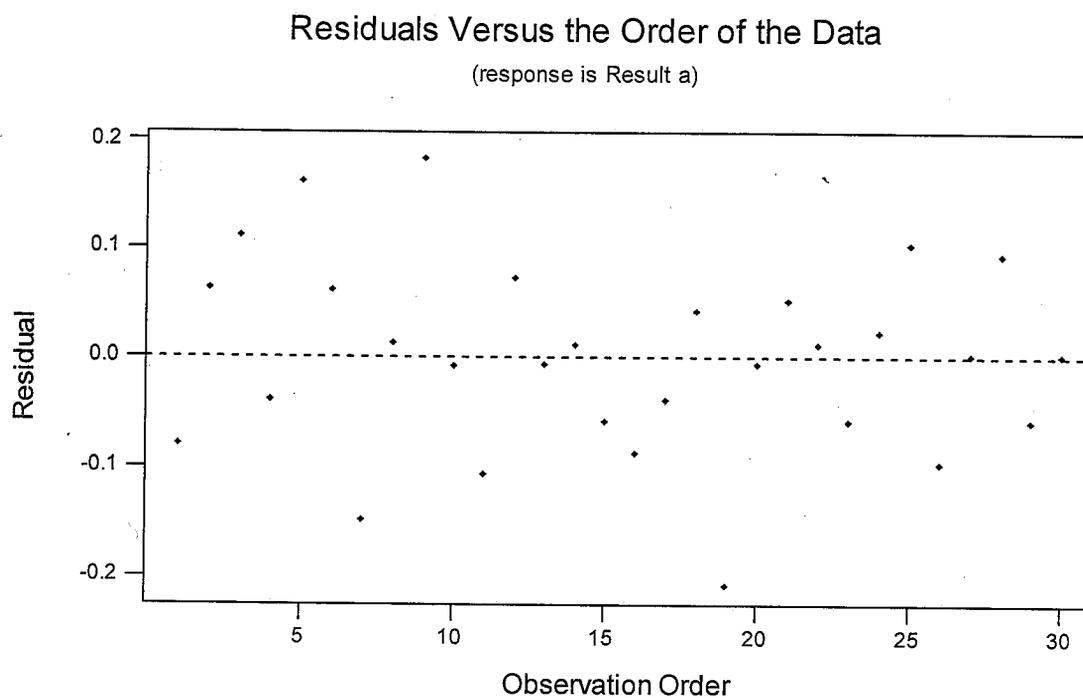
Con un nivel de confianza del 95 % no podemos rechazar la hipótesis nula, por lo tanto asumimos que los residuales se distribuyen como una distribución normal.

Gráfica 11 Normalidad de Residuales



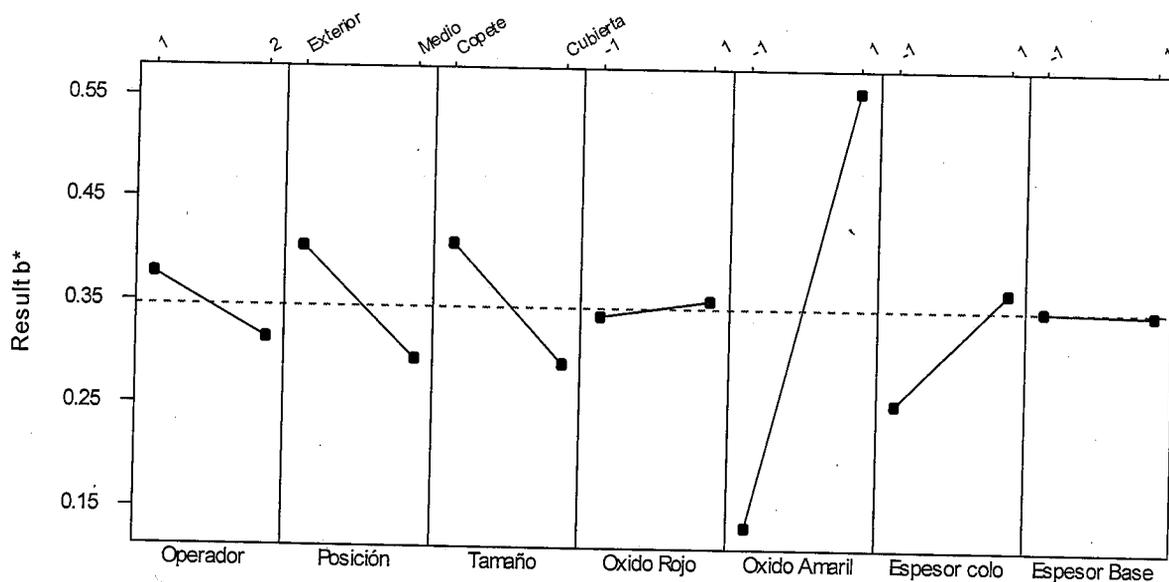
Gráfica 12 Residuales vs orden de Datos

Podemos observar una distribución aleatoria de los residuales vs. orders, por lo tanto se cumple el supuesto de aleatoriedad de los residuales.



