

**EJE DE FORMACIÓN EN INVESTIGACIÓN**

**MONOGRAFÍA:**

**METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN SENSORIAL DE RECUBRIMIENTOS  
SOBRE MAGNESIO.**

**AUTORES:**

**ALEJANDRO ZAPATA MONTOYA**

**MARIANA TOBÓN ZULUAGA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DISEÑO INDUSTRIAL  
MEDELLÍN – ANTIOQUIA  
2018**

**METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN SENSORIAL DE RECUBRIMIENTOS  
SOBRE MAGNESIO.**

**AUTORES:**

**ALEJANDRO ZAPATA MONTOYA**

**MARIANA TOBÓN ZULUAGA**

Trabajo de grado para optar al título de Diseñador Industrial

**ASESORES:**

**Ph.D ALEJANDRO A. ZULETA GIL**

**Ingeniero de materiales**

**Ph.D ANDRES VALENCIA ESCOBAR**

**Ingeniero mecánico**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DISEÑO INDUSTRIAL  
MEDELLÍN – ANTIOQUIA  
2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen al “Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS”, proyecto código 1115-715-51447, contrato 284-2016 y al “Centro de Investigación para el Desarrollo y la Innovación- CIDI” proyecto 742B03/17-35.

A los docentes de la línea de investigación en Morfología Experimental del programa de Diseño Industrial, en especial a Alejandro Alberto Zuleta Gil y Andrés Valencia Escobar, por su excelente instrucción y acompañamiento.

## Tabla de contenido

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción.....                                                 | 7  |
| 1. Planteamiento del problema .....                               | 9  |
| 1.1. Tema general del proyecto.....                               | 9  |
| 1.2. Características generales del proyecto de investigación..... | 9  |
| 1.3. Problema de investigación .....                              | 9  |
| 1.4. Pregunta de investigación .....                              | 11 |
| 1.5. Elementos del problema de investigación .....                | 11 |
| 1.6. Limitaciones de la investigación: alcances y riesgos.....    | 11 |
| 2. Justificación.....                                             | 13 |
| 3. Marco de referencia .....                                      | 15 |
| 3.1. Antecedentes.....                                            | 15 |
| 3.2. Estado del Arte.....                                         | 18 |
| 4. Objetivos.....                                                 | 24 |
| 4.1. Objetivo general.....                                        | 24 |
| 4.2. Objetivos específicos .....                                  | 24 |
| 5. Metodología.....                                               | 25 |
| 5.1. Prueba Piloto.....                                           | 25 |
| 5.2. Prueba Final .....                                           | 28 |
| 6. Resultados y discusión .....                                   | 29 |
| 7. Conclusiones / recomendaciones.....                            | 36 |
| 8. REFERENCIAS .....                                              | 37 |
| 9. ANEXOS.....                                                    | 39 |

## Listado de figuras

|                                                                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Figura 1.</i> Cartas de Ashby de la relación de la densidad vs. (a) otros metales, (b) resistencia a la tracción y con (c) el coeficiente de pérdida mecánica. (Correa et al., 2013)                      | 11 |
| <i>Figura 2.</i> Aplicaciones realizadas con aleaciones de Mg recubierto con Ni-P.                                                                                                                           | 12 |
| <i>Figura 3.</i> Dimensiones descriptivas de las superficies (Zuo et al., 2001)                                                                                                                              | 15 |
| <i>Figura 4.</i> Correlación de aspectos físicos y sensoriales (Bergman, 2016)                                                                                                                               | 17 |
| <i>Figura 5.</i> Metodología de ingeniería de superficie de Kansei (Bergman, 2016).                                                                                                                          | 17 |
| <i>Figura 6</i> Muestras obtenidas para la prueba piloto.                                                                                                                                                    | 21 |
| <i>Figura 7.</i> Render del elemento para disponer las muestras.                                                                                                                                             | 21 |
| <i>Figura 8.</i> Fotos de la prueba piloto                                                                                                                                                                   | 24 |
| <i>Figura 9.</i> Análisis preliminares de las Dimensiones Superficiales                                                                                                                                      | 27 |
| <i>Figura 10.</i> (a) rugoso/áspero, (b) pesado/liviano, (c) brillante/mate, (d) húmedo/seco, (e) desagradable/agradable, (f)sencillo/lujoso. Gráficas de respuesta de los usuarios luego de la prueba final | 28 |
| <i>Figura 11.</i> Gráfica de tendencia de aceptación en la prueba final para el Mg sandblasting, Mg +NiP, y el Mg + NiP +TiO <sub>2</sub>                                                                    | 30 |

