

Aplicación de diseño de dos factores en el proceso de pintado para refrigeradores comerciales en una empresa del sur del Bajío

OLVERA-MONTOYA, Ana Luisa†, RAMOS-AGUILAR, Maribel, ESPINOSA-RODRÍGUEZ, Marcela y RAMÍREZ-ÁLVAREZ, José Luis

Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra. Calle Manuel Gómez Morín 300, Janicho, 38933 Salvatierra, Gto

Recibido 10 de Octubre, 2017; Aceptado 2 de Diciembre, 2017

Resumen

En la actualidad, en las empresas la experimentación es uno de los elementos que más contribuyen a la mejora, ya que ayuda a identificar si alguno de sus procesos es operado o tratado indebidamente, comparando los factores que se cree afectan al proceso y esto provoca que el producto presente una mala calidad. El diseño de experimentos (DoE) se presenta como una herramienta estadística que ayuda a investigar los efectos de las variables de entrada (factores), esto consiste en una serie de pruebas o corridas en las que se hacen cambios intencionales en las variables de entrada con el propósito de recopilar datos, analizándolos e identificando así las condiciones del proceso que afectan a la calidad para luego determinar la configuración de los factores y modificarlos. (Minitab, 2016). El desarrollo de esta investigación en primer orden se llevó a cabo en un análisis en el que se verificó que durante el proceso de lavado de las piezas, la temperatura y el tiempo de inmersión fueron los adecuados, de igual modo con los datos recogidos se generó el diseño experimental bifactorial, a fin de observar cuál de las comparaciones de los factores es la que afecta el proceso en las piezas.

Diseño de experimentos, ANOVA, diseño factorial, Calidad

Abstract

In today's business, experimentation is one of the elements that can most contribute to improvements by helping to identify if any of its processes is operated or treated improperly, by comparing factors that are believed to be affecting the Process and this causes the product to present poor quality. The design of experiments (DoE) is presented as a statistical tool that helps to investigate the effects of input variables (factors), this consists of a series of runs or tests in which intentional changes are made in input variables with the purpose of collecting data, analyzing them and thus identifying the conditions of the process that affect the quality to then determine the configuration of the factors and modify them. The development of this research in first order was carried out in an analysis in which it was verified that during the process of washing the pieces, the temperature and the immersion time were the appropriate ones, likewise with the data collected was generated The experimental bifactorial design, in order to observe which of the comparisons of the factors is the one that affects the process in the pieces.

Design of experiments, ANOVA, factorial design, quality

Citación: OLVERA-MONTOYA, Ana Luisa, RAMOS-AGUILAR, Maribel, ESPINOSA-RODRÍGUEZ, Marcela y RAMÍREZ-ÁLVAREZ, José Luis. Aplicación de diseño de dos factores en el proceso de pintado para refrigeradores comerciales en una empresa del sur del Bajío. Revista de Ingeniería Tecnológica 2017. 1-4:48-58

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la actualidad existen muchas industrias en los diferentes sectores, su objetivo es la elaboración de sus productos y/o generar servicios en los mejores estándares de calidad con el fin de ofrecer el artículo en las mejores condiciones de acuerdo a la especificación del cliente, es por esto que surge la realización de experimentos con el fin de analizar diferentes factores dentro de su proceso para identificar cuál de ellos genera un mejor estándar en el producto; por lo que se buscan alternativas de mejora del proceso y modificarlas acorde a los resultados obtenidos.

El diseño de experimentos se puede definir como un conjunto de métodos que se utilizan para manipular un proceso con el fin de obtener información de cómo mejorarlo (Sanchez, 2009).

El diseño de experimentos permite analizar datos mediante modelos estadísticos para observar la interacción entre las variables independientes y como afectan a la variable dependiente.

Montgomery (2011) establece que la importancia del diseño de experimentos recae en la necesidad que tienen las empresas de contar con procesos óptimos con la menor variabilidad para incrementar la calidad en sus productos o servicios.

Justificación

Con la aplicación del diseño experimental se identificará cuál de los factores afecta el proceso de pintado de las piezas. De esta manera se asegura que la pieza al ser ensamblada en la línea no presentará ningún problema por falta de pintura y así evitar gastos innecesarios para la empresa.

Problema

Empresa del bajo, es hoy una de las mayores empresas de refrigeración del mundo y continúa creciendo como resultado de una fuerte política de expansión. Actualmente cuenta con 4 unidades industriales estratégicamente ubicadas (Brasil, México, Rusia y Turquía) produciendo equipos con la más avanzada tecnología y con una estructura de distribución global en más de 80 países, llegando a una capacidad de producción de 1,5 millones de unidades por año.

Dentro del proceso de pintado de refrigeradores, se trabaja bajo el método electrostático. Dicho proceso, presenta una problemática en la etapa de ensamble de las piezas, no se encuentran pintadas adecuadamente con respecto a las especificaciones, lo cual conlleva realizar un retrabajo y esto genera gasto al volver a pintarlas, además pérdida de tiempo.

Observando el proceso se identifican involucradas las variables Ph, concentración, temperature y tiempo de inmersión, sin embargo existen antecedentes que demuestran las variables Ph y concentración, no tienen un efecto significativo en el proceso de pintado. Por lo cual, se identifica que solo dos factores son los que probablemente estén ocasionando que las piezas no estén bien pintadas, ellos son, temperatura y tiempo de inmersión. Por lo tanto, se desconoce si la temperatura y el tiempo de inmersión de la tina son los correctos.

Por lo tanto, es necesario aplicar un diseño experimental para identificar cuál de los dos factores provoca que las piezas no estén pintadas al finalizar el proceso de ensamble.

Hipótesis

El tiempo es la variable que afecta el proceso de pintado de las piezas de los refrigeradores comerciales.

Objetivos

Objetivo General

Identificar el factor que afecta el proceso de pintado de piezas para refrigeradores comerciales por medio de un diseño factorial (2x2).

Objetivos específicos

- Obtener la variable de respuesta de los factores y su interacción
- Realizar un análisis de varianza para comprobar el efecto de los factores y su interacción.
- Realizar la prueba de comparación de medias para conocer que pares de tratamientos tienen influencia significativa en la variable de respuesta.

Marco Teórico

- Diseño

El diseño tiene como objetivo primordial precisamente la resolución de problemas, cuyas respuestas no pueden partir de recetas o métodos coagulados, no existen ecuaciones ni fórmulas, cada problema requerirá una respuesta particular y específica. (Peñalva, 2002)

Resolver un problema de diseño significa entonces enfrentar un desafío, donde se debería indagar y tener una compleja red de variable. (Peñalva, 2002)

- Experimento

El experimento es la forma en la que añade a la observación de control de ciertos factores con base en supuestos teóricos y, cuando es preciso, supone medición. El experimento científico, cuando se realiza con su ayuda y se orienta a contrastar ideas, resulta ser propiamente el método experimental.

Y el método experimental se considera a su vez frecuentemente como característico de la ciencia moderna. Por lo tanto el estudio de experimento científico tiene interés para científico y para el historiador de las ideas. (Bunge, 2000)

Los experimentos por lo general se llevan a cabo para descubrir algo acerca de un proceso o sistema particular. En sentido literal, un experimento es una prueba. En una perspectiva más formal, un experimento puede definirse como una prueba o serie de pruebas en las que se hacen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema para observar e identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en la respuesta de salida. (Montgomery, 2011)

- Diseño de experimentos

Es un conjunto de técnica activas, en el sentido de que no esperan que el proceso mande las señales útiles, sino que éste se manipula para que proporcione la información que se requiere para su mejora. (Gutiérrez, 2012)

Consiste en planear y relizar un conjunto de pruebas con el objetivo de genrar datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan reponder las interrogantes planteadas por el experimentador sobre determinada situación. (Gutiérrez, 2012)

- Aplicaciones típicas del diseño de experimental

Según Montgomery (2011) diseño experimental es una herramienta de importancia fundamental en el ámbito de la ingeniería para mejorar el desempeño de un proceso de manufactura. También tiene múltiples aplicaciones en el desarrollo de procesos nuevos. La aplicación de las técnicas del diseño experimental en las fases iniciales del desarrollo de un proceso puede redundar en:

1. Mejoras en el rendimiento del proceso.
2. Variabilidad reducida y conformidad más cercana a los requerimientos.
3. Reducción del tiempo de desarrollo del tiempo de desarrollo.
4. Reducción de costos globales.