Gráfica 13 Efectos principales sobre la variable de salida "b"

Main Effects Plot (data means) for Result b*



En la gráfica de efectos principales podemos observar que solamente el Oxido Amarillo es un factor significativo.

Efectuando el análisis con el modelo ajustado tenemos los siguientes resultados.

Fractional Factorial Fit

Estimated Effects and Coefficients for Result (coded units)

Term	Effect	Coef	StDev Coef	T	P
Constant		0.32920	0.05805	5.67	0.000
Operador	-0.02922	-0.01461	0.04190	-0.35	0.730
Posición	-0.13303	-0.06651	0.04376	-1.52	0.142
Tamaño	-0.11158	-0.05579	0.04299	-1.30	0.207
Oxido Am	0.41779	0.20890	0.04190	4.99	0.000
Espesor	0.07386	0.03693	0.06065	0.61	0.548

Analysis of Variance for Result (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Main Effects	5	1.5820	1.5820	0.31640	6.08
Residual Error	24	1.2479	1.2479	0.05200	
Lack of Fit	12	0.7077	0.7077	0.05898	1.31
Pure Error	12	0.5402	0.5402	0.04502	
Total	29	2.8299			

Estimated Coefficients for Result using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.37303
Operador	-0.02922
Posición	-0.06651
Tamaño	-0.05579
Oxido Am	0.20890
Espesor	0.03693

Análisis de resultados.

En la hoja de análisis podemos ver que para la variable de salida b* (Tendencia al amarillo al azul), solamente el óxido amarillo aparece como variables significativas con un valor de probabilidad menor al 5 %, por tanto .

Oxido Amarillo

Con un nivel de confianza del 95 % y

Un valor de $P = 0.000 < 0.05$

Aceptamos la hipótesis alterna

El factor Oxido Amarillo es una variable significativa sobre la variable de salida "b"

Analizando la significancia estadística de la falta de ajuste del modelo

En base al valor de probabilidad desplegado en la hoja de resultados podemos concluir que .

Con un nivel de confianza del 95 % y

Un valor de $P = 0.324 > 0.05$, no podemos rechazar la hipótesis nula de falta de ajuste, es decir para este caso la falta de ajuste no es significativa.

Analizando el porcentaje de variación explicada por el modelo

Analizando el porcentaje de error, es decir la variación no explicada por el modelo podemos observar que tenemos un error alto.

Pure Error	12	0.5402	0.5402	0.04502
Total	29	2.8299		

La razón del error puro entre el total de variación no da el porcentaje de variación no explicada por el modelo. 19 %, es decir nuestro modelo explica el 81 % de la variación del proceso.

Para el caso de la variable de salida b^* podemos decir que si es un buen modelo.

3.10 Conclusiones y Recomendaciones

Los factores más significativos para las tres variables de salida en este primer experimento son:

SALIDA	FACTORES SIGNIFICATIVOS
L*	Oxido Rojo
	Oxido Amarillo
a*	Oxido Rojo
	Tamaño de la Pieza
b*	Oxido Amarillo

Como podemos observar las variables que si pudiésemos manipular en un segundo experimento serían las variables de los óxidos, por otro lado el tamaño de la pieza puede ser manipulada a nivel experimental, no así en la práctica, para lo cual debemos evaluar la variación según los niveles de tamaño de pieza para que con ello se determine una tolerancia a la especificación de tono de las partes inspeccionadas.

El siguiente paso es planear un segundo experimento tratando de manipular a nivel laboratorio alguna de las variables que se determinaron como variables fijas o de ruido (por ejemplo la temperatura), y junto con el equipo de apoyo buscar nuevas variables.

La propuesta para un segundo experimento es que con un menor número de variables se pueda llevar a cabo un Diseño de Superficie de Respuesta con el fin de conocer más a detalle si la relación entre los factores y la salida es de tipo lineal o cuadrática.