## **Listado de tablas**

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Adjetivos considerados para la ejecución de la prueba de caracterización sensorial.<br>..... | 25 |
| Tabla 2. Medidas de rugosidad de las muestras analizadas<br>.....                                     | 29 |

## **Introducción**

El presente proyecto de investigación se concentró en la caracterización sensorial de recubrimientos sobre magnesio (Mg) con el fin de establecer una metodología que permitiera aprovechar la obtención de muestras bidimensionales de recubrimientos metálicos sobre Mg gracias a estudios previos y un continuo trabajo en paralelo de manera interdisciplinaria entre la Universidad de Antioquia y la Universidad Pontificia Bolivariana que permita plantear posibles aplicaciones para el magnesio en el diseño industrial.

Para determinar la metodología que se llevaría a cabo fue importante mantener una constante revisión de la literatura existente, consultando bases de datos, publicaciones, entre otros. Estos aportarían a la identificación de parámetros específicos para realizar una prueba piloto y posterior prueba final, permitiendo seleccionar el número de variables posibles a analizar en cada una de las pruebas. La prueba piloto tenía como propósito establecer con un grupo de participantes (9 voluntarios) las dimensiones superficiales (geométrica, físico-químicas, emocionales, asociativas) más importantes y los adjetivos más claros para definir las características sensoriales de las muestras a evaluar, ya que aparte de la obtención de los recubrimientos sobre Mg se usarían a modo comparativo en esta prueba metales de nuestro medio que aparentemente son similares táctil y visualmente como los son el acero, aluminio, y titanio.

Posteriormente en la prueba final se buscó llegar a la caracterización sensorial final de los recubrimientos sobre Mg. Para esto fue necesario realizar cambios en ciertos aspectos de la prueba luego de lo evaluado y validado en la prueba piloto. En cuanto a los participantes, aumentaron a la cantidad a unas 21 personas voluntarias, de los que se encontraban estudiantes de diseño industrial, arquitectura y vestuario, además de docentes de diseño industrial, gráfico y vestuario. De igual forma se cambió la cantidad de muestras que hicieron parte de la prueba final, usando solo las de Mg y sus recubrimientos de níquel-fósforo

(Ni-P), esto debido a que se buscaba realizar la prueba sensorial final con las muestras que nos permitieran mayor entendimiento en la percepción de las superficies con recubrimientos por parte de los participantes.

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1. Tema general del proyecto**

Caracterización sensorial de materiales. En este trabajo se establece una metodología para realizar una prueba de caracterización sensorial a recubrimientos de níquel y fósforo sobre magnesio.

### **1.2. Características generales del proyecto de investigación**

En este proyecto se llevó a cabo una investigación experimental del desarrollo de una metodología para la caracterización sensorial de recubrimientos de níquel con el fin de dar cuenta del potencial de aplicación objetual de los materiales analizados a partir de sus características técnicas y sensoriales.

