

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**DESARROLLO DE LA TÉCNICA DE IMPRESIÓN POR  
TRANSFERENCIA EN AGUA A UNA ESCALA SEMI-INDUSTRIAL**

**Christian Andrés Bravo Loor**

**Ingeniería Mecánica**

Trabajo de titulación presentado como requisito  
para la obtención del título de  
**INGENIERO MECÁNICO**

Quito, 10 de Agosto de 2016

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

COLEGIO DE CIENCIA E INGENIERÍA

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Desarrollo de la Técnica de Impresión por Transferencia en Agua a Una Escala  
Semi-Industrial**

**Christian Andrés Bravo Loor**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Alfredo Valarezo , PhD

Firma del profesor

---

Quito, 10 de Agosto de 2016

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Christian Andrés Bravo Loor

Código: 00105159

Cédula de Identidad: 1721155206

Lugar y fecha: Quito, Agosto de 2016

## RESUMEN

El desarrollo de la técnica de impresión por transferencia en agua es una aplicación muy poco conocida y poco utilizada en el mercado ecuatoriano teniendo un mercado amplio con poca competencia. El desconocimiento del proceso y los componentes para realizar el proceso es uno de los principales motivos, sin embargo existen personas que aplican esta técnica de manera artesanal en partes de vehículos como aros, interiores de plástico, etc. Para desarrollar la técnica de impresión por transferencia en agua se procedió a utilizar 3 piezas de distintos tamaños (un par de orejeras industriales, un par de marcos de alógenos de automóvil y un aro de un vehículo). Se prepara la superficie de las piezas con un reactivo, se calienta el agua dentro de una cuba metálica a 32 °C (se regula la misma con un control de temperatura), se aplica el activador sobre la película que contiene el diseño que se encuentra sobre la superficie del agua y se procede a sumergir la pieza. Se realizaron dos ensayos, uno de corrosión en una cámara salina bajo la norma ASTM B117-03 y un ensayo de adherencia del recubrimiento sobre un sustrato (acero SAE – AISI 1018) bajo la norma ASTM D 6677 – 01. Se realizó un estudio de mercado mediante una encuesta realizada a personas especializadas en compra y venta de aros de vehículos, utilizando la impresión en el aro del automóvil para analizar la aceptabilidad de este servicio dentro del sector automotriz. Se intenta ampliar el mercado hacia la industria de carcasas de laptops, celulares, cpu, etc.

Palabras clave: Desarrollo, transferencia, agua, impresión, temperatura, reactivo, activador, diseño, norma.



## ABSTRACT

Water transfer printing is a seldom-used technique in the Ecuadorian market. Some of the main reasons for its small competitive market are ignorance of the technique and difficulty obtaining the proper materials that are used for vehicle parts (rings, plastic interiors, etc.). The water transfer printing technique was developed by using a pair of industrial ear muffs, a pair of halogen car frames, and a vehicle ring. To begin, the surfaces of the parts are prepared with reagent grade water. The water is then heated in a metal container at 32 ° C which is regulated with a temperature control. Next, the activator on the film containing the design is applied over the water surface where the object is immersed under ASTM D 6677 – 01. Two tests are then performed to test for corrosion and adhesion. To test for corrosion, a salt spray corrosion chamber is used under ASTM B117-03. Another test is performed for adhesion by coating the object with a substrate (AISI 1018 steel SAE) under the ASTM D 6677 – 01. A survey was conducted by professionals who specialize in buying and selling vehicle rings using the printed ring car to analyze the acceptability of this service within the automotive sector. This new technique looks to expand on the industrial market of electronic devices such as laptops, cell phones, and CPU's.

*Key words:* Development, transfer, water, print, temperature, reagent, activator, design, standard.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Introducción .....</b>	<b>11</b>
<b>Desarrollo del Proceso.....</b>	<b>23</b>
<b>Cuba para Impresión .....</b>	<b>23</b>
<b>Procedimiento.....</b>	<b>25</b>
<b>Ensayo de Corrosión.....</b>	<b>35</b>
<b>Ensayo de Adherencia.....</b>	<b>37</b>
<b>Resultados y Discusiones .....</b>	<b>39</b>
<b>Estudio de Mercado .....</b>	<b>47</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>54</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>57</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Sustancia-Porcentaje Solvente.....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 2. Sustancia-Porcentaje Película.....</b>	<b>12</b>
<b>Tabla 3.(ASTM,2001). Sistema de Puntuación para la adhesión de un recubrimiento sobre un sustrato utilizando un cuchillo.....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 4. ASTM results for Group 1 (Mossy Oak Brush with 2010 activator).....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 5. ASTM results for Group 2 (Mossy Oak Infinity with 3350 activator).....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 6. ASTM results for Group 3 (Mossy Oak Brush with 3350 activator).....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 7. (Blackwell, S.E., Barton, K. R., 1977). Ejemplos de resinas para soluciones de colorantes.....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 8. Costos variables de producción de la técnica impresión en agua por transferencia (costo de material / cantidad de material utilizado para <math>1m^2</math>).....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 9. Costos de producción para la impresión por transferencia en agua .....</b>	<b>53</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Modelado Autodesk Inventor.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 2. Aro Automóvil.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 3. Aro con superficie pulida y puesto color plata como base.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 4. Reactivo para preparación de la superficies de la pieza.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 5. Aro con reactivo en la superficies.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 6. Cuba metálica, alentador de agua.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 7. Control de temperatura.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 8. Película hidrosoluble (50x50cm).....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 9. Activador.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 10. Diseño impreso sobre la superficie del acero.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 11. Brillo, endurecedor, thinner.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 12. Acabado final aro.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 13. Cámara salina según norma ASTM B117 – 03.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 14. Probetas utilizadas para realizar el ensayo de corrosión.....</b>	<b>36</b>

<b>Figura 15. Probetas con recubrimiento de la película.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 16. Probetas con recubrimiento (brillo y endurecedor) .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 17. Acabado final pieza pequeña.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 18. Acabado final pieza mediana ( porta alógenos Hyundai Accent 2012 lado derecho).....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 19. Acabado final pieza mediana (porta alógenos Hyundai Accent 2012 lado izquierdo).....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 20. Acabado final aro automóvil (mazda 3).....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 21. Probetas luego ensayo de corrosión ( acero, recubrimiento de la película, brillo y endurecedor).....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 22. Diferencia de masas por unidad de área de las probetas ensayadas.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 23. Probetas acero con recubrimiento de la película .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 24. Probetas acero con recubrimiento de brillo y endurecedor.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 25. Resultado pregunta 1 encuesta.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 26. Resultado pregunta 2 encuesta.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 27. Resultado pregunta 3 encuesta.....</b>	<b>48</b>

<b>Figura 28. Resultado pregunta 4 encuesta.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 29. Resultado pregunta 5 encuesta.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 30. Resultado pregunta 6 encuesta.....</b>	<b>50</b>

## INTRODUCCIÓN

La impresión por transferencia en agua de un diseño es una técnica que permite que cierta imagen en dos dimensiones pueda ser impresa en la superficie de un objeto de tres dimensiones. A esta técnica también se la conoce como hidrografía y es muy utilizada en la industria para implementar diseños en la superficie de piezas.

La impresión por transferencia en agua utiliza reactivos químicos que trabajan como activadores para el proceso de transferencia de la imagen en el objeto sólido. Estos reactivos están compuestos mayormente de solventes, mismos que hacen que la película que contiene el diseño de la imagen a ser impreso se disuelva para que la imagen flote sobre la superficie del agua. (Flick, 1985) un solvente típico tiene la siguiente composición:

Tabla 1: Sustancias-Porcentaje Solvente

Sustancia	Porcentaje
Tolueno	5-50%
Alcohol metílico	15-50%
Hexano	35-0 %
Ésteres	3-50 %
Alcoholes	5-40 %
Xileno	5-20 %
Cetonas	5-40 %

La película necesaria para realizar el proceso de impresión por transferencia en agua se la conoce como un (Hidebrand, s/f), Synthetic Water-Soluble Polymer, que es una sustancia que se disuelve en agua y tiene propiedades físicas modificadas. La película hecha del polímero soluble en agua (synthetic Water- Soluble Polymer) está compuesto por:

Tabla 2: Sustancia- Porcentaje Película

Sustancia	Porcentaje
Tinta en la película	5-60 %
Copoliéster	40-50%
Ácido dicarboxílico cicloalifático	40 - 70 %
Poli (etilenglicol)	20 %
Ácido dicarboxílico ( <b>SO<sub>3</sub>M</b> )	8 %

Los polímeros solubles en agua pueden ser naturales, semi-sintéticos o sintéticos. China es el país con el mayor consumo de “synthetic water-soluble polymers” a nivel mundial ocupando el 31% del mercado mundial, seguido por Europa con el 24% y los Estados Unidos con el 18 %. La película hidrosoluble que se utiliza para el proceso de impresión por transferencia en agua es no porosa y tiene un espesor aproximado de 35 a 40 micras (Peterson, S., Clay, M., Sherman, F., Farmer, M., Carroll, T., 2016). Para el desarrollo de la técnica de impresión por transferencia en agua el material a ser tratado debe ser un material no poroso lo que incluiría a cualquier metal, plástico o vidrio, sin embargo, materiales porosos o demasiados flexibles como el papel, cuero, caucho, etc., no pueden ser tratados ya que existiría poca o ninguna adhesión de la película sobre la superficie del



material debido a que la película no puede llenar espacios vacíos ni puede fijar superficies entre sí ,(Peterson, S., Clay, M., Sherman, F., Farmer, M., Carroll, T., 2016).

Debido a que la película que contiene el diseño a ser impreso (synthetic water-soluble polymer) es un PVA (polyvinyl alcohol film), el proceso químico al aplicar el activador sobre la película está dado por una reacción química catalizada por la enzima activa del activador (xylene) en conjunto con el ácido dicarboxílico (Cyclohexane 1,3) que contiene la resina utilizada para la impresión del diseño en la película hidrosoluble. El éster (compuesto orgánico derivado del petróleo) es un compuesto típico del activador (40% xylene, 30 % thinner sin hexano y xylene y la menor concentración de tolueno , 30% thinner acrílico) que tiende a aceptar enlaces de hidrógeno sin embargo, debido a la falta de capacidad de donar estos enlaces, los ésteres son más volátiles que cualquier ácido o alcohol de similar peso molecular (Bunch, S., Yang, H., 2012) ocasionando que en reacción con la enzima activa del solvente (xylene) la tinta se convierta en una sustancia hidrofóbica al momento de aplicar el activador sobre la película hidrosoluble en la superficie del agua.

En el proceso de impresión por transferencia en agua, la temperatura del agua es controlada por un termostato que regula la temperatura para que esté estable durante todo el proceso; esta temperatura puede estar desde los 26 hasta 32 grados centígrados. El termostato debe trabajar en conjunto con un microcontrolador y un calentador de agua para el correcto funcionamiento. El termostato es el encargado de mantener la temperatura constante a cierto punto predeterminado, esto se da mediante la apertura o el cierre de un circuito eléctrico en función de la temperatura requerida. El calentador transmite la energía requerida al agua que está por encima de la temperatura ambiente. El calentador de agua que se utiliza en este prototipo es de tipo de almacenamiento automático debido a la

presencia del termostato para el control de temperatura. Existe una transferencia de calor por convección en el proceso de calentar el agua debido a que el fluido está en contacto con la superficie sólida del calentador produciendo un intercambio de energía térmica.

Dentro del mundo de la electrónica existen diversos tipos de control dependiendo del uso que se requiera, por ejemplo, mediante el uso de microprocesadores y microcontroladores. Existe una gran diferencia entre ambos para usos en aplicaciones reales. Por un lado, a un microprocesador se le debe conectar externamente componentes como buses de transmisión de datos, memoria, convertidores, etc., para que se pueda utilizar de una manera efectiva. Por otro lado, un microcontrolador es un circuito que controla solo una actividad a la vez programada en su memoria y tiene todos sus componentes integrados en su chip. Adicionalmente se trabaja en conjunto con una termocupla (mide la diferencia de temperatura entre dos puntos mediante la variación de voltaje) para poder mostrar la temperatura del agua en el proceso de impresión por transferencia en agua.

Para el proceso de control existen varios métodos como termostatos semi-automáticos o controles de temperatura manuales que se utilizan dependiendo de lo que se requiera controlar, sin embargo, se implementará un sistema de control automático como se menciona previamente con elementos básicos electrónicos como arduino mini (microcontrolador), potenciómetros (resistor variable mecánico), pantalla LCD, etc.

La impresión en agua por transferencia nace hace más de 30 años en Europa y luego hizo su expansión a China donde se perfeccionó por completo la técnica. (Arai, E., Kamei, K., Kawasaki, A., Shirai, K., & Orihara, Y., 1978). Antes que la patente sea registrada hubo una compañía que reclamaba la misma. Taica Corporation es la primera compañía en tratar de

registrar la patente en 1974 pero no lo logró ya que se demostró las distintas fallas por los porcentajes de sustancias en los reactivos utilizados, llegando a la conclusión que fue descubierta por accidente. Luego en 1976, Shizuko Cubic Co. que cambió su nombre a Cubic Co. Ltda en 1989 fue la encargada de patentar la técnica de impresión por transferencia en agua registrando una máquina para realizar la técnica de manera industrial. Finalmente los investigadores Yizhong Zhang, Chunji Yin, Kun Zhou de la Universidad de Zheijiang y Columbia crean un software de precisión para la impresión por transferencia en agua, este software fue presentado en Los Ángeles en el evento SIGGRAPH (reuniones anuales de la comunidad mundial dedicados a gráficos por ordenador y técnicas interactivas) en Agosto de 2015 con el nombre de “Computational Hydrographic Printing”. Este nuevo software permite la alineación precisa de las superficie de un objeto 3D y calcula una imagen en color para obtener un registro exacto de las texturas que posee el objeto.

La impresión por transferencia en agua se desarrolló para facilitar el diseño sobre superficies planas y no planas como curvas y piezas con formas irregulares en la industria automotriz mayormente; donde, se ha implementado para hacer acabados superficiales a piezas que mejoran la estética de los vehículos. En el Ecuador la impresión por transferencia en agua es nueva y aún no es utilizada por las ensambladoras de autos debido a que no se tiene el conocimiento claro sobre la técnica. Existen varios talleres automotrices en el país que están tratando de implementar y perfeccionar la impresión en agua por transferencia debido al poco tiempo que demanda realizar una impresión con esta técnica. Las máquinas que actualmente trabajan en el mercado ecuatoriano son importadas con un costo de alrededor de 15 mil dólares dependiendo del tamaño que se requiera. Las máquinas para hacer la impresión por transferencia en agua constan de varios elementos que serán

modificados para realizar el prototipo desde la tina a utilizar hasta los componentes electrónicos para el control de temperatura.

En cuanto al recipiente usado para el proceso de transferencia, se citan a continuación algunas consideraciones. Existen varias maneras de limpiar, por ejemplo: acero, en el mercado dependiendo el tipo de uso que tiene el acero y el grado de limpieza que requiere como por ejemplo usando desengrasantes, desinfectantes, desincrusantes, etc. Para el contenedor metálico del prototipo de impresión en agua por transferencia se requiere limpiar la tina una vez por semana siendo el grado de limpieza de la tina metálica leve. Se utilizará simplemente cloro de uso doméstico NaClO (hipoclorito de sodio) disuelto en agua. (Zoller, s/f). El cloro fue utilizado principalmente para el blanqueamiento de tejidos textiles, sin embargo, al transcurrir el tiempo se va dando usos como desinfectante ya que al entrar en contacto con la suciedad rompe la cadena de moléculas eliminando el moho liberando oxígeno activo descomponiendo en esencia las proteínas de los microbios. Para la limpieza y preparación de la superficie de los objetos para ser impresos en agua por transferencia se utilizará un diluyente conocido como thinner (disuelve sustancias insolubles en agua) debido a su gran eficacia para eliminar aceites, grasas, restos de pintura que pudieran existir en la superficie del objeto.

La pintura automotriz ha sido fundamental a través de los años ya que su función no solo es la de darle un aspecto superficial más atractivo a la pieza si no de prevenir la corrosión (deterioro del metal debido a la exposición que tiene en su entorno mediante una acción electroquímica) del metal. (Pfanstiehl, 1998), dentro de las distintas capas de pinturas no ferrosas como el Wash Primer (mejora la adherencia en las superficies no ferrosas), Primer, ayuda a prevenir el óxido de la pieza (pintura base), Acabado de pintura (color de la

pintura de acabado) y Laca (pintura de protección), se aplicará una capa de protección (primer) al recipiente metálico contenedor del agua para evitar la corrosión y un acabado de pintura para fondo de los objetos que se utilice para realizar la técnica de impresión por transferencia en agua.

Existen diversos factores en consideración de la calidad de la impresión por transferencia en agua, como por ejemplo, el tiempo de duración del diseño impreso sobre el objeto 3D, así como, la corrosión que pueda sufrir el objeto y la protección que brinda la película ante este deterioro; que pueden afectar a la técnica de impresión en agua por transferencia. (A. Ahmed, M. Mhaede, M. Wollmann, L. Wagner, 2014). La corrosión atmosférica es una de las mayores causantes de corrosión debido a que la gran mayoría de piezas están expuestas al ambiente. Dentro de este tipo de corrosión tenemos como factor agravante la humedad que se presenta sobre el objeto, la dimensión de corrosión que tenga cierto objeto depende mucho del tiempo que una película de humedad permanezca en la superficie de cualquier objeto, siendo los metales y aleaciones los más propensos a la corrosión.

Un ensayo de corrosión puede ser realizado mediante ensayos acelerados o ensayos de exposición en atmósferas naturales. El ensayo que se utiliza para determinar la resistencia que tiene la película impresa sobre la superficie del objeto 3D, es el ensayo de corrosión acelerado mediante una cámara salina (ASTM B117-03,) este procedimiento involucra el pulverizado de una solución salina sobre las muestras a ensayar. Este ensayo se realiza a temperatura controlada y el medio es una solución salina al 5% de cloruro de sodio (NaCl). La superficie del objeto dentro de la cámara salina debe estar a una temperatura de exposición de  $33 \pm 1.1 - 1.7$  °C. Para el ensayo de corrosión requerido se utiliza un acero

(SAE – AISI 1018). Los recubrimientos para que puedan actuar de manera satisfactoria deben adherirse firmemente al sustrato (se relaciona a la superficie donde un recubrimiento se adhiere, acero, concreto, etc.), donde son aplicados. (Peterson, S., Clay, M., Sherman, F., Farmer, M., Carroll, T., 2016), la adhesión en la técnica de impresión por transferencia en agua es el resultado de los componentes químicos del activador suavizando la capa de la película hidrosoluble permitiendo que la tinta forme una unión con el activador. Normalmente uno de los problemas más comunes de adhesión es la cantidad de activador aplicado ya sea demasiado o muy poco. Los enlaces presentados por la reacción química del activador y de la película hidrosoluble son de tipo covalente formado por átomos no metálicos, la adhesión va creciendo a medida que se va secando la imagen impresa luego de haber lavado la pieza en el agua, los enlaces presentados pueden ser iónicos – covalentes (McDaniel, S., Wales, M., Rawlins, J., Cipi, Pirro., Williams, e., Carvajal, J., 2010), dependiendo del sustrato ya que el nitrato de celulosa (utilizado para preparar la superficie del agua) tiene poca resistencia química y puede ser disuelto fácilmente por los componentes químicos del activador ocasionando que los enlaces dependan exclusivamente de los enlaces covalentes que tiene la película con los componentes del activador y la superficie del sustrato donde se quiere adherir el diseño. Para evaluar la adherencia que tiene la película sobre la superficie de un objeto se utiliza la norma ASTM D 6677 – 01 que indica el procedimiento para evaluar la adherencia que tiene una película sobre un sustrato utilizando un cuchillo. (ASTM, 2001 ). Este método es utilizado para establecer si la adherencia de un recubrimiento a un sustrato o sobre otro recubrimiento tiene un nivel adecuado en general. Este método (ASTM D 6677 – 01) de evaluación no tiene ninguna relación con otros ensayos de adherencia que involucran (tirar, cinta adhesiva, etc.),

existe una mayor explicación en los métodos de evaluación ASTM D 2197, ASTM D3359 Y ASTM D 4541 para los ensayos mencionados anteriormente. La adherencia es determinada realizando un corte en forma de “X” en la película del recubrimiento hasta el sustrato y levantando el recubrimiento con un cuchillo. La adherencia es evaluada cualitativamente en una escala de 0 hasta 10, como se describe en la tabla 3.

Tabla 3: (ASTM, 2001). Sistema de puntuación para la adhesión de un recubrimiento sobre un sustrato utilizando un cuchillo.

Puntuación	Descripción
10	El recubrimiento es extremadamente difícil de remover, los fragmentos no son más grandes de aprox. 0.8 x 0.8 mm.(removidos con gran dificultad)
8	El recubrimiento es difícil de remover, los fragmentos van desde aprox. 1.6 x 1.6 mm hasta 3.2 x 3.2 mm. (removidos con dificultad)
6	El recubrimiento es de alguna manera difícil de remover, los fragmentos van desde aprox. 3.2 x 3.2 mm hasta 6.3 x 6.3 mm (removidos con ligera dificultad)
4	El recubrimiento es de alguna manera difícil de remover, los fragmentos son más grandes que 6.3 x 6.3 mm. (removidos ejerciendo una ligera presión con el cuchillo)
2	El recubrimiento es removido con facilidad, una vez que se empieza con el cuchillo se puede utilizar los dedos para seguir removiendo el recubrimiento alcanzando por lo menos los 6.3 mm de largo.
0	El recubrimiento puede ser pelado fácilmente del sustrato con fragmentos mayores a 6.3mm de largo.

Existe muy poca información reportada sobre la adherencia que tiene el recubrimiento del acabado final sobre la superficies de un objeto utilizando. En el siguiente ejemplo, Un cuchillo como utensilio se utilizó para proceder mediante una norma estandarizada a evaluar la adhesión en este proyecto. Cerakote es una empresa especializada en evaluar recubrimientos Cerakote realizó diferentes ensayos a diferentes grupo de partes con dos recubrimientos diferentes como protección luego de haber impreso la película. Los ensayos realizados fueron realizados bajo la norma ASTM: D3359 correspondiente para “pencil hardness, D7027 para scratch hardness, D3359 para adhesión, D522 para mandrel bend, D256 para impact, D523 para gloss and thickness”. Las piezas fueron puestas un recubrimiento utilizando diferentes métodos. El primer grupo fue recubierto con H-199 Desert sand a una tasa de endurecedor de 24:1, expuesto por 5 minutos a 160 °F utilizando “Mossy Oak Brush with 2010 activator”. El segundo grupo fue recubierto con H-199 Desert sand a una tasa de endurecedor de 24:1, expuesto por 10 minutos a 160 °F utilizando “Mossy Oak Infinity with 3350 activator” y luego expuesto a 330°F por 45 minutos. El grupo final fue recubierto con H-199 Desert sand a una tasa de endurecedor de 24:1, expuesto por 5 minutos a 160 °F utilizando “Mossy Oak Brush with 3350 activator “ expuesto a 250°C durante 2 horas. Estos recubrimientos son diferentes en su composición utilizaro para desarrollar esta técnica. La tabla 4 muestra el resultado del primer grupo de panelesTMossy Oak Brush with 2010 activator), en la tabla 5 se observa el resultado del segundo grupo de paneles (Mossy Oak Infinity with 3350 activator) y en la 6 se observa el resultado para el grupo final (Mossy Oak Brush with 3350 activator).



Tabla 4 : ASTM results for Group 1 (Mossy Oak Brush with 2010 activator)

Test	Mossy Oak Brush with 2010 activator 5 min flash
Thickness (mils)	0.7-1.1
Gloss	5.7
Pencil Hardness	7h
Scratch Hardness	7h
Adhesion	3B
Mandrel Bend	0 mm loss
Impact (Direct)	160 inch-lbs
Impact (Indirect)	160 inch-lbs

Tabla 5 : ASTM results for Group 2 (Mossy Oak Infinity with 3350 activator)

Test	Mossy Oak Infinity with 3350 activator 5 min flash	Mossy Oak Infinity with 3350 activator 4 min flash	Mossy Oak Infinity with 3350 activator 3 min flash
Thickness (mils)	0.4-1.25	0.5-1.0	0.5-1.2
Gloss	7.2	6.6	7.9
Pencil Hardness	6h	6h	6h
Scratch Hardness	6h	6h	6h
Adhesion	2B	2B	1B
Mandrel Bend	0 mm loss	0 mm loss	0 mm loss
Impact	160 inch-lbs	160 inch-lbs	140 inch-lbs
Impact (Indirect)	160 inch-lbs	160 inch-lbs	60 inch-lbs

Tabla 6 : ASTM results for Group 3 (Mossy Oak Brush with 3350 activator)

Test	Mossy Oak Brush with 3350 activator 5 min flash	Mossy Oak Brush with 3350 activator 4 min flash	Mossy Oak Brush with 3350 activator 3 min flash
Thickness (mils)	0.4-1.0	0.5-1.0	0.5-1.2
Gloss	3.5	3.5	3.7
Pencil Hardness	7h	6h	4h
Scratch Hardness	6h	5h	4h
Adhesion	5B	5B	5B
Mandrel Bend	0 mm loss	0 mm loss	0 mm loss
Impact	160 inch-lbs	160 inch-lbs	160 inch-lbs
Impact (Indirect)	160 inch-lbs	160 inch-lbs	160 inch-lbs

La combinación que tiene el mejor resultado conjunto es la Mossy Oak Brush with 3350 activator 5 min flash, posee una adhesión ASTM 5B muy buena ( los bordes de los cortes están completamente suaves, ninguno de los cuadrados de lattice está separado).

Este proceso se lo realizó bajo la norma ASTM D3359 que mide la adhesión de un recubrimiento sobre un sustrato metálico aplicando y removiendo fragmentos de cortes hechos en la película utilizando cinta adhesiva.

Dentro del mercado ecuatoriano existe muy poca competencia para realizar acabados estéticos con la técnica de impresión por transferencia en agua. La falta de conocimiento sobre los componentes necesarios y sobre los reactivos a utilizar ha hecho que no exista un mercado específico de competencia. Se pretende implementar la técnica de impresión en agua por transferencia hacia un mercado que abarque mucho más que el sector automotriz que es en donde, actualmente, se utiliza con mayor frecuencia. Para implementar este tipo de acabado sobre superficies en el mercado automotriz, primero se utilizará el producto final obtenido en el aro de un automóvil y se hará una encuesta para verificar la aceptación de la gente sobre el producto. La opinión de personas especializadas en venta y distribución de aros es la que mayor importancia tiene en cuestión económica ya que serán ellas las encargadas de comercializar el producto final y de proveer la materia prima para las impresiones. Se pretende encuestar a personas (consumidores) para saber su opinión sobre el tema y sus comentarios acerca de los diseños y posibles cambios para mejorar el producto final. Según los resultados obtenidos en el estudio de mercado se tratará de implementar un plan de negocios en conjunto con las ganancias posibles que pudiera generar el entrar al mercado para implementar la técnica a una mayor escala y utilizar esta técnica para entrar a distintos mercados como se mencionó anteriormente.

## DESARROLLO DEL PROCESO

La técnica de impresión de un diseño por transferencia en agua sobre un objeto 3d consta de varios elementos físicos que deben ser considerados, uno de ellos es la cuba para impresión.

### Cuba para Impresión.

Se procedió a modelar los componentes del prototipo en el software autodesk inventor 2015 para así tener claro las dimensiones.

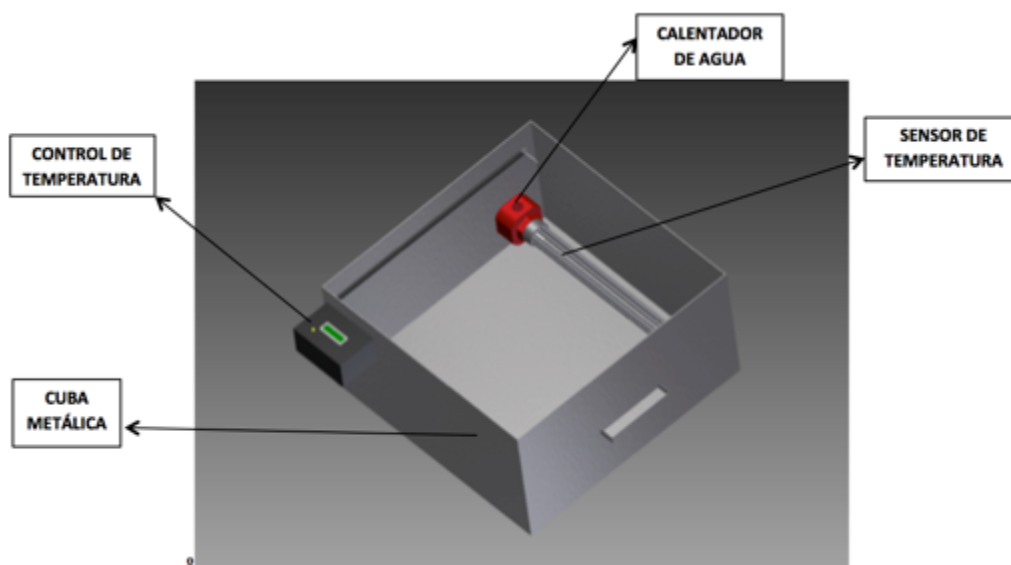


Figura 1: Modelado Autodesk Inventor

En la figura 1 se puede observar el prototipo a ser construido donde la cuba contenedora será llenada en un 80% de agua y será calentada a 32°C. Esta temperatura será controlada por el termostato (caja negra) para que no varíe al momento de realizar la técnica de impresión. Se prepara la superficie de la pieza y se le da un color de base (si prefiere), a continuación se coloca la película hidrosoluble sobre la superficie del agua que se encuentra en el recipiente contenedor. Se aplica el activador sobre las superficie de la

película y se procede a sumergir la pieza para realizar la impresión del diseño deseado sobre la superficie del objeto 3d. Se da un acabado con laca para proteger y resaltar el acabado final.

Para realizar la construcción del prototipo se procedió a cortar planchas de acero tipo astm a36 (acero estructural al carbono normalmente utilizado en estructuras metálicas, puentes, etc.) de 3 mm para el contenedor de agua metálico con dimensiones (0.65m x 0.645m x 0.34 m). Las planchas de acero a 36 están unidas por medio de soldaduras para formar el contenedor, según la (aws d1, v2010) el proceso de soldadura (eps) se lo realizó con un electrodo 6011 según la aws (american welding society). Se aplica la soldadura con arco.

A continuación, al contenedor se procede a recubrirlo con una base anticorrosiva (base de pintura que se le da a la superficie del metal para evitar la oxidación) por medio de aspersion (debido a la geometría de la figura). La base anticorrosiva consta de componentes químicos como el ácido etilendiaminotetraacético o edta (sustancia que crea complejos con un metal) y el silicato de sodio (previene la corrosión) que protege al metal de la corrosión que puede existir por el contacto constante con el agua.

Se limpia perfectamente la superficie del objeto con thinner (disolvente de aceite y grasas) para asegurarse que no exista algún tipo de impureza que pudieran modificar el acabado o la impresión del diseño en la superficie. Una vez limpia se procede a utilizar pintura base automotriz (primer) para darle una capa base al objeto y a su vez sirva como fondo para la imagen luego a colocarse en la impresión en agua por transferencia.

## Procedimiento.

Se llena el contenedor metálico de agua potable común en un 70% y se procede a encender el termostato para que el agua alcance los 30 °c donde luego se apagará automáticamente.

(Arai, Kamei, Kawasaki, Shirai, & Orihara, 1978). Se prepara el sustrato (imagen/diseño impreso) en la película a un pre-tratamiento con un solvente común asegurándose que la tinta que está sobre la superficie sea de un colorante dispersable (dispersable dye). Según la patente us4148779, (Blackwell, S. E., Barton, K. R., 1977) existen varias combinaciones de soluciones de colorante detalladas en la tabla 4, a continuación:

Tabla 7: (Blackwell, S. E., Barton, K. R., 1977). Ejemplos de resinas para soluciones de colorantes

Examples of Resins Useful for Preparing Water-Dispersible Solutions of Dyes						
Resin No.	Water-Dispersible Polyester	Parts by Wt.	Dicarboxylic Acid	Parts by Wt.	Antiblocking Agent	Parts by Wt.
1	90/10 isophthalic acid/5-sodiumsulfoisophthalic acid and diethylene glycol	60	Adipic	40	Stearic acid	10
2	90/10 isophthalic acid/5-sodiumsulfoisophthalic acid and diethylene glycol	60	Sebacic	40	—	—
3	90/10 isophthalic acid/5-sodiumsulfoisophthalic acid and diethylene glycol	60	Adipic	40	—	—
4	92/8 isophthalic acid/5-sodiumsulfoisophthalic acid and diethylene glycol	55	Adipic	45	Palmitic acid	5
5	92/8 isophthalic acid/5-sodiumsulfoisophthalic acid and diethylene glycol	60	Azelaic	40	N,N'-ethylene bisstearamide	2.5
6	92/8 isophthalic acid/5-sodiumsulfoisophthalic acid and diethylene glycol	70	Adipic	30	Talc	5
7	90/10 isophthalic acid/5-(4-sodiumsulphophenoxy)isophthalic acid and triethylene glycol	50	Cyclohexane 1,3-dicarboxylic acid	50	Stearic	2
8	90/10 isophthalic acid/5-sodiumsulfoisophthalic acid and diethylene glycol	100	—	—	—	—
9	90/10 isophthalic acid/5-sodiumsulfoisophthalic acid and diethylene glycol	30	Adipic	70	—	—
10	90/10 isophthalic acid/5-sodiumsulfoisophthalic acid and diethylene glycol	80	Adipic	20	—	—
11	85/15 isophthalic acid/5-sodiumsulfoisophthalic acid and 70/30 diethylene glycol and 1,4-cyclohexanedimethanol	100	—	—	—	—

De los ejemplos ilustrados en la tabla 7 la resina número 7 es la que se utiliza como tinta de la impresión en la película hidrosoluble (synthetic water-soluble polymer), esto es debido al tipo de ácido dicarboxílico que posee la resina (cyclohexane 1,3- dicarboxylic acid), este ácido se encuentra en la resina con una concentración entre 40-70 % y permite que al momento de reaccionar con el activador no pierda sus componentes y se disuelva con la película.

A continuación se coloca el diseño impreso en la película hidrosoluble sobre la superficie del agua asegurándose que no existan burbujas de aire ya que las mismas pueden hacer que al momento de sumergir la pieza se provoque rupturas y queden lugares vacíos sobre la superficie del objeto.

Se procede a cubrir la superficie de la película con el diseño con un activador (solvente) para que reaccione con el agua y la misma comience a disolverse en el agua dejando así solamente el diseño flotando sobre la superficie.

A continuación se presenta en la figura 2 un aro de un automóvil mazda 3 del 2008 que se utilizará para aplicar la técnica de impresión por transferencia en agua.



Figura 2: Aro Automóvil ( diámetro = 45 cm , altura = 15 cm)

En la figura 3 se observa el aro pulido, con un color plata de fondo.



Figura 3: aro con superficie pulida y puesto color plata como base

La figura 4 muestra un vaso de precipitación con el reactivo para preparar la superficie del aro previo a ser sumergido con la cuba metálica. La composición del reactivo es: nitrato de celulosa en un 70 % (resina), tolueno en un 20% (solvente) y acetona en un 10%(solvente).

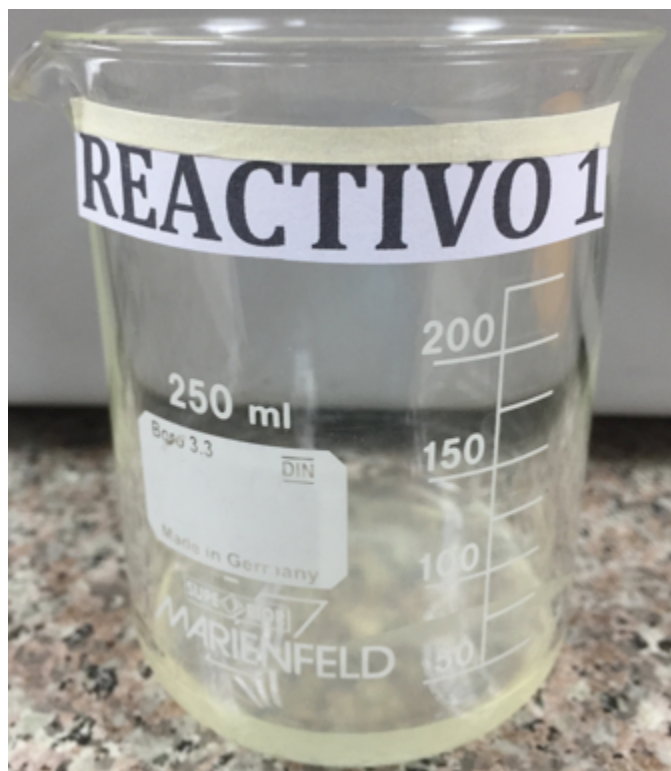


Figura 4: reactivo para preparación de la superficie de la pieza (nitrato de celulosa en un 70 % (resina), tolueno en un 20% (solvente) y acetona en un 10%(solvente))

En la figura 5 se observa el aro con el reactivo aplicado en la superficie.





Figura 5 : aro con reactivo en la superficie

La figura 6 muestra el recipiente metálico lleno alrededor de un 70% con agua y el calentador utilizado para calentar la misma hasta lo 30 °c.

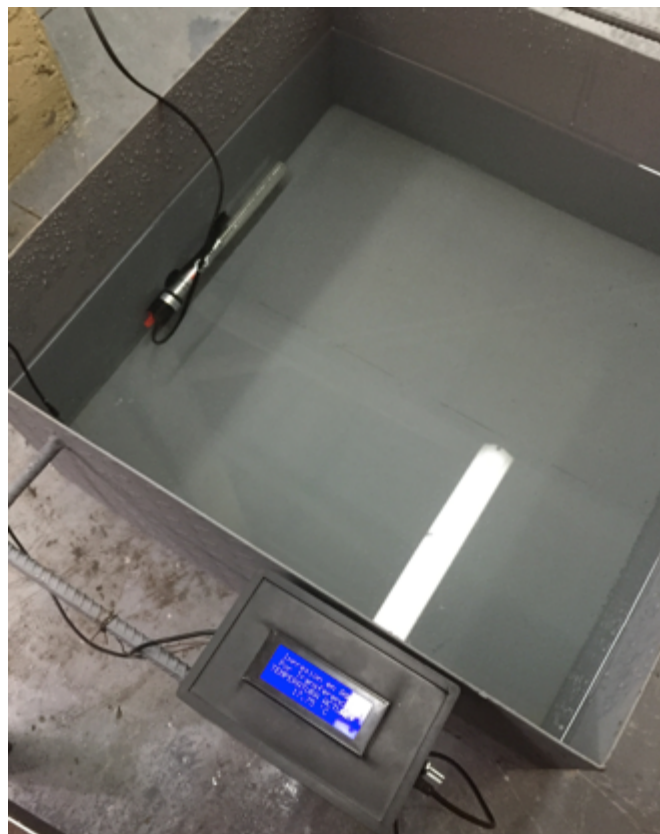


Figura 6 : cuba metálica, calentador de agua

En la figura 7 se observa el control de temperatura mostrando la temperatura actual del agua.



Figura 7: control de temperatura

La figura 8 muestra la película con el diseño a ser impreso por transferencia en agua, de dimensiones ( 50 cm x 50 cm)

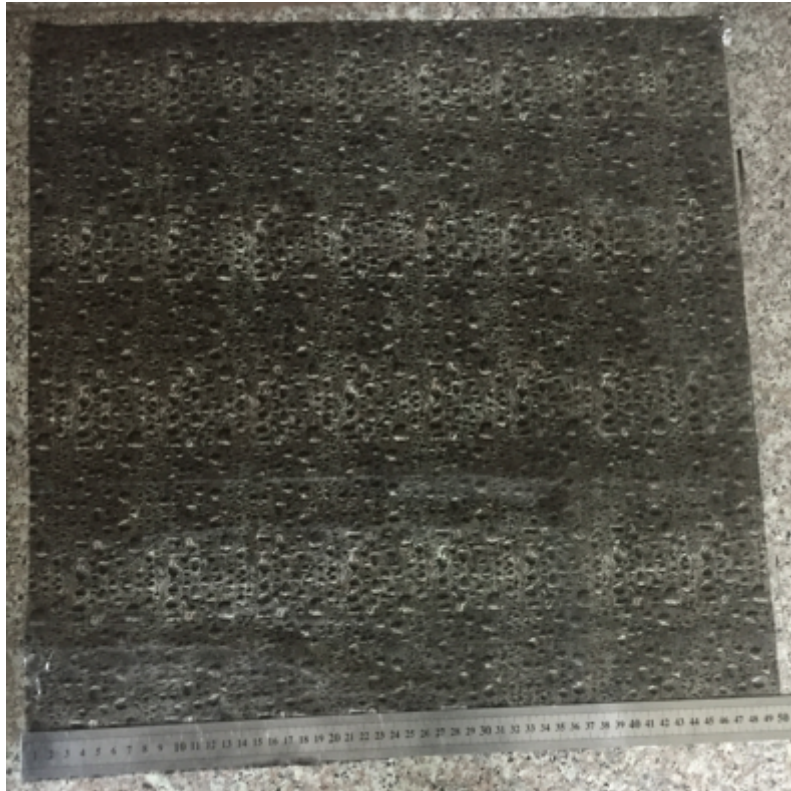


Figura 8: película hidrosoluble (50 x 50 cm)

En la figura 9 se observa un vaso de precipitación con el activador en su interior, el activador consta de 3 solventes en un porcentaje de 40 % de xileno, 30 % de thinner sin hexano y xileno y con la menor concentración de tolueno, y otro 30% de thinner acrílico (sin xileno).

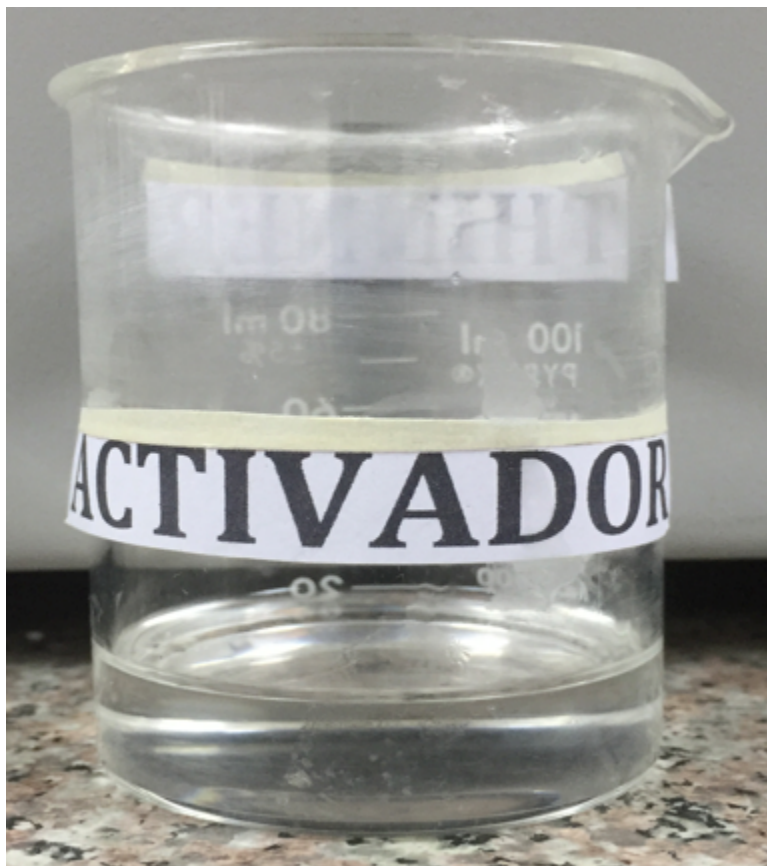


Figura 9: activador ( 3 solventes en un porcentaje de 40 % de xyleno, 30 % de thinner sin hexano y xyleno y con la menor concentración de tolueno, y 30% de thinner acrílico (sin xyleno)).

A continuación se sumerge lentamente la pieza con la cara de la superficie donde se quiere tener la imagen en contacto con el diseño de la superficie sobre el agua, teniendo cuidado en que la imagen no se vaya deformando a medida que se va sumergiéndose la pieza.

Una vez introducido por completo el objeto se procede a dejarlo por 30 segundos más dentro del agua y se procede a retirar los restos de la imagen que no se usaron y se encuentran en la superficie previo a sacar la pieza del agua.

Se retira la pieza del agua y se procede a lavarla cuidadosamente para luego dejarla secar a temperatura ambiente durante unos 30 minutos. Finalmente se procede a dar una



capa de laca (pintura protectora) para darle más brillo y que la impresión realizada tenga una mayor duración sobre la superficie de la pieza.

En la figura 10 se observa el aro con la película impresa en la superficie luego lista para el recubrimiento de protección.



Figura 10: Diseño impreso sobre la superficie del aro

En la figura 11 se observa 3 sustancias, la mezcla de las tres sustancias debe ser 2 -1 - 1, es decir, 2 partes de brillo, 1 de endurecedor , 1 de thinner para obtener la mejor capa de protección posible.



Figura 11: brillo, endurecedor, thinner

En la figura 12 se puede observar el aro del automóvil terminado.



Figura 12: acabo final aro

Una vez realizado el paso final se pretende determinar la calidad de la película impresa sobre la superficie de los objetos, se llevará a cabo un ensayo de corrosión acelerado.

### **Ensayo de Corrosión**

Para este ensayo de corrosión se limpia la superficie de los objetos y se procede a pesar los mismos en una balanza de precisión, a continuación se prepara la cámara salina teniendo en cuenta que se debe tener una mezcla de solución salina de 50 g( $\pm$  5 g) de sal por cada litro de agua destilada. Después, se introduce las piezas a ensayar dentro de una cámara salina, luego la solución salina es pulverizada como niebla que se adhiere en la superficie de las muestras. La cámara se mantiene a una temperatura constante y como las muestras se encuentran humedecidas todo el tiempo se tendrá una corrosión continua. Por último, se procede a retirar las piezas de la cámara luego de haber pasado 6 horas dentro de la misma y se procede a pesarlas en la balanza de precisión para determinar la diferencia de masa obtenida por el ensayo de corrosión. Como el ensayo realizado es por norma (astm B117-03) se deberá regir por la misma para determinar el grado de corrosión que tuvo la superficie del objeto. Se utilizaron un total de 9 probetas de acero SAE – AISI 1018 para observar una posible corrosión del material y de la película sobre el mismo, la distribución que se utilizó fue de 3 probetas sin ningún tipo de recubrimiento en la superficie, 3 probetas con un recubrimiento solo de la película impresa y 3 probetas con acabado final de brillo y endurecedor.





Figura 13: cámara salina según norma ASTM B117 - 03

En la figura 13 se observa la cámara salina donde estarán las probetas por un período de 6 horas.

La figura 14 muestra las probetas utilizadas para realizar el ensayo de corrosión.



Figura 14: probetas utilizadas para el ensayo de corrosión



## Ensayo de Adherencia

Para determinar la adherencia de la película sobre el sustrato (acero sae – aisi 1018) se procede a usar el método de evaluación bajo la norma ASTM D 6677 - 01. Primero, se limpia el área seleccionada asegurándose que esté libre de defectos e imperfecciones, a continuación, utilizando un cuchillo y una guía para hacer los cortes rectos, se hacen dos cortes en el recubrimiento con un ángulo de 30 ° a 45° entre cortes formando una “x”. Cada corte debe ser de un mínimo de 38.1 mm de largo. Se elimina cualquier recubrimiento que pudo haberse desprendido durante este proceso. A continuación, utilizando la punta del cuchillo y empezando en un vértice del ángulo formado, se trata de levantar el recubrimiento del sustrato. Finalmente se utiliza la tabla 3 para determinar en una escala del 1 al 10 la adherencia que tiene el recubrimiento.

En la figura 15 se observa una de las probetas utilizadas sólo con el recubrimiento del diseño sobre la superficie.



Figura 15: probetas solo con recubrimiento de la película

La figura 16 muestra una probeta con recubrimiento de brillo y endurecedor para protección (acabado final).



Figura 16: probetas con recubrimiento (brillo y endurecedor)

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación se presentan los resultados obtenidos luego de haber realizado la técnica de impresión por transferencia en agua.



Figura 17: acabado final pieza pequeña

En la figura 17 se puede observar el acabado final luego de haber sido implementado a un par de orejeras de uso industrial la técnica de impresión por transferencia en agua sobre su superficie.

A la superficie de la pieza presentada en la figura 17 se le realizó un acabado superficial final con brillo y endurecedor.



Figura 18: acabado final pieza mediana (porta alógenos Hyundai Accent 2012 lado derecho)



Figura 19: acabado final pieza mediana (porta alógenos hyundai accent 2012 lado izquierdo)

En la figura 18 y 19 se observa el acabado final de dos porta alógenos de un automóvil hyundai accent 2012. originalmente las piezas eran de plástico color negro y se procedió a pintarlas con un color plata de fondo. finalmente se realizaron dos diseños distintos para cada pieza para observar la estética que pudieran tener ya colocadas en el automóvil.





Figura 20: acabado final aro automóvil (mazda 3).

En la figura 20 se observa el acabado final obtenido para el aro de un automóvil (mazda 3). Para que el acabado final quede con una calidad óptima en cada pieza, se aseguró que el proceso se lo haga de manera cuidadosa teniendo en cuenta la mezcla correcta de reactivos para preparar la superficies de la pieza previo a ser sumergida y la cantidad de activador utilizado para disolver la película hidrosoluble sobre la superficie del agua.

Gran cantidad de problemas al utilizar la técnica de impresión por transferencia en agua se dieron debido al espacio reducido de la cuba contenedora de agua para realizar las pruebas, sobre todo en las orejeras industriales (piezas pequeñas) debido a que se utilizaron vasos de precipitación lo que dificultó la manipulación del objeto al momento de que su superficie entre en contacto con el agua. Otros problemas surgieron a partir de las burbujas de aire que se formaban una vez colocada la película sobre la superficie del agua, esto ocasiona que existan espacios vacíos en el acabado final. La temperatura del agua es un

factor muy importante al realizar la técnica debido a que puede ocasionar que la película que contiene el diseño pierda textura o pueda disolverse completamente en el agua si es que se eleva demasiado, o por el contrario si es muy fría puede ocasionar que el acabado final no sea el deseado teniendo espacios vacíos sin recubrir en toda la superficie del objeto.

El tiempo que permanece la película sobre la superficie del agua previo al uso del activador puede hacer que, si es más del tiempo sugerido (50-60 segundos), la película comienza a hundirse dentro del agua, por el contrario, si es menos del tiempo estipulado, puede que no exista la reacción correcta con el activador y no haya ninguna impresión sobre la superficie del objeto.

El uso de más brillo mezclado con endurecedor para hacer el acabado final no favorece a la pieza en lo absoluto, puede reducir considerablemente la vida de la película, se debe prestar atención al mezclar el brillo, endurecedor y thinner en cantidades exactas (2 partes de brillo, 1 de endurecedor, 1 de thinner) debido a que una cantidad más grande de thinner pudiera desprender la película si no se deja secar el tiempo necesario previo a realizar el proceso. La limpieza de la cuba (recipiente contenedor de agua) es importante para tener un acabado estético de mejor calidad, las suciedades y residuos existentes dentro del recipiente pueden ocasionar que la impresión tenga imperfecciones ocasionando que estos residuos estén presentes entre la película y la superficie del objeto dañando el acabado estético final.

Un ensayo de corrosión permite saber una aproximación de la resistencia a la corrosión de un material en un entorno (ambiente). Una vez concluido el ensayo de corrosión se pudo observar que las piezas de acero sae – aisi 1018 sin ningún tipo de recubrimiento sufrieron una corrosión igual a las probetas solo cubiertas por la película que

contiene el diseño. Sin embargo, las probetas que tuvieron un recubrimiento de laca y endurecedor no sufrieron mucho daño, en términos visuales. Se puede observar las probetas utilizadas para el ensayo de corrosión en la figuras 14 y figura 21 para luego del ensayo respectivamente.



Figura 21: probetas luego del ensayo de corrosión (acero, recubrimiento de la película, brillo y endurecedor).

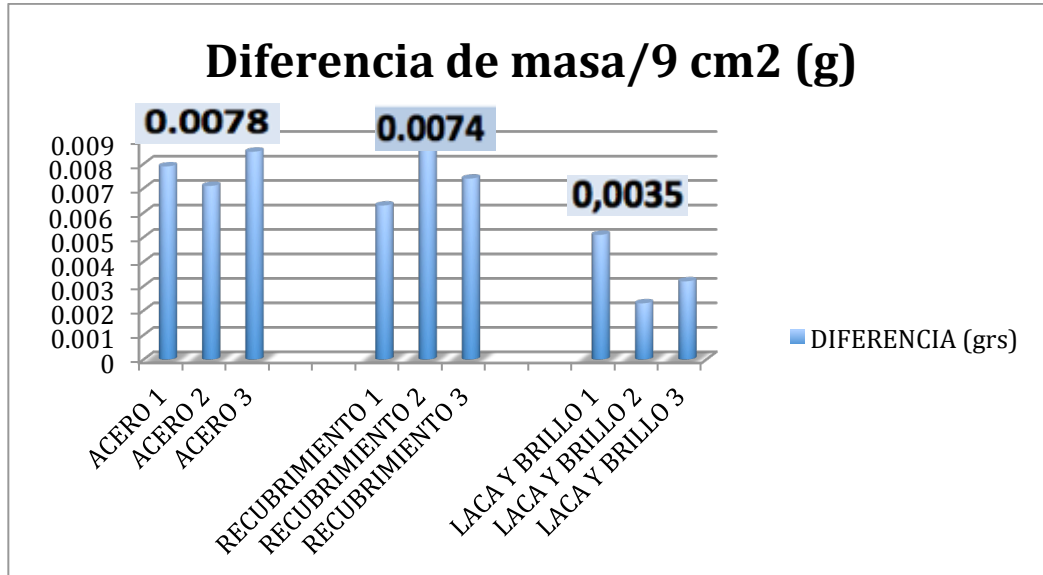


Figura 22 : Diferencia de masa por unidad de área de las probetas ensayadas

En la figura 22 se puede observar la diferencia de masa por una unidad de área de exposición de 9  $cm^2$  de las probetas después de realizado el ensayo de corrosión; para las probetas sin ningún recubrimiento se obtuvo una diferencia de masa promedio de 0.0078 g,

para las probetas con recubrimiento de la película se obtuvo una diferencia de masa promedio de 0.0074 g y finalmente para las probetas con brillo y endurecedor se obtuvo una diferencia de masa promedio de 0.0035 g. Esta diferencia de masa se obtuvo después de 6 horas dentro de una cámara salina utilizando el procedimiento sugerido por la norma ASTM B117-03 (procedimiento y condiciones para crear y mantener un ensayo de ambiente de niebla salina).

Para calcular la tasa de corrosión luego del ensayo se utiliza la ecuación 1:

$$R_{corr} \left( \frac{mm}{año} \right) = 87.6 \left( \frac{W}{DAT} \right)$$

donde:

$R_{corr}$  = tasa de corrosión

w = peso perdido en miligramos

d =

densidad en  $\frac{g}{cm^3}$

a = area de la muestra en  $cm^2$

t = tiempo de exposición de la muestra en horas

reemplazando los valores obtenidos en el ensayo de corrosión en la ecuación 1, tenemos:

para el acero sin recubrimiento:

$$R_{corr} \left( \frac{mm}{año} \right) = 87.6 \left( \frac{0.0078}{\left( (7.87 \frac{g}{cm^3}) (0.914 cm^2) (6 h) \right)} \right)$$

$$R_{corr} = 1.5831 \left( \frac{mm}{año} \right)$$

para el acero con recubrimiento de la película:

$$R_{corr} \left( \frac{mm}{año} \right) = 87.6 \left( \frac{0.0074}{\left( (7.87 \frac{g}{cm^3}) (0.914 cm^2) (6 h) \right)} \right)$$



$$R_{corr} = 1.5019 \left( \frac{mm}{año} \right)$$

para el acero con recubrimiento de brillo y endurecedor:

$$R_{corr} \left( \frac{mm}{año} \right) = 87.6 \left( \frac{0.0035}{\left( (7.87 \frac{g}{cm^3}) (0.914 cm^2) (6 h) \right)} \right)$$

$$R_{corr} = 0.7103 \left( \frac{mm}{año} \right)$$

Se puede observar que las tasas de corrosión para el acero sin ningún recubrimiento y para el acero con el recubrimiento de la película son parecidas lo que permite decir que la película no tiene ningún tipo de protección, sin embargo una aplicación final de brillo y endurecedor como recubrimiento reduce la tasa de corrosión significativamente.

Para las tasas obtenidas de corrosión del acero sin recubrimiento y el acero con la película pudo afectar el valor final el hecho que se debió sacar completamente el óxido en la superficies de las mismas, sin embargo esto hubiera ocasionado que la película se hubiera desprendido en su totalidad de la superficie de la probeta por lo que solo se trató de enjuagar las probetas con mucho cuidado previo a pesarlas luego del ensayo de corrosión, de igual manera se hizo con las probetas de acero sin recubrimiento para que no afecte significativamente al momento de calcular la tasa de corrosión.

Para comprobar la adherencia del recubrimiento en el sustrato (acero SAE – AISI 1018) se utilizó la norma ASTM D6677 – 01, lo que permite mediante la tabla 4 obtener un valor de adherencia en una escala del 1 al 10.

Se analizaron 2 probetas de acero con recubrimiento de la película y 3 probetas de acero con un recubrimiento de brillo y endurecedor. la norma indica que se debe hacer dos cortes en la superficie del recubrimiento en forma de “X” de no menos de 38.1 mm de largo en cada corte. Luego con la punta del cuchillo se trata de levantar la película justo donde se

forma el cruce de los cortes. Finalmente se procede a medir los desprendimientos que se tienen y se va a la tabla 4.

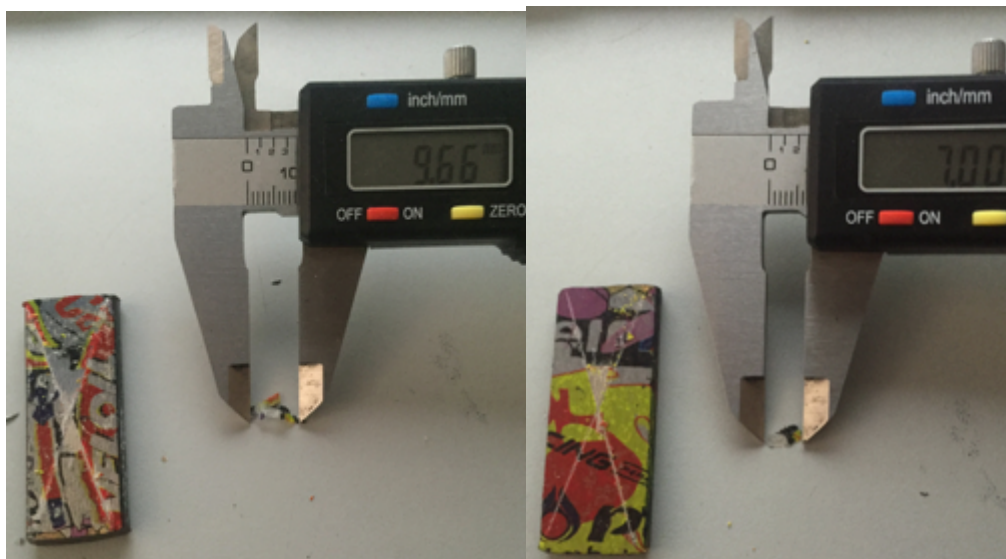


Figura 23: probetas acero con recubrimiento de la película

En la figura 23 se puede ver que la película tiene fragmentos desprendidos de 9.66 mm y 7 mm de largo respectivamente, lo que indica en la tabla 4 que tienen una adherencia de 0 y se puede desprender con gran facilidad de la superficie del acero.



Figura 24: probetas acero con recubrimiento de brillo y endurecedor

En las figura 24 se puede observar que el recubrimiento tiene fragmentos de 3.77, 3.75 y 4.41 mm respectivamente y basándose en la tabla 4 se tiene una adhesión del

recubrimiento de 6 lo que resulta un recubrimiento que se puede remover con ligera dificultad.

### **Estudio de Mercado**

Para el estudio de mercado se utilizó una encuesta realizada a locales especializados en compra y venta de aros para saber la aceptación que tiene el producto final en esta clase de objetos y a su vez, la aceptación de la gente para así poder entrar a un mercado en un futuro.

La encuesta realizada a 15 personas de distintos locales del centro de Quito tuvo los siguientes resultados:

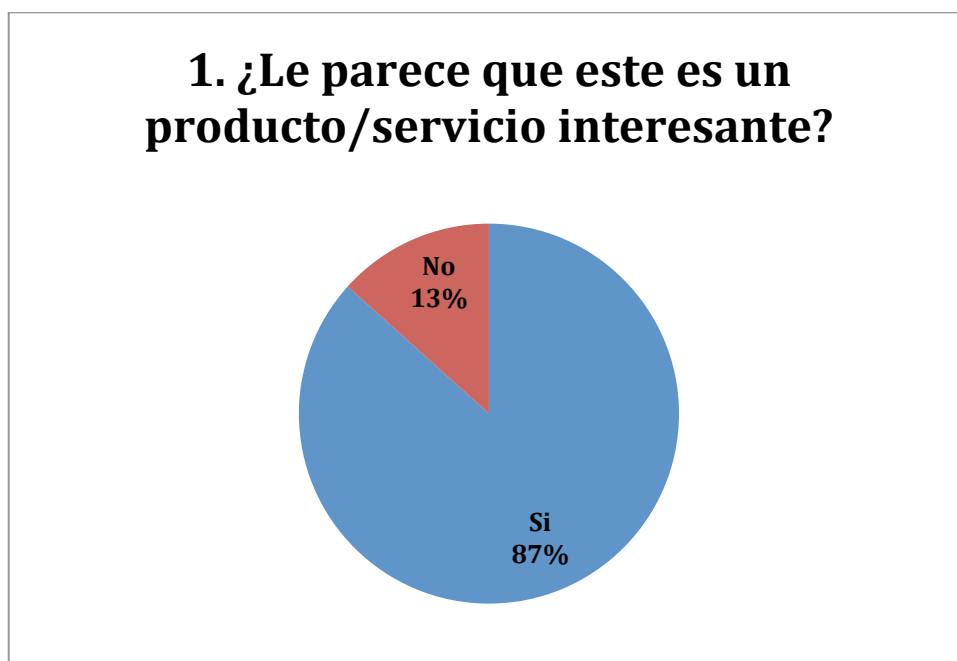


Figura 25 :resultado pregunta 1 encuesta

La figura 25 muestra que solo el 13% de personas encuestada no tuvieron interés en el producto.



Figura 26: resultado pregunta 2 encuesta

En la figura 26 se observa que el 53% de las personas están dispuestas a pagar \$6,00 dólares por una pieza que sea alrededor de 50 cm<sup>2</sup> añadiendo que les parece que es un producto, de muy buena calidad, algo nuevo en el mercado y con un precio adecuado.

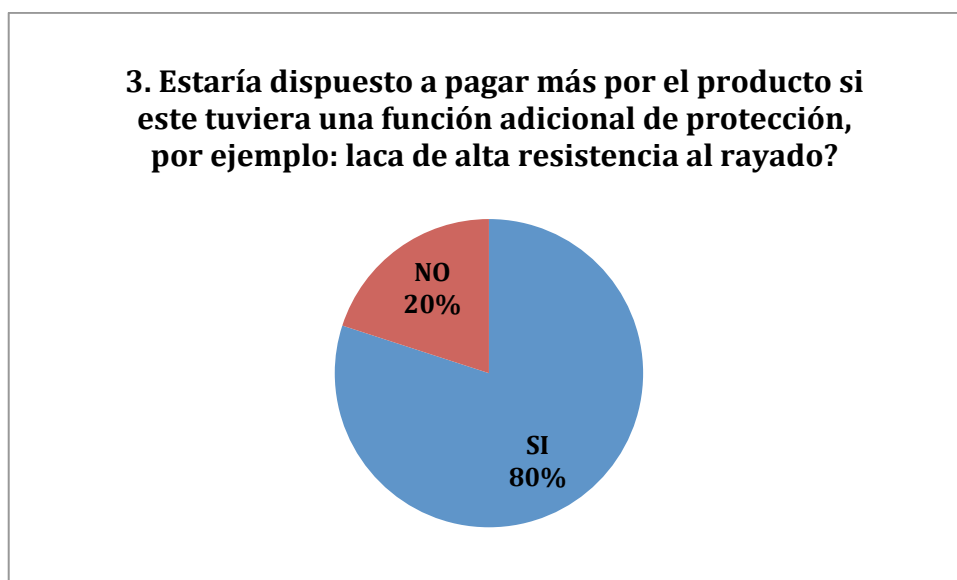


Figura 27: resultado pregunta 3 encuesta

De acuerdo con la gráfica de la figura 27 se verifica que el 80% de las personas encuestadas están dispuestas a pagar más por el producto si tuviera una función adicional

de protección mencionando que en el sector automotriz, es importante que los aros tengan algún tipo de protección que evite el deterioro rápido de la superficie.

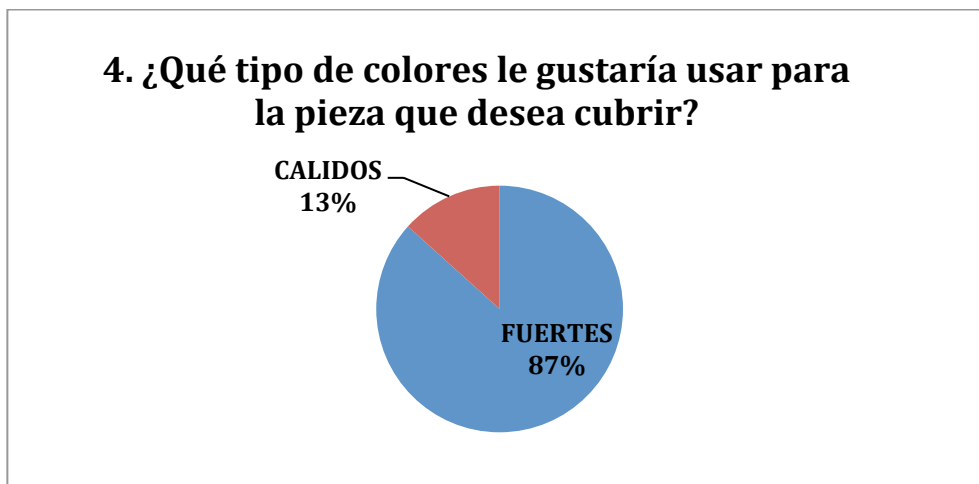


Figura 28: resultado pregunta 4 encuesta

En la figura 28 se observa una inclinación hacia los colores fuertes. La inclinación se debe a que la mayoría de encuestados fueron del género masculino quienes afirman que los colores fuertes llaman más la atención en lo que se refiere a aros.

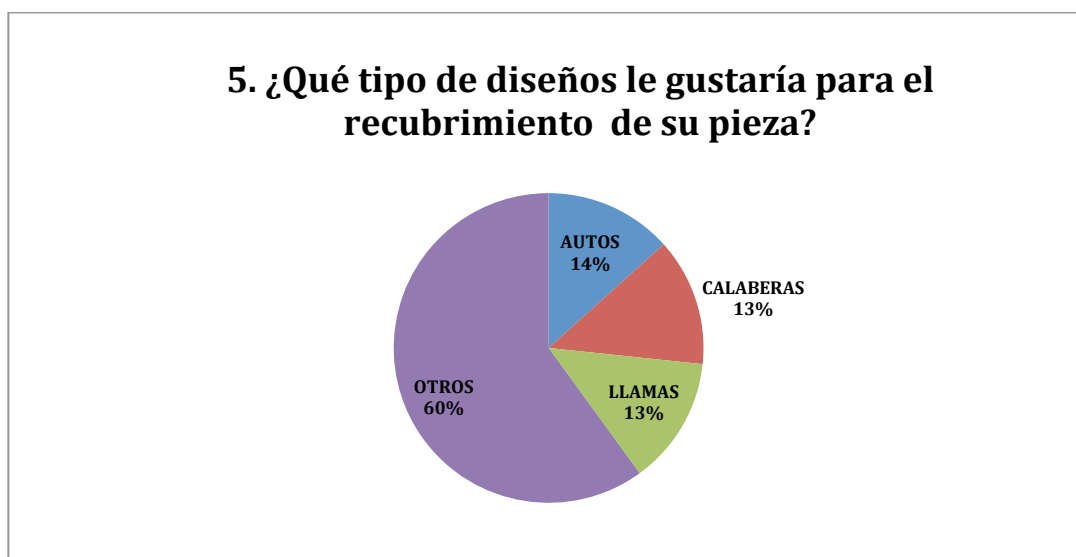


Figura 29: resultado pregunta 5 encuesta

En la figura 29 se observa que las personas no tienen gustos generalizados en cuestión de diseños lo que dificultaría las importaciones al momento de entrar en un mercado teniendo que traer más diseños en menor cantidad. Una posible solución sería adquirir la impresora y la película hidrosoluble para poder realizar cualquier diseño y así tener mayor acogida por parte de la gente interesada en adquirir este servicio.

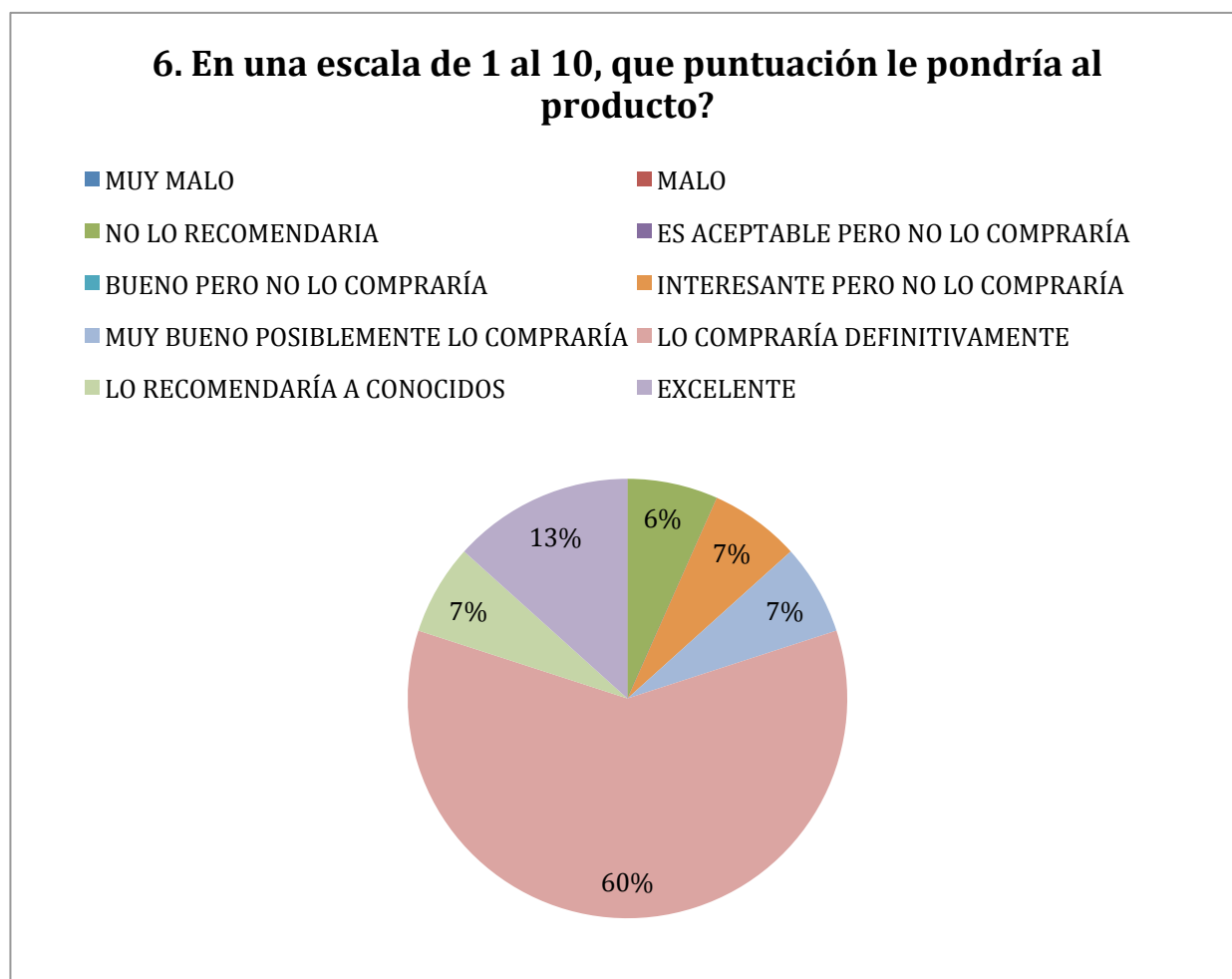


Figura 30: resultado pregunta 6 encuesta

La figura 30 muestra que el 60% mencionó que compraría el producto definitivamente ya que es algo exclusivo para que las personas puedan personalizar

cualquier pieza automotriz, sin mencionar que hubieron personas que dijeron que el producto es excelente y lo recomendarían a otras personas conocidas.

Las personas añadieron como comentario que les parece una idea única dentro del mercado ecuatoriano ya que la personalización de objetos de este tipo (automotrices) tiene futuro principalmente en las personalizaciones denominadas “tunning” realizadas en distintas ciudades del país. Una vez obtenidos estos resultados, se pretende implementar la impresión por transferencia en agua en diferentes mercados distintos al automotriz como por ejemplo en las carcasas de drones, cascos industriales personalizados, laptops con carcasas personalizadas, etc. prestando el servicio a particulares y haciendo convenios y alianzas con industrias dedicadas a la manufactura de este tipo de objetos.

A continuación en la tabla 8 se observa una lista de costos de producción de la técnica de impresión por transferencia en agua.

Tabla 8: costos variables de producción de la técnica impresión por transferencia en agua (costo de material/cantidad de material utilizado para  $1m^2$ )

<b>Cantidad de Material Adquirido/ Utilizado</b>	<b>Costo (USD) Adquirido / Utilizado</b>
Reactivo 250 ml (composición)/20 ml	4 / 0.32
Thinner 1 L/ 20 ml	2.50/ 0.05
Activador 1L / 20 ml	10/ 0.2
Película hidrosoluble que contiene el diseño	10

(1m <sup>2</sup> )	
Laca (Brillo y endurecedor)250 ml/ 20 ml	5/ 0.8
Calentador de agua 1.50 KWh (durante 5 horas)	0.30 USD
Compresor 20 Hp 14.914 KWh (durante 1 hora)	0.59 USD
Agua potable común 90 L	2.72
<b>TOTAL</b>	<b>31.5/14.98</b>

El costo total de producción de la técnica de impresión por transferencia es de 14.98 USD para **1m<sup>2</sup>** de película hidrosoluble sin embargo se deben tener en cuenta los costos de producción fijos como la construcción de la cuba metálica, la construcción del termostato lo que aumentaría el costo de producción. Este valor adicional será distribuido para un largo período para poder recuperar la inversión realizada según se vaya brindando el servicio.



Tabla 9 : costos de producción fijos para la impresión por transferencia en agua

<b>Objeto</b>	<b>Costo Construcción USD</b>
Cuba metálica	40
Control de temperatura	40
Sensor	12
<b>TOTAL</b>	<b>92</b>

Se tiene un costo de construcción de alrededor de 92 USD que se tendrá que recuperar mediante la venta de piezas a medida de que se vaya brindando cada vez más el servicio al público. Existe una depreciación de 0.06 USD por **1m<sup>2</sup>** de impresión, sumado al costo total por **1m<sup>2</sup>**, el total es de 15.04 USD.

## CONCLUSIONES

- Se desarrolló la técnica de impresión por transferencia en agua a una escala semi-industrial ( 3 objetos de diferentes tamaños), para el objeto pequeño (5 X 5 cm) se utilizó un par de orejeras de uso industrial, en el objeto mediano ( 36 X 15 cm), se aplicó la técnica a un par de marcos de alógenos de automóvil (Hyundai accent 2012) y finalmente se desarrolló la técnica de impresión por transferencia en agua a un aro de un automóvil (45 cm diámetro X 15 cm altura)(mazda 3).
- Se determinó la calidad de la película y de un recubrimiento adicional (protección) sobre la superficie de un acero SAE – AISI 1018, mediante un ensayo de corrosión y un ensayo de adherencia. El ensayo de corrosión fue realizado bajo la norma ASTM B117 -03 que explica el procedimiento utilizando una cámara salina, se utilizó un total de 9 probetas para este ensayo, (3 de acero sin recubrimiento, 3 con recubrimiento de la película y 3 con el recubrimiento de brillo y endurecedor), durante 6 horas. Se obtuvo una tasa de corrosión de aprox.  $1.5831 \left(\frac{mm}{año}\right)$  solamente en el acero, una tasa de corrosión de aprox.  $1.5019 \left(\frac{mm}{año}\right)$  en el acero recubierto por la película y una tasa de corrosión de aprox.  $0.7103 \left(\frac{mm}{año}\right)$  con un recubrimiento adicional de protección (brillo y endurecedor).
- Para demostrar la adherencia del recubrimiento (película) y del recubrimiento adicional de protección se procedió a realizar un ensayo de adherencia bajo la norma ASTM D 6677 – 01 utilizando un cuchillo. Esta norma tiene como procedimiento el hacer dos cortes utilizando un cuchillo formando una “X” y con

la punta del mismo tratar de levantar desde el vértice del ángulo formado donde se unen los cortes el recubrimiento del sustrato (acero SAE AISI 1018). Se mide los fragmentos levantados con la punta del cuchillo y mediante la tabla 4 se compara las medidas obtenidas con las especificadas en la norma para saber la adherencia en una escala del 1 al 10 obteniendo un 0 (fácilmente de remover) para el recubrimiento de la película y 6 (ligeramente difícil de remover) para el recubrimiento de brillo y endurecedor.

- Existieron varios errores al utilizar los reactivos (solvente, activador) debido al uso excesivo de alguno de los dos al momento de realizar la técnica. Es un aspecto a mejorar y controlar efectivamente.
- El cambio de temperatura repentino para remover los fragmentos luego de haber hecho la impresión del diseño por transferencia en agua puede arrancar fácilmente la película de la superficie del objeto. El operador debe tener mucho cuidado.
- El desarrollo de la técnica de impresión por transferencia en agua en una escala semi-industrial tiene un amplio mercado en el país con poca competencia en la actualidad. La aplicación más grande de la técnica está en el sector automotriz donde es usado comúnmente en aros o piezas plásticas (panel de control) en el interior de vehículos y en motos.
- Mediante estudios de mercados y alianzas estratégicas se pretende ampliar el mercado brindando el servicio a terceras personas o compañías privadas dedicadas a la manufactura de objetos como cascos industriales, carcasas de drones, carcasas de: laptops, celulares, cpu, etc.

- Se define un costo de servicio máximo entre 5 y 6 dólares por un área de 50 cm<sup>2</sup>, este valor es el que la gente estaría dispuesta a pagar por el servicio, teniendo en cuenta que el costo de producción por **1m<sup>2</sup>** es de 15.04 USD y teniendo un costo de producción máximo de 2.50 USD para un área de 50 cm<sup>2</sup>.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. Ahmed, M. Mhaede, M. Wollmann, L. Wagner. (2014). Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) ASTM B117-03, Surface and Coatings Technology.
- ASTM., (2001). Standard Test Method for Evaluating Adhesion by Knife. Designation: D 6677 – 01. Ed. USA Annual Book of ASTM Standards, 2012.
- AWS D1., (1993). Committee A2 on Definitions and Symbols. ANSI/AWS D1.1 :D1.1M-2010. Structural Welding Code-Steel. USA : Ed. USA Annual Book of ASTM Standards, 2010. 22nd.
- Arai, E., Kamei, K., Kawasaki, A., Shirai, K., & Orihara, Y., (1978). TRANSFER PRINTING METHOD. Patent No. US4229239. Estado Unidos, 1980.
- Blackwell, S. E., Barton, K. R. (1977). WATER-DISPERSIBLE DYE/RESIN COMPOSITIONS. Patent No. US4148779. Estados Unidos, 1979.
- Bunch, S., Yang, H., (2012). DECORATION FILM AND METHOD OF APPLICATION. Patent No. US2012/0222803 A1. Estados Unidos.
- Flick, E. W., Industrial Solvents Handbook. 3rd ed., Noyes Data Corp., Park Ridge, NJ, 1985.
- García, Y., Gorostiola, A., Hernández, F., & Gonzáles, R., (2007). DISEÑO DE ENCENDIDO PROGRAMABLE PARA CALENTADOR AUTOMÁTICO DE AGUA. México DF: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica UNIDAD PROFESIONAL Culhuacán.
- Hidebrand, J.H., Solubility of water polymers conductors, Journal of the American Chemical Society, Vol. 38, p. 1453, 1916.
- Incropera, F. P., (2010). Fundamentos de Transferencia de Calor, 4a. ed . PRENTICE HALL, México, 1999.
- McDaniel, S., Wales, M., Rawlins, J., Cipi, Pirro., Williams, e., Carvajal, J., (2010). MOLECULAR HEALING OF POLYMERIC MATERIALS, COATINGS, PLASTICS, ELASTOMERS, COMPOSITES, LAMINATES, ADHESIVES, AND SEALANTS BY ACTIVE ENZYMES. Patent No. US2010/0210745 A1. Estados Unidos.
- Mitsukami, Y., M. S., Lowe, A.B., & McCormick, C.L. (17 de Febrero de 2001). Water-Soluble Polymers. 81. Direct Synthesis of Hydrophilic Styrenic-Based Homopolymers and Block Copolymers in Aqueous Solution via RAFT. Macromolecules, 2248-2256.
- Peterson, S., Clay, M., Sherman, F., Farmer, M., Carroll, T., (2016). FILM FOR PRINTED HYDROGRAPHICS AND METHODS OF MAKING AND USING THE SAME. Patent No. US2016/0107427 A1. Estados Unidos.
- Pfanstiehl, J. (1998). Automotive paint handbook: paint technology for auto enthusiasts and body shop professionals. (J. Pfanstiehl, Ed) New York: The Berkley Publishing Group.

Zoller, U. Handbook of Detergents., Taylor & Francis Group., Vol 141, FL, 2009.