Los métodos del diseño experimental desempeñan también un papel importante en las actividades del diseño de ingeniería, donde se desarrollan productos nuevos y se hacen mejoramientos en los productos existentes. Entre las aplicaciones del diseño experimental en el diseño de ingeniería se encuentran:

1. La evaluación y comparación de configuraciones de diseños básicos.
2. La evaluación de materiales alternativo. La selección de parámetros del diseños para que el producto tenga un buen funcionamiento en una amplia variedad de condiciones de campo.
3. La determinación de los parámetros clave del diseño del producto que afectan al desempeño del mismo.

– Objetivo del diseño de experimentos

El objetivo de un experimento es estudiar el efecto que sobre una variable de interés, que llamaremos variable respuesta, tiene un conjunto de otras variables que llamaremos variables experimentales, factores o tratamientos. Por ejemplo, la variable respuesta puede ser el rendimiento de un proceso, y los factores, la temperatura y la presión. El experimento consiste en seleccionar ciertas unidades experimentales, fijar los valores de los factores a distintos niveles y observar el valor de la variable respuesta de cada unidad experimental.

El número total de datos es el tamaño del experimento. (Peña, 2002)

- Pautas para el diseño de experimentos.

Posteriormente se presenta una breve explicación del procedimiento general:

1. Identificación y exposición del problema. Este punto podría parecer muy obvio, pero es común que en la práctica no sea sencillo darse cuenta de que existe un problema que requiere experimentación, es por eso que es necesario desarrollar todas las ideas acerca de los objetivos del experimento. Por esta razón, se recomienda un enfoque de equipo para diseñar experimentos. (Montgomery, 2011)
2. Elección de los factores, los niveles y los rangos. Cuando se consideran los factores que pueden influir en el desempeño de un proceso o sistema, el experimentador suele descubrir que estos factores pueden clasificarse como factores potenciales del diseño o bien como factores perturbadores. Los factores potenciales del diseño son aquellos que el experimentador posiblemente quiera hacer variar en el experimento.

3. Selección de la variable de respuesta. El experimentador deberá tener la certeza de que esta variable proporciona en realidad información útil acerca del proceso bajo estudio. En la mayoría de los casos, el promedio o la desviación estándar de la característica medida será la variable de respuesta. La eficiencia de los instrumentos de medición también es un factor importante. Si la eficiencia de los instrumentos de medición es inadecuada, el experimentador solo detectará los efectos relativamente grandes de los factores o quizá sean necesarias replicas adicionales.
4. Elección del diseño experimenta. La elección del diseño implica la consideración del tamaño de la muestra (número de réplicas), la selección de un orden de corridas adecuado para los ensayos experimentales y la determinación de si entran en juego o no la formación de bloques u otras restricciones sobre la aleatorización. (Montgomery, 2011)
5. Realización del experimento. Cuando se lleva a cabo el experimento es vital monitorear con atención el proceso a fin de asegurarse de que todo se esté haciendo conforme a la planeación. Coleman y Montgomery (2011) sugieren que antes de llevar a cabo el experimento, es conveniente en muchas ocasiones realizar algunas corridas piloto o de prueba. Estas corridas proporcionan información acerca de la consistencia del material experimental, una comprobación del sistema de medición, una idea aproximada del error experimental y la oportunidad de poner en práctica la técnica experimental global. (Montgomery, 2011)
6. Análisis estadístico de los datos. Deberán usarse métodos estadísticos para analizar los datos a fin de que los resultados y las conclusiones sean objetivos y no de carácter apreciativo. Si el experimento se ha diseñado correctamente y si se ha llevado a cabo de acuerdo con el diseño, los métodos estadísticos necesarios no deben ser complicados. (Montgomery, 2011)
7. Conclusiones y recomendaciones. Una vez que se han analizado los datos, el experimentador debe sacar conclusiones prácticas acerca de los resultados y recomendar un curso de acción. También deberán realizarse corridas de seguimiento o pruebas de confirmación para validar las conclusiones del experimento. (Montgomery, 2011)
 - Diseños factoriales

Por diseño factorial se entiende que en cada ensayo o replica completa del experimento se investigan todas las combinaciones posibles de los niveles de factores. Cuando los factores están incluidos en un diseño factorial, es común decir que están cruzados. (Montgomery, 2011)

El efecto de un factor se define como el cambio en la respuesta producido por un cambio en el nivel del factor. Con frecuencia se le llama efecto principal por que se refiere a los factores de interés primario en el experimento. (Montgomery, 2011)

Se entiende por diseño factorial, un plan de experimentos que tiene como característica más destacable el que los valores de todos los factores de diseño se van moviendo simultáneamente. Este tipo de plan representa la estrategia que mejor se adapta a las necesidades de la industria, y la que proporciona la máxima información con el mínimo número de experimentos. (Llabres, 1995)

– Diseño factorial de dos factores

El diseño factorial incluye únicamente dos factores o conjuntos de tratamientos. Hay a niveles del factor A y b niveles del factor B, los cuales se disponen en un diseño factorial; es decir, cada réplica del experimento contiene todas las ab combinaciones de los tratamientos. En general hay n replicas. (Montgomery, 2011)

– Análisis de varianza (Anova)

Este método, desarrollado por R. A. Fisher, es fundamental para casi todas las aplicaciones de la estadística. Una manera de abordar el análisis de varianza es considerarlo con una forma de comprobar si dos o más medidas muestrales pueden haberse obtenido de poblaciones con la misma media paramétrica respecto de una variable dada. Alternativamente, cabría concluir que estas medias son diferentes. Cuando se trabaja únicamente con dos muestras se utiliza tradicionalmente la t de Student para comprobar diferencias significativas entre las dos medias, aunque matemáticamente ambas pruebas son similares en este caso. (Gallego, 2003)

El análisis de varianza es la primera prueba de significación que se trata en este texto capaz de comparar más de dos variables. En este caso, la obtención de datos libres de interferencias provenientes de factores no deseados es fundamental, ya que estos pueden simular o enmascarar la presencia de los factores que son el objetivo del experimento. (Gallego, 2003) Los problemas que incluyen más de dos variables, su objetivo principal de las pruebas estadísticas que se estudian, exigen, en la mayoría de los casos, el cumplimiento de premisas para que las conclusiones que se deduzcan sean válidas. (Gallego, 2003)

– Premisas paramétricas del análisis de varianza

En primer lugar, la aplicación del análisis de varianza requiere que los datos a tratar cumplan los siguientes supuestos:

1. Independencia de los datos: El muestreo debe ser aleatorio, lo que asegura la independencia de los datos generados.
2. Normalidad: La independencia de los datos nos permite, en la mayoría de los casos, presuponer que la distribución de los datos corresponde a una normal.
3. Homoscedasticidad: La igualdad de varianzas (Homoscedasticidad) en un grupo de muestras es una importante precondición para diversos tests estadísticos. (Gallego, 2003)

El «análisis de la varianza» se incluye del ámbito del «Diseño de experimentos», que engloba tres grandes apartados o diseños generales: el «diseño completamente aleatorio», el «diseño de bloque aleatorio» y el «diseño factorial». (Sabadías, 1995)

– Análisis de varianza del diseño factorial

Se utiliza para estudiar los efectos que producen dos o más niveles de tratamientos. Hemos estudiado el tipo utilizado cuando los grupos que se comparan se clasifican atendiendo a un único criterio, es decir, cuando interviene una única variable independiente. (Sabadías, 1995)

Si se considera una segunda variable independiente o factor, este puede tener únicamente el carácter de control de la variable independiente, cuyo caso tenemos el diseño de bloques aleatorios. En cambio, si la segunda variable independiente es una variable de tratamiento, cuyos efectos deseamos conocer se trata de diseño factorial.