### **1.3. Problema de investigación**

En las últimas décadas se ha producido un aumento acelerado en la cantidad de contaminantes atmosféricos ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ) a causa de la alta industrialización de algunos países, el continuo crecimiento de la población y al uso constante de los medios de transporte (Zuleta et al., 2017). Estos últimos son responsables de emitir aproximadamente el 20% del  $\text{CO}_2$  total presente en la atmósfera, de los cuales los dispositivos más pesados contribuyen en gran medida a aportar un alto consumo energético. Es por ello que el mercado ha comenzado a centrarse interesadamente en materiales metálicos de baja densidad, dentro de los cuales se encuentra el magnesio (Mg) y sus aleaciones, pues además de ser un metal liviano posee atractivas características de procesamiento, ya que puede ser transformado en elementos útiles para la industria, permitiendo así el desarrollo de productos y dispositivos portables de bajo peso. Sumado a su baja densidad, este metal posee excelentes propiedades físicas y mecánicas, tales como: el apantallamiento electromagnético, buena conductividad eléctrica y térmica, alta resistencia específica y una excelente resistencia a la absorción de impactos y vibración. A pesar de estas atractivas

propiedades, el magnesio es un material con muy baja estabilidad química y como resultado de esto presenta una pésima resistencia a la corrosión en medios ácidos y neutros. Una de las alternativas para mejorar las características superficiales de este material son los recubrimientos de níquel-fósforo (Ni-P) obtenidos mediante el proceso *electroless plating*, los cuales presentan gran interés tecnológico por su excelente uniformidad en geometrías complejas, resistencia a la corrosión, desgaste y soldabilidad (Mallory & Hajdu, 1990).

Los recubrimientos, si bien no son la totalidad del material, son un componente que fortalece las características estético-comunicativas, sensitivas y físico-químicas del material. Desde esta perspectiva, son muy pocas las investigaciones que abordan la temática desde el entendimiento de correlación que hay entre el material, su superficie y la relación con el usuario. Adicionalmente, gracias a las características del Mg sumadas con las obtenidas por el recubrimiento Ni-P, es posible potenciar sus posibilidades de aplicación en el diseño de productos donde el diseño industrial permita la identificación de problemáticas en las cuales el material desarrollado pueda intervenir además de aprovechar sus características sensoriales y a aportar al conocimiento del magnesio como alternativa para la manufactura de nuevos productos.

Por lo anterior la caracterización del material propuesto permitirá identificar las virtudes del mismo en términos sensoriales y técnicos, contribuyendo de esta manera con la identificación de posibles aplicaciones de este en la industria, considerando los procesos productivos que se pueden lograr con el material posterior al recubrimiento. Resulta oportuno entonces involucrar a dichas virtudes las propiedades superficiales desde el análisis geométrico, físico-químico, asociativo y emocional de las superficies con el objetivo de comprender cómo las personas perciben subjetivamente el recubrimiento sobre Mg (Zuo, Hope, Castle, & Jones, 2001).

Dichas propiedades superficiales de un material se ubican dentro de lo que se conoce como la selección de materiales que es considerada como un momento clave dentro de un proceso de diseño que juega un papel importante en la definición del diseño y estética de los productos. El conocer las propiedades superficiales de un material permite considerar que variables relacionadas con la estética y el diseño son variables libres o no, incluyendo factores técnicos, restricciones de fabricación e incluso parámetros ambientales/entorno, entre otros factores que llevan a un buen resultado que sea lo más satisfactorio dentro de la aplicación industrial del material seleccionado.

#### **1.4. Pregunta de investigación**

¿Cuáles son las propiedades superficiales que tienen mayor impacto en el análisis sensorial de recubrimientos de Ni-P sobre Magnesio?

#### **1.5. Elementos del problema de investigación**

Los elementos más importantes que conforman el problema planteado son: aleaciones ligeras, aleaciones de magnesio, recubrimientos *electroless*, nano-materiales, sensación, percepción, emoción, caracterización sensorial de materiales, aplicación industrial de recubrimientos.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación: alcances y riesgos**

Como alcance de este trabajo de investigación se busca plantear una metodología para caracterizar sensorialmente recubrimientos de Ni-P sobre magnesio, las cuales serán evaluadas comparativamente con otros metales a través de muestras bidimensionales. Con esto se busca establecer un protocolo de validación que permita identificar las dimensiones superficiales más importantes que con el fin identificar posibles aplicaciones industriales que potencien el uso del material evaluado.

Por otro lado, dentro de los riesgos de la investigación, los recubrimientos sobre el Mg hasta el momento siguen siendo un reto para los investigadores,

dado que los métodos que vienen siendo usados en nuestro medio no son a nivel industrial, sino que están en un constante estudio y mejoramiento de manera que eviten daños ambientales o riesgos en la salud humana. Además, las percepciones y asociaciones que genera un usuario a través de su interacción sensorial con los recubrimientos sobre Mg pueden llegar a marcar diferencias fundamentales no solo en la experiencia de usabilidad, sino también en la aceptación estética desde la superficie, lo cual ha sido poco abordado y que para los materiales analizados en particular constituyen un campo totalmente nuevo.

## 2. Justificación

La caracterización sensorial de sustratos metálicos livianos con superficies mejoradas aporta al conocimiento sobre este tipo de materiales además de posibilitar una herramienta para la identificación de posibles campos de aplicación del metal, potenciando el uso de nuevos materiales que contribuyan con la reducción del impacto ambiental tanto gracias a su bajo peso como a sus características de durabilidad. Con el fin de promover el uso de este tipo de material, se hace preciso abordar por medio del diseño industrial un proceso de validación sensorial de las dimensiones superficiales, que comprenden los aspectos físico-químicos, emocionales, asociativos y geométricos, de manera tal que se formalicen las relaciones entre los factores técnicos, estéticos y sensoriales que entregan los recubrimientos Ni-P sobre Mg. Es por ello que en este trabajo busca desarrollar, de manera sistemática, una metodología que permita el establecimiento de los aspectos antes mencionados de manera que esta pueda ser aplicada en otros estudios enfocados en explorar la caracterización técnica y sensorial de un material modificado y desarrollado, donde se potencie el uso del mismo en productos industriales en los cuales se aprovechen los atributos que este ofrece.

Dado que el diseño y el exterior de los productos se convierten en un factor determinante de compra, al igual que la novedad de la tecnología (material, ensambles, etc.) en el producto. Los usuarios finales esperan que un producto funcione correctamente y sea fácil de usar, pero, además los usuarios prefieren ser tocados emocionalmente; es decir, percibir de alguna manera sensaciones tras la interacción con el producto. Esto significa que no solo las cualidades funcionales de los productos son importantes, sino también las cualidades de la interacción usuario-producto y requieren una atención especial en la actualidad por parte de los diseñadores industriales.

En este sentido este trabajo aportaría al entendimiento de las características superficiales de los materiales que juegan un rol importante en la selección de un material para su futura aplicación donde se refleja la aceptación o no de un producto por parte de los futuros usuarios, pues son las superficies la porción más grande de los materiales con la que los usuarios interactúan de manera inicial, sobre todo desde los sentidos de la visión y el tacto y son además un componente que le da fuerza en cuanto a las características estéticocomunicativas, sensitivas y físico - químicas al producto.

### 3. Marco de referencia

#### 3.1. Antecedentes

En las últimas décadas las aleaciones de magnesio han tomado gran importancia debido a que se han incrementado sustancialmente las aplicaciones de dichos materiales en varias industrias debido a un gran número de factores que incluyen, su baja densidad en comparación con otros materiales como el aluminio o el acero, una alta resistencia específica, buena conductividad térmica y eléctrica, excelente estabilidad dimensional, adecuadas características de maquinado y maleabilidad, y elevada capacidad para absorber vibraciones e impacto. La relación de estas propiedades se hace evidente en la Figura 1.

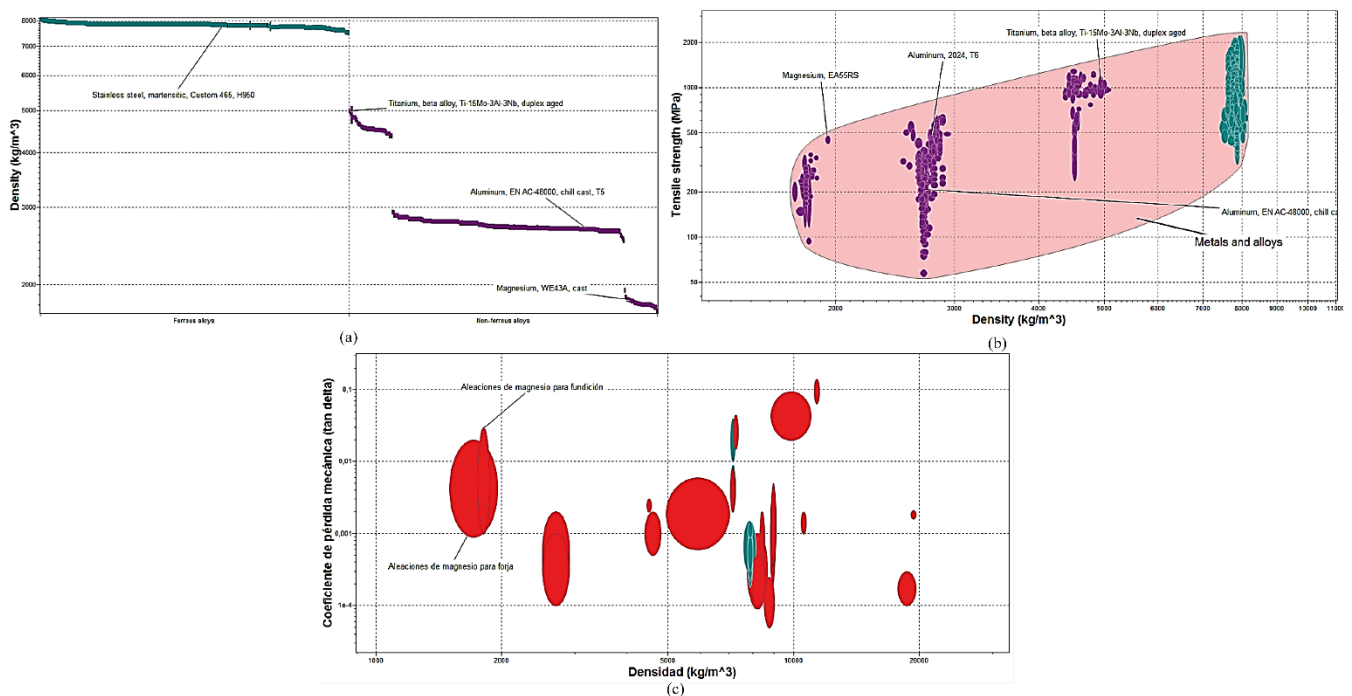


Figura 1. Cartas de Ashby de la relación de la densidad vs. (a) otros metales, (b) resistencia a la tracción y con (c) el coeficiente de pérdida mecánica. (Correa et al., 2013).

Estas excelentes propiedades hacen que las aleaciones de magnesio sean un material con buenas características para ser usado en un sin número de aplicaciones que incluyen la fabricación de componentes electrónicos y

tecnológicos, la industria automotriz y de bicicletas como medio de transporte alternativo, piezas para teléfonos móviles o cámaras, entre otros. En la Figura 2 se muestran diferentes ejemplos donde se evidencia tal aplicación industrial que se ha realizado con aleaciones de Mg en productos como: pedales de bicicleta, mobiliario y la estructura interna de una cámara digital.



Figura 2. Aplicaciones realizadas con aleaciones de Mg recubierto con Ni-P.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, aunque estas aleaciones de magnesio presentan excelentes propiedades, infortunadamente también presenta desventajas que incluyen una pobre resistencia a la corrosión, al desgaste, y una alta reactividad química, lo que hace que se restrinja su uso en muchas aplicaciones. Uno de los principales desafíos que presentan el magnesio y sus aleaciones es poderlo usar en aplicaciones en las que el magnesio pueda enfrentarse a la intemperie o en un contacto permanente con el usuario. Para ello, es necesario mejorar su pobre resistencia a la corrosión. El magnesio y sus aleaciones se caracterizan por ser muy susceptibles a la corrosión galvánica, lo que ocasiona un picado severo en el metal, produciendo una pérdida inevitable en las propiedades mecánicas y en su apariencia.

Por estas razones, es más que claro que debe buscarse una posible solución para las propiedades a mejorar del material, en pro de su mejor aplicación y proyección dentro la caracterización sensorial que el material puede generar en el usuario. Lo que nos lleva al empleo de recubrimientos de níquel y fósforo obtenidos por la técnica *electroless plating*, la cual ha tenido un avance incrementado desde la década de los 80', puesto que posee propiedades tales como resistencia a la corrosión, excelente uniformidad, buena soldabilidad,

excelentes propiedades físicas y mecánicas, entre otras, por lo cual son una atractiva alternativa como recubrimientos protectores o estéticos que pueden aplicarse en industrias tales como la electrónica, aeroespacial, automotriz, informática, textil, química, alimentos, entre otras (Zuleta et al., 2017).

Cabe resaltar que la modificación del material por medio de recubrimientos lleva a un cambio superficial notable, donde se relacionan diferentes aspectos de manera directa o indirecta con la interacción de las personas con el mismo, los aspectos directos son aquellos que involucran los sentidos con la superficie del material y los aspectos de manera indirecta son aquellos que pueden alterar esa percepción con los sentidos, como la luz, ruido, entre otros. Es significativo diferenciar el concepto de caracterización sensorial ya que tiene una gran relación con la sensibilidad por medio del tacto y los sentidos, pero existe una línea delgada con lo emocional la cual es más difícil de acceder por el grado de subjetividad, teniendo en cuenta que es algo mucho más profundo y necesita de un entendimiento claro y conciso de cada emoción despertada en el ser humano al ser partícipe de una prueba sensorial de superficies (Ferrise, Graziosi, & Bordegoni, 2017) .

Sobre la base de las consideraciones anteriores es imposible no relacionar el tacto o los sentidos con las emociones, ya que, es algo que está unido por naturaleza, de igual manera adentrarnos en la emoción e interpretación de lo que cada persona percibe en una prueba táctil es complejo, pues es un campo estudiado por psicólogos o antropólogos y no por diseñadores industriales pero este último tiene la sensibilidad de analizar, evidenciar y determinar que los productos sean abordados coherentes con lo que un usuario desea. Ya que es evidente que los objetos están pensados para el hombre, su morfología, solución a necesidades, entre otros y al ser usados cotidianamente van a generar un impacto, bueno o malo, pero de igual manera impresionan o no al usuario en cuanto se da una relación con el objeto/producto de manera superficial.

Es evidente entonces que la caracterización sensorial es la justificación de las reacciones del ser humano al ser sometido a una prueba en la que intervienen sus sentidos, ya que, permite que el usuario asemeje, refleje o relacione lo que está sintiendo con algo que ya conocía, dándole más sentido a lo que está viviendo en ese momento y mejorando el rumbo de la experiencia (Molina, 2013). Debe por tanto, estudiarse por medio de dimensiones superficiales que darán respuestas sobre las reacciones de los usuarios en el momento que son sometidas a un ejercicio con muestras u objetos, permitiendo que las propiedades táctiles de los materiales generen emociones que le permitan al diseñador identificar qué tan importante es para su usuario tener un producto que lo llene y le genere sensaciones con las que pueda sentirse satisfecho (Kjellerup, Larsen, & Maier, 2014).

Teniendo definidos estos tres conceptos se puede hablar del cambio que se obtiene en las propiedades sensoriales con el material recubierto y cómo estos cambios deben entrar a estudiarse por medio del protocolo para llegar a la definición de, cuáles son los aspectos positivos y negativos para las personas según su percepción, y así identificar las posibilidades industriales a las que puede llegar este componente.

El protocolo de validación es el punto de meta de un proyecto de caracterización sensorial, el cual permite esclarecer aún más allá de lo que se sabe o se supone, es ahí donde se mide realmente la calidad del proyecto con las personas y donde nace la fundamentación de la idea de producto, ya que, si este se basa en el proyecto ingenieril y que las capacidades que tiene el material son óptimas para casi cualquier función, posiblemente se llegue al fracaso como producto comercial.

### **3.2. Estado del Arte**

Este estado del arte será centrado en los estudios que han sido publicados en los últimos años, en cuanto a los temas que abarcan las propiedades sensoriales de los materiales y cómo llegar a una caracterización sensorial de un material a través de diferentes métodos y técnicas.

Zhang et al. (2017) realizaron un estudio sobre, diseño de textura para la percepción del tacto ligero, el cual se centró en el estudio de texturas especialmente diseñadas para la percepción táctil. Para esto se emplearon sustratos de acero inoxidable con tres estructuras geométricas diferentes, fabricadas mediante texturizado láser. En este estudio participaron un total de veinte voluntarios en donde se obtuvieron pruebas de percepción y medidas de fricción de la piel. Dichas pruebas sensoriales se concentraron principalmente en atributos, tales como: la rugosidad y la pegajosidad. Con respecto a las medidas tribológicas del material con la piel se empleó un transductor de fuerza para medir la fuerza normal y la fuerza de fricción entre la piel y la contra-superficie junto con la posición de la yema del dedo. Los resultados de las texturas predefinidas mostraron la capacidad de reducir la fricción de la piel debido a la reducción del área de contacto, lo que cambia la percepción del material cuando está en relación con el usuario.

Por otro lado los autores Zuo, Hope, Castle, y Jones, realizaron una investigación sobre las propiedades sensoriales de los materiales donde establecen una matriz de representación del material de estudio según la percepción y la respuesta a diferentes materiales, además realizaron un paralelo entre la noción de textura de un material y la percepción sensorial de dicha textura; por lo que tuvo que realizar una serie de análisis preliminares que lo llevaron a unas pruebas netamente psicológicas, que le permitieron proponer cuatro dimensiones de carácter descriptivo para las texturas que se ven en la Figura 4 : dimensión geométrica, dimensión físico – química, dimensión emocional y dimensión asociativa (Zuo et al., 2001).

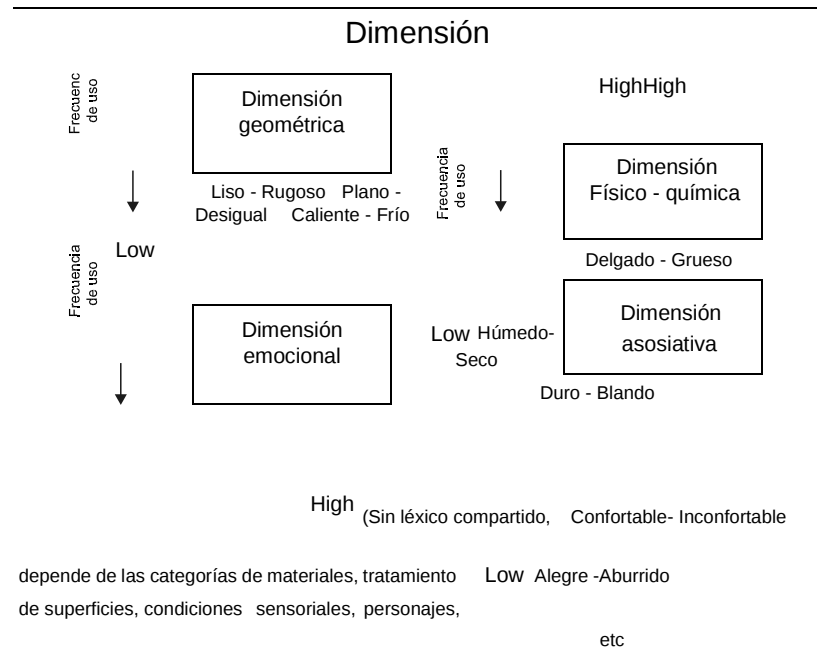


Figura 3. Dimensiones descriptivas de las superficies (Zuo et al., 2001)

Un estudio similar realizado por Elvin Karana, titulado “Una herramienta para la selección de materiales orientados hacia su significado” (Karana, Hekkert, