

**La rentabilidad de secar con altas temperaturas los productos del repintado automotriz**

---

***Profitability of drying automotive refinished products with high temperatures***

---

***La rentabilité liée au séchage à haute température des produits peints du secteur automobile***

---

***A rentabilidade de secar com temperaturas altas, os produtos do repintado automotor.***

**Iván Danilo Castaño \***

Fecha de recepción: 15 de abril de 2015  
Fecha de aprobación: 10 de junio de 2015  
Pp.77-96.

---

\* Estudiante de la Maestría en Ingeniería de Procesos, Universidad EAN.

## RESUMEN

Los talleres especializados en la reparación de lámina y pintura de los automóviles, tienen la obligación de ofrecer calidad a sus clientes, lo que implica tener un proceso estandarizado donde la técnica y equipamiento se deben complementar eficientemente. El repintado de automóviles involucra variables tanto físicas como químicas que inciden directamente en el tiempo que se invierte para culminar el proceso satisfactoriamente. En este artículo se analizan cuáles son los parámetros operativos a tener en cuenta para la selección de un horno para el repintado de automóviles, que permita optimizar los tiempos de secado, manteniendo la calidad y respetando los plazos de entrega al cliente.

## PALABRAS CLAVE

Tiempo de secado, tiempos de reparación, horno de pintura, barniz, catalizador, diluyente, Anova, factores, niveles, variable de respuesta, productividad, eficiencia

## ABSTRACT

*Auto body shops that are specialized in body repair and painting, have the obligation to provide quality jobs to their customers, which involves having a standardized process where technique and equipment complement one another efficiently. Automotive refinishing involves both physical and chemical variables that directly affect the time it takes to complete the process successfully. This article discusses the operating parameters to be taken into account when selecting a furnace for automotive refinishing, that optimizes drying times while maintaining quality and respecting customer delivery times.*

## KEY WORDS

*Drying time, varnish, catalyst, diluent, anova, factors, levels, response variable, productivity, efficiency.*

## RÉSUMÉ

*Les ateliers spécialisés dans la réparation de plaques et la peinture automobiles ont une obligation de qualité envers leur clientèle impliquant un processus standardisé lors duquel technique et équipement doivent fonctionner de manière efficace et simultanée. La peinture automobile est sujette à des variables physiques et chimiques qui influent directement sur le temps imparti pour la conclusion satisfaisante des processus. Cet article analyse les paramètres opératifs à prendre en compte pour la sélection des fours pour la peinture automobile permettant d'optimiser les temps de séchage, de garantir la qualité et le respect des délais de livraison au client.*

## MOTS CLEFS

*Temps de séchage, vernis, catalyseur, diluants, Anova, facteurs, niveaux, variable de réponse, productivité, efficacité.*

## RESUMO

*As oficinas especializadas no conserto de lâmina e pintura dos automóveis, têm a obrigação de oferecer qualidade a seus clientes, o que implica ter um processo estandarizado onde a técnica e o equipamento devem se complementar eficientemente. O repintado dos automóveis envolve variáveis tanto físicas como químicas, que incidem diretamente no tempo que se investe para culminar o processo satisfatoriamente. Neste artigo se analisam quais são os parâmetros operativos que se deve ter em conta para a seleção de um forno para o repintado dos automóveis, que permita otimizar os tempos de secagem, mantendo a qualidade e respeitando os prazos de entrega ao cliente.*

## PALAVRAS-CHAVE

*Tempo de secado, verniz, catalizador, diluente, Anova, fatores, níveis, variável de resposta, produtividade, eficiência.*

# 1. Introducción

El pintado de carrocerías ha evolucionado notablemente desde que Benz y Daimler construyeron los primeros automóviles en 1886 (CESVIMAP, 2013). Las pinturas que se utilizaban eran composiciones entre resinas vegetales, aceite de linaza y aceite de trementina, los cuales cumplían una función protectora, que al ser aplicadas con pincel incrementaban tanto el tiempo de realización de la operación como el de secado del producto. En 1936 el salón del automóvil de París mostro por primera vez una serie de automóviles con colores diferentes al negro con propiedades mecánicas importantes como dureza y brillo; pues en 1928 el dióxido de titanio, que al ser combinado con algunos pigmentos orgánicos, puso a disposición de la industria automotriz gran variedad de colores.