Ambos tipos de diseños son estudiados como «análisis de varianza doble», y solo difieren en el modo de interpretar el análisis. Nos limitaremos al estudio del diseño factorial. (Sabadías, 1995)

Se utiliza para estudiar los efectos que producen dos o más niveles de tratamientos. Hemos estudiado el tipo utilizado cuando los grupos que se comparan se clasifican atendiendo a un único criterio, es decir, cuando interviene una única variable independiente. (Sabadías, 1995)

- Comparación de medias

Procedimiento mediante el cual se identifican a las medias que causan las diferencias detectadas en el ANOVA. Según Gutierrez (2012), entre las cuales se pueden encontrar:

Método Tukey: Es método más conservador para comparar pares de medias de tratamientos, el cual consiste en comparar las diferencias entre medias muestrales con un valor crítico.

Método LSD (diferencia mínima significativa): Es la diferencia significativa mínima muestral para considerar que dos tratamientos son diferentes.

- Calidad

Pulido ((2005) cita a Juran 1990)) dice “Calidad es que un producto sea adecuado para su uso. Así, la calidad consiste en ausencia de deficiencias en aquellas características que satisfacen al cliente”.

- Pintura electrostática

La pintura en polvo electrostática básicamente es una alternativa diferente para el recubrimiento de piezas, con grandes ventajas en comparación con las alternativas existentes en recubrimientos. (Francescutti, 2007)

Metodología de Investigación

Se emplearon dos tipos para el desarrollo de la investigación, a continuación se detallan ambas.

Tipo de Investigación

- Investigación experimental

La investigación experimental se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

El experimento es una situación provocada por el investigador para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. En el experimento, el investigador maneja deliberada la variable experimental y luego observa lo que ocurre en condiciones controladas. (Tamayo, 2013)

- Investigación descriptiva

Comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre cómo una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente. (Tamayo, 2013)

Métodos Teóricos

Primeramente se llevaron a cabo dos pruebas las cuales sirvieron para asegurar que la problemática no estaba en el traslado del producto a las tinas de lavado para el colgado de la pieza y en la orientación del rociado de las pistolas aplicadoras de pintura.

También se realizaron las pruebas de adherencia, dureza, impacto, desprendimiento, cámara salina para verificar que el material saliera en sus mejores condiciones.

Mediante estas pruebas se identificó que la pintura en las piezas presentaba desprendimiento.

Posteriormente se evaluó el estado actual del proceso llevando a cabo un análisis, durante varias semanas tratando las piezas con respecto a lo especificado, así mismo mediante la medición se corroboró que la concentración y Ph no eran significativos y los factores influyentes fueron tiempo y temperatura. Ver Anexo 1 y 2.

Obtención de variable de respuestas

El proceso está compuesto de 8 tinas para realizar las pruebas. En Tabla 1, contiene el nombre de las tinas y las especificaciones (cabe señalar que no en todas las tinas se manejan especificaciones) las cuales deben de estar según la empresa lo indica.

Tina	Ph	Temperatura	Concentración
Desengrase	10-12	70 – 80°	50-60 Gr/Lt
Enjuague I	7 – 9		
Decapado	1 – 2		25-30%

Enjuague II	5 – 7		
Enjuague III	6 - 7		
Unimat	4 - 5		1-2%
Enjuague IV	6 - 7		
Secado		≥40°	

Tabla 1 Datos de las 8 tinas de prueba

Elaboración del anova de dos factores

- Con respecto a esta actividad y la elaboración del anova se realizó en base a los datos obtenidos de la comparativa del espesor de la pintura ya que se llevara a cabo mediante la elaboración del diseño factorial de dos factores.

La Tabla 2, muestra los dos factores y los niveles de factor que se emplearon en la experimentación.

		TIEMPO		
		3 MINUTOS	6 MINUTOS	10 MINUTOS
TEMPERATURA	80°C			
	60°C			
	40°C			

Tabla 2 Matriz de dos factores

Aplicación de herramientas estadísticas para la comparación múltiple de medias (Pruebas de Tukey, LSD)

Al obtener la variable de respuesta y hacer el análisis de varianza se procedio hacer las pruebas de comparación de medias en minitab v16, para conocer que pares de tratamientos tenían influencia significativa en la variable de respuesta.

Metodología de Desarrollo de Software

Según Sedano (2006), Minitab es un paquete estadístico que abarca todos los aspectos necesarios para el aprendizaje y la aplicación de la Estadística en general.

El programa incorpora opciones vinculadas a las principales técnicas de análisis estadístico entre las cuales se encuentra análisis factorial, anova, y pruebas de comparación de medias de tratamientos.

		Tiempo (b)		
		3 Minutos	6 minutos	10 minutos
TEMPERATURA (A)	80°C	12.85, 12.34, 15.55 15.45, 15.15, 15.25	15.3, 14.9, 14.35 14.56, 17.15, 16.84	17.15, 16.99, 14.85 15.02, 15.45, 14.01
	60°C	13.35, 13.08, 12.5 11.98, 11.7, 11.2	15.05, 15.23, 16.4 R15.9, 14.7, 14.1	14.05, 13.93, 17 16.9, 6.6, 7.1
	40°C	4.82, 5.02, 4.35 4.73, 5.02, 4.9	4.77, 4.97, 4.52 4.83, 4, 3.9	5.8, 5.4, 5.01 4.89, 4.95, 5.07

Tabla 3

Resultados

Obtención de la variable de respuesta acorde al factor temperatura y tiempo.

Al realizar 6 réplicas por cada interacción de factores, donde la variable de respuesta es el espesor de la pintura en milímetros, se obtuvieron los resultados de la Tabla 3:

Realización de un análisis de varianza para comprobar el efecto de los factores y su interacción.

Análisis de varianza para C7, utilizando SC ajustada para pruebas

En la Tabla 4, se encuentran los resultados que se obtuvieron del Programa estadístico Minitab.

F	GL.	SC.	CM.	F	P
A	2	1099.70	549.85	174.26	0.000
B	2	13.73	6.86	2.18	0.125
AXB	4	23.88	5.97	1.89	0.128
Error	45	141.99	3.16		
Total	53	1279.31			

Tabla 4 Analisis de varianza

*S = 1.77635 R-cuad. = 88.90% R-cuad. (Ajustado) = 86.93%

De acuerdo al programa estadístico Minitab v16, se concluye que el factor A (Temperatura) si produce efecto sigificativo en el espesor

A diferencia con el factor B (Tiempo) no es importante ya que no tiene mayor influencia en el espesor, por lo tanto se puede utilizar cualquiera de los tiempos de inmersión.

Interección factor A y B

El análisis de los resultados arrojo que ambos efectos no produce efecto significativo por lo que no existe una interacción entre la temperatura y el tiempo, ya que el factor más influye en este análisis es la temperatura.

En la Figura 1, se puede observar por medio del uso del minitab que no hay interacción entre los factores A y B.

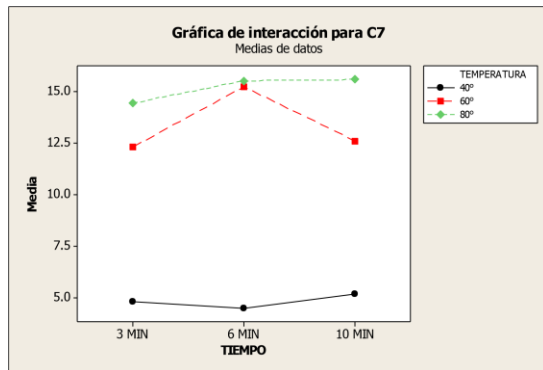


Figura 1 Interacción entre los factores A y B

Comparación de medias por prueba de Tukey y LSD

Para realizar la prueba de Tukey y LSD se requirió la tabla de los datos recolectados en los cuales se realizó una sumatoria para cada uno de los niveles como se muestra en la Tabla 5:

		Tiempo			Y
		3 MIN	6 MIN	10 MIN	
TEMPERATURA	80°c	86.59	93.1	93.41	273.1
	60°c	73.81	91.38	75.58	240.77
	40°c	28.84	26.99	31.12	86.95

Tabla 5 Datos para pruebas Tukey y LSD

Los resultados obtenidos en la pruebas de Tunkey y LSD arrojo que cualquiera de las parejas de los tratamientos con respeto a temperatura genera un efecto significativo en el espesor de la pintura.

Conclusiones

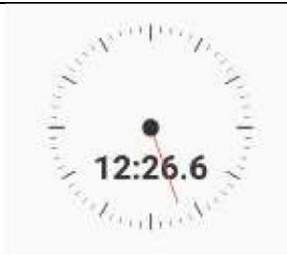
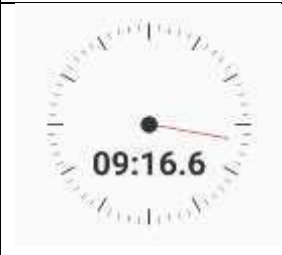
Luego de haber realizado el trabajo experimental se puede concluir que dentro de los dos factores analizados, temperatura y tiempo de inmersión, se logró identificar que el factor temperatura produce un efecto significativo con respecto al espesor de pintura, es decir, que la temperatura es la que influye en el desprendimiento de la misma.

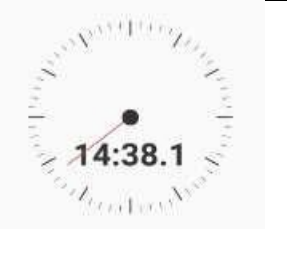
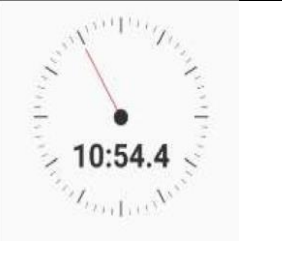
Anexos



Anexo 1. Tiempos de las 8 tinas.

Tina	Ph	Temperatura	Concentr-ación
esengrase	10	70°	58.95%
	10-12	70 – 80°	50-60 Gr/Lt
Enjuague I	7		
	7 – 9		
Decapado	1		26.2%
	1 – 2		25-30%
njuague II	4		
	5 – 7		
Enjuague III	7		
	6 - 7		
Unimat	5		2.63%
	4 - 5		1-2%
Enguaje IV	7		
	6 - 7		
Secado		45°	
		≥40°	

Anexo 2. Toma de tiempos de inmersión

Primer tiempo tomado en la tina de desengrase	Segundo tiempo tomado en la tina de desengrase
	

Primer tiempo tomado en la tina de decapado	Segundo tiempo tomado en la tina de decapado
	

Primer tiempo tomado en la tina de Unimat	Segundo tiempo tomado en la tina de Unimat
	

Referencias

Bunge, M. (2000). La investigación científica. Barcelona. Siglo XXI.

Gallego, R, S. (2003). Introducción al análisis de datos experimentales. España: Universitat Jaume I.

Gutiérrez, H. (2005). Calidad total y productividad. México, D.F McGraw-Hill.

Gutiérrez, H. (2012). Análisis y diseño de emperimentos. México, D.F McGraw-Hill.

Francescutti, J. O. (2007). Pintura electroestática.

Llabres, P. G. (1995). Técnicas para la gestión de la calidad. Madrid: Díaz de Santos.

Minitab Inc. Soporte de Minitab v16. Recuperado de [http://support.minitab.com/es-mx/minitab/16/topic-library/quality-tools/measurement-system-analysis/gage r-r-analyses/what-is-a-gage-r-r-study](http://support.minitab.com/es-mx/minitab/16/topic-library/quality-tools/measurement-system-analysis/gage-r-r-analyses/what-is-a-gage-r-r-study) Consultado 13 enero 2017.

Montgomery, D. C. (2011). Diseño y análisis de experimentos. DF, México: LIMUSA WILEY.

Peña, D. (2002). Regresión y diseño de experimentos. Madrid, España. Alianza editorial.

Peñalva, S. (2002). Diseño teoría y reflexión. Argentina: KUCZKOWSKI.

Sabadías, A. V. (1995). Estadística descriptiva e inferencial. Madrid, España: servicio de publicaciones de la universidad de castilla-la mancha.

Sedano, m. (2006). Introducción a minitab. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

Tamayo, M. T. (2013). Investigación Científica. México D.F. limusa.

Torre, R. E. (2008). Probabilidad y estadística para ciencias e ingenierías. Madrid: Delta publicaciones.