Desde los años 20, la investigación química se ha ocupado del desarrollo y elaboración de pintura, mediante la incorporación de pigmentos sintéticos de todos los colores, resinas sintéticas como ligantes de pintura y aditivos que mejoran el tiempo de secado, su dureza y brillo (CESVIMAP, 2010).

De esta manera, la evolución tecnológica y científica ha transformado el proceso de pintado de automóviles, no solo en la composición de las pinturas, sino también en los métodos de aplicación y de herramientas de trabajo. En Colombia se tiene una gran oferta de talleres especializados en atender las reparaciones por colisión, se estima que más de 10.000 centros de reparación han sido incluidos en el plan de clasificación de talleres (PCT) por Cesvi Colombia en el último año a nivel nacional (CESVICOLOMBIA, 2014). En este se evalúan las competencias de cada uno de ellos a nivel técnico, herramientas, equipos y gestión de los procesos de reparación. Uno de los objetivos principales del PCT es identificar fortalezas y oportunidades que le permitan a los accionistas y propietarios de estos centros,

proyectar e implantar planes de acción a corto, mediano y plazo en función de mejorar el índice de satisfacción del cliente. En este indicador se unen todos los parámetros que se evalúan en el PCT, su lectura e interpretación la determina la relación eficiente entre la gestión de los recursos que tiene el taller y el tiempo de entrega del vehículo reparado al cliente. El repintado de automóviles es un proceso crítico dentro de la operación global de reparación, por las tres variables que intervienen en él: preparación de la superficie a pintar, ajuste de color y aplicación. La última obliga la utilización de una cabina capaz de: Aislar totalmente el vehículo a pintar de un medio contaminado y acelerar el secado del producto mediante la recirculación de aire caliente.

## 2. Material y métodos

### 2.1 Composición de las pinturas de reparación

Según las normas *American Standard Technical Materials* (ASTM), la pintura puede definirse como una composición líquida, pigmentada, que se convierte en una película sólida y opaca después de su aplicación en capas finas (CESVIMAP, 2013). Las pinturas están constituidas por tres elementos: pigmentos, resina ligante, disolvente.

Los pigmentos son aquellos compuestos por químicos en forma de polvo, que al estar dispersos dentro de una resina ligante cumplen la función de evitar la corrosión. Dentro de sus propiedades está colorear o aportar color, resistir a la luz, poder cubriente, reactividad química, estabilidad térmica, tamaño y forma de la partícula.

Las resinas ligantes son el elemento que le brinda soporte a los demás componentes de la pintura; junto con el pigmento se solidifica sobre la lámina constituyendo una película seca con menos de 20 micras de espesor. Son el responsable del secado de la pintura ya bien sea por transformación química o física. El tipo de resina le brinda las propiedades a la pintura. Para este estudio se utilizó una resina de poliuretano, que proporciona dureza y brillo.

Los disolventes facilitan la dispersión y mezcla de la resina ligante con el pigmento y su evaporación facilita el proceso de secado. Su diferencia con los diluyentes que se emplearon durante el experimento, radican en que el diluyente se utiliza para reducir la viscosidad de la pintura, ambos deben ser compatibles entre sí y con las resinas para garantizar una unión perfecta. Las características de los disolventes son: velocidad de evaporación, capacidad para disolver, viscosidad, punto de inflamación y toxicidad.

## 2.2 Pinturas de secado químico por polimerización

El secado de esta pintura se produce por medio de una reacción química entre componentes, en donde la evaporación del solvente contribuye con el secado. Este tipo de pinturas pertenecen al grupo cuya resina ligante es sintética y es capaz de reaccionar con un catalizador, encargado de provocar su endurecimiento.

## 2.3 Sistemas de repintado de acabados

Los acabados monocapa son aquellos en donde el color y la capa protectora pertenecen a una misma composición, la propia resina de la pintura de color le proporciona el brillo, también se le conoce como brillo directo.

Los acabados bicapa son aquellos que se realizan en dos fases: la primera, corresponde a una aplicación de una película fina de secado físico con la que se obtiene una superficie fina de máximo 20 micras de espesor, con tonalidad y de apariencia opaca; la segunda fase, obedece a la aplicación una pintura de secado químico por polimerización conocida como barniz.

El sistema tricapa, se compone de tres fases: la primera, es una base bicapa que proporciona un color de fondo al sistema; la segunda o capa intermedia, ofrece un efecto tipo perla y la tercera, es la aplicación del barniz que aporta el brillo y la dureza.

## 2.4 Equipos de aplicación

El fundamento de las pistolas aerográficas es la pulverización de la pintura, es decir, la atomización del caudal de pintura en muy finas partículas ocasionada por la presión y el volumen de aire comprimido proveniente de un compresor. El aire y la pintura entran por ductos independientes y se mezclan de forma controlada en la zona de pulverización. Las pistolas comúnmente utilizadas en el sector reparador son las de alto volumen y baja presión: *High Volumen Low Pressure* (HVLP). Esta ha logrado disminuir el desperdicio del producto por efectos de atomización, logrando una tasa de transferencia importante desde la herramienta hacia la superficie que se debe pintar, es decir, el 65% del volumen preparado se adhiere

a la lámina, mientras que el 35% es desperdiciado, operado con una presión igual o menor a 0.7 Kg / cm<sup>2</sup> (Bares).

## 2.5 Cabinas para el repintado y secado

Es un recinto cerrado de paneles portables sellados, que produce un ambiente presurizado necesario para la aplicación y el secado de la pintura. Las condiciones necesarias para la ventilación interior deben ser contempladas para la protección física del aplicador, y la seguridad de que no se forme una atmosfera peligrosa (USI IBERIA, 2011), para esto, la velocidad media de la circulación del aire en la zona de trabajo deberá estar entre 0.3 y 0.5 m/s. El caudal de aire en la cabina es impulsado de forma vertical por un motor con una potencia que oscila entre 7.5 y 15 caballos de potencia (hP). El aire es filtrado en el techo de la cabina y dirigido hacia el suelo donde es filtrado por segunda vez y recibido por el colector de evacuación de aire de salida al exterior.

Su utilización proporciona las siguientes ventajas: aísla las operaciones de pintado de otras actividades del taller, ayudando a que las aplicaciones sean limpias, seguras y de calidad; acelera el secado y rentabiliza el área de pintura en función de la disminución en los tiempos de operación.

## 2.6 Cabinas de llama directa

Son cabinas convencionales, que tiene una cámara de combustión en donde se calienta una lámina que actúa como un intercambiador de calor entre la cámara y el aire que entra a la cabina. Están dotadas de un quemador de llama directa que se produce al quemar el combustible; este calienta directamente el aire que entra en la cabina, sin necesidad de intercambiador, lo que lo hace más eficiente.



La ventaja de este sistema es su menor inercia térmica (USI IBERIA, 2011), siendo muy rápido tanto el calentamiento como el enfriamiento. Esto permite modificar la temperatura de la cabina rápidamente y reducir el tiempo de permanencia del vehículo dentro de la misma.

## 2.7 Cabinas de llama directa y sistema *inverter*

Este sistema complementa al tipo de cabina descrito anteriormente, ya que los motores de impulsión y extracción de aire consumen cuatro veces la energía de su funcionamiento, en el momento de puesta en marcha, además el caudal de aire que circula dentro de la cabina es regulado por la velocidad de giro del motor, la cual no puede ser regulada con facilidad, haciendo inevitable que estos funcionen siempre con su potencia nominal. El inverter o variador de frecuencia, modifica la corriente en se aplica en la bobina del motor, este circuito evita el consumo excesivo de electricidad durante el arranque regulando la velocidad del motor, funcionando con menor potencia según las necesidades (Chapman, 2011). Un Sistema lógico programable (PLC) controla las variables de presión, temperatura y concentración de gases de la combustión, así como las velocidades de los motores de impulsión y extracción, control de encendido y apagado de luces de la cabina.

El estudio se realizó con 16 pruebas, respetando la compatibilidad entre los productos de aplicación. Se prepararon un total de 16 partes con un área aproximada de 0.9 m<sup>2</sup> de diferentes automóviles. En la ejecución de las pruebas, se variaron los niveles para cada factor definido (Tabla 1)

## 2.8 Selección de las condiciones experimentales

Se eligió una rutina normal de trabajo en un centro de colisión que opera en la ciudad de Bogotá, el cual dispone de una cabina de pintura de llama directa y sistema inverter (Tabla 1).

Tabla 1. Características técnicas de una cabina de pintura de llama directa y sistema *inverter*

Características técnicas	Valor
Dimensiones	6.5 m x 6.8 m X 2.7m
Tipo de suelo	Rejillas y protegido con filtros
Iluminación	1,000 lux
Caudal de ventilación	27,000 m <sup>3</sup> / h
Velocidad del aire	0.3 – 0.5 m / s
Temperatura	60 °C – 80 °C

Fuente. Elaboración propia del autor

Para la selección de los productos de aplicación; fue necesario realizar la mezcla de los tres componentes en las cantidades específicas para garantizar el secado químico por polimerización (Tabla 2).

Tabla 2. Selección de los productos y sus cantidades de aplicación

Componente	Rapidez en el secado	Cantidad de gramos dentro de la mezcla
Barniz	Medio Lento	120
		120
Catalizador	Medio Lento	60
		60
Diluyente	Medio Lento	12
		12

Fuente. Elaboración propia del autor, (s.f.).

Con la selección de la cabina y los componentes de la mezcla, se definen los parámetros operativos para la pistola de aplicación y condiciones de trabajo (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros operativos para la pistola de aplicación y condiciones de trabajo

Parámetro	Valor
Presión de entrada	2 bares
Pico de fluido	1.3 mm
Atomización aproximada	15 cm
Aporte de material	2 revoluciones
Temperatura de aplicación	20 – 22° C
Viscosidad de aplicación	5 – 20 segundos / DIN 4
Numero de capas	2
Tiempo de evaporación entre aplicación de capas	0 – 5 minutos

Fuente. Elaboración propia del autor, (s.f.).

Se define el plan factorial con dos niveles (Tabla 4).

Tabla 4. Plan factorial con dos niveles

Prueba	Factor	Nivel	Signo	Variable respuesta
A	Temperatura	60°C 80°C	- +	Tiempo de secado (Minutos)
B	Barniz	Medio Lento	- +	
C	Catalizador	Medio Lento	- +	
D	Diluyente	Medio Medio	- +	

Fuente. Elaboración propia del autor, (s.f.).

## 3. Resultados

### 3.1 Aplicación del plan factorial $2^K$

Siendo  $K$  el número igual a 4 de factores y aplicando el plan factorial a dos niveles, se resuelven un total de 16 pruebas. Para cada factor existe un efecto simple que cumple con el principio de ortogonalidad, análogamente, se cumple este principio para el número de interacciones (Tabla 5; Figura 1).

### 3.2 Estimación de efectos

Tabla 5. Estimación de efectos para cada prueba

Pruebas	A	B	C	D	A*B	A*C	A*D
Efecto	-8,53	0,9	0,315	-1,5	-1,9	-0,22	0,895
Pruebas	B*C	B*D	C*D	A*B*C	A*C*D	B*C*D	A*B*C*D
Efecto	-0,038	-0,3	-1	-2,808	-0,175	-1,478	1,2225

Fuente. Elaboración propia del autor (s.f.).

Figura 1. Estudio de efectos simples y de interacciones

Pruebas	A	B	C	D	A*B	A*C	A*D	B*C	B*D	C*D	A*B*C	A*C*D	B*C*D	A*B*C*D	Variable de respuesta [Minutos]
1	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+++	-	-	-	+	35,12
2	+	+	++	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+++	-	23,22
3	-	+	+	+++	+	+	-	+++	-	-	-	-	+	+	32,37
4	+	-	-	++	-	-	+	+	+	+++	+	+	+	+	25,51
5	-	+	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	31,36
6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	27,43
7	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	39,55
8	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	++	+	24,54
9	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	31,05
10	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+	24,58
11	-	+	+	+	+	-	-	+	++	-	+	-	-	-	34,02
12	+	+	-	-	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	26,01
13	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	30,34
14	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	26,25
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33,45
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	21,48

Fuente. Elaboración propia del autor, (s.f.).

### 3.3 Análisis de varianza (Anova)

Teniendo en cuenta los valores medios relacionados con los niveles para cada uno de los factores definidos (Tabla 6 y Figura 2) se identifica la temperatura como el factor estadísticamente significativo, que afecta el tiempo en el cual seca la pintura. Esto no exonera la incidencia de las características técnicas de los productos de aplicación en la calidad del acabado final del proceso. Pero por ser un análisis cuantitativo y no cualitativo, lo mencionado anteriormente no es relevante dentro del estudio propuesto.

Tabla 6. Anova

Efecto	S.C	g.l	C.M	Fratio	Ftablas
Total	376,89	15	-	-	-
A	291,04	1	291,04	88,6791	4,75
A*C	14,938	1	14,938	4,55158	4,75
A*B*C	31,528	1	31,528	9,60644	4,75
Residual	39,384	12	3,3		

Fuente. Elaboración propia del autor, (s.f.).

### 3.4 Predicción

Media prevista para la el tiempo de secado aplicando el plan 2k, en función de una temperatura de 80°C.

**Media Prevista = 23,36 minutos**

Figura 2. Análisis de varianza

Efecto	S.C	g.l	C.M	Fratio	Ftablas
Total	376,89	15	-	-	-
A	291	1			
B	3,591				
C	0,397				
D	8,88				
A*B	14,94				
A*C	0,194	1			
A*D	3,204				
B*C	0,006				
B*D	0,276				
C*D	7,29				
A*B*C	31,53				
A*C*D	0,123	1			
B*C*D	8,732				
A*B*C*D	5,978				

Fuente. Elaboración propia del autor, (s.f.).

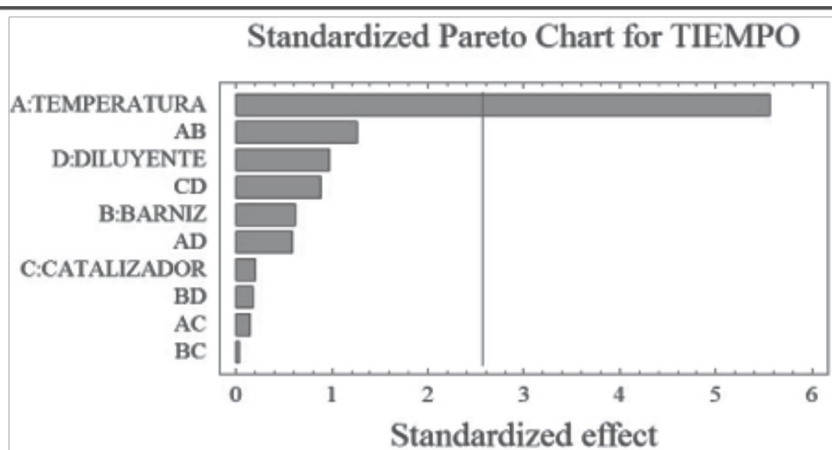
### 3.5 Validación con STATGRAPHICS

Figura 3. Validación del análisis de varianza mediante herramienta computacional STATGRAPHICS

Analysis of Variance for TIEMPO					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:TEMPERATURA	291,044	1	291,044	30,91	0,0026
B:BARNIZ	3,59103	1	3,59103	0,38	0,5639
C:CATALIZADOR	0,3969	1	0,3969	0,04	0,8454
D:DILUYENTE	8,8804	1	8,8804	0,94	0,3761
AB	14,9382	1	14,9382	1,59	0,2634
AC	0,1936	1	0,1936	0,02	0,8916
AD	3,2041	1	3,2041	0,34	0,5850
BC	0,005625	1	0,005625	0,00	0,9814
BD	0,275625	1	0,275625	0,03	0,8709
CD	7,29	1	7,29	0,77	0,4192
Total error	47,0748	5	9,41496		
Total (corr.)	376,894	15			

R-squared = 87,5098 percent  
R-squared (adjusted for d.f.) = 62,5294 percent

Figura 4. Diagrama de Pareto para el tiempo de secado de la pintura mediante herramienta computacional STATGRAPHICS





## 4. Conclusiones

Se determinó que el efecto de la temperatura debe ser el principal parámetro operativo a tener en cuenta para la selección de una cabina de repintado de automóviles. Al hacer circular aire caliente dentro de esta, existe un proceso convectivo por transferencia de calor entre el material base de fabricación de las partes del automóvil y la capa de pintura aplicada sobre ellas. Para que su secado sea óptimo, este material base debe calentarse hasta alcanzar una temperatura aproximada de 60°C; necesaria según las cartas técnicas de los productos de aplicación (GLASURIT, 2015). Esto valida que la temperatura en la fase de secado de una cabina de llama directa, debe ser igual a 80°C, ya que debe irradiarse calor suficiente para que los solventes de las capas aplicadas se evaporen, se acelere su endurecimiento químico y se consoliden las propiedades de dureza y brillo.

En las prácticas industriales colombianas ha surgido el interrogante frecuente sobre las temperaturas correctas para secar productos poliuretanos en el sector automotriz. Los distribuidores de las diferentes marcas del mercado, han decidido ser conservadores en sus respuestas técnicas y consideran que la temperatura del aire en la fase de secado dentro del horno, no debe superar los 60°C, ya que estos gradientes mayores podrían comprometer la calidad en los acabados finales de la pintura.

Si bien el análisis de varianza obedece a un análisis cuantitativo y no cualitativo, solo se podría decir a favor del concepto anterior que la temperatura si puede incidir en la calidad final de la pintura y podría significar presencia de defectos superficiales que obligarían a realizar nuevamente el mismo trabajo afectando directamente la productividad. Sin embargo, esta variable podría considerarse como un medio y

no como la causa principal del problema. Normalmente muchos de ellos se justifican por irrespetar los procesos manuales de aplicación que indican en sus cartas técnicas; el concepto transmitido por los fabricantes ha sido tergiversado por los distribuidores locales en función de mantener los acuerdos comerciales y ser indiferentes a la necesidad fundamental de sus clientes: disminuir los tiempos de reparación.

La media prevista de 23.36 minutos, puede entenderse como el resultado de una relación eficiente entre temperatura y tiempo, ya que al optimizarse con sistemas que controlen el primer parámetro, se reduce el tiempo que invierte el equipo en alcanzar las temperaturas deseadas tanto en la fase pintado como de secado. Lo que afecta la permanencia dentro de la cabina y en consecuencia en el área de pintura.

Este criterio de selección debe ser el inicio para el análisis de las proyecciones operativas y de productividad que realizan los propietarios y accionistas de los centros de reparación; que buscan mejorar los indicadores de satisfacción. Es importante entender que el principal producto que vende el taller es el tiempo de reparación; su optimización se fundamenta en la unión eficiente entre maquinaria y el conocimiento técnico del recurso humano. El área de pintura es punto neurálgico por todos los agentes que intervienen para completar este proceso, los planes operativos deben estar enfocados hacia el incremento de su eficiencia.

## 5. Referencias bibliográficas

- Beckwith, T., Marangoni, R., & Lienhard, J. (2007). *Mechanical measurements*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Practice Hall.
- Cengel, Y. A. (2004). *Heat Transfer: A practical approach*. Ciudad de Mexico: McGraw Hill, 2 ed.
- CESVICOLOMBIA. (2014). *Resultados Plan de Clasificación para talleres PCT*. Bogota: CESVICOLOMBIA.
- CESVIMAP. (2010). *Embellecimiento de Superficies*. Avila, España: CESVIMAP. Recuperado el Mayo
- CESVIMAP. (2013). *Pintado de automóviles*. Avila, España: CESVIMAP. Recuperado el Mayo de 2015
- Chapman, S. (2011). *Maquinas Electricas*. Bogota: McGRAW HILL.
- GLASURIT. (2015). *BASF Coatings*. Obtenido de <http://www.glasurit.com/br/glasurit>
- Kuehl, R. O. (2001). *Diseño de experimentos. Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*. Bogota: Thompson Learning.
- Kume, H. (1985). *Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad*. Bogota: Norma.
- Mantilla, L. F., & Cardona, J. A. (2005). *Gestión energética de los motores eléctricos: mejora de la eficiencia de los accionamientos con el uso de variadores de velocidad*. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética ETSII y T., Universidad de Cantabria.

Munson, B. R. (1990). *Fundamentals of fluid mechanics*. New York : Kindle.

Rupert, G., & Miller, J. (1997). *Beyond ANOVA, Basics of applied statistics*. Boca Raton, Florida: Chapman and Hall / CRC.

USI IBERIA. (2011). Funcionamiento de hornos y cabinas AIR BLUE y CRONOTECH con llama directa. 1-15. (D. t. IBERIA, Ed.) Barcelona, Catalunya, España: USI IBERIA. Recuperado el 28 de Abril de 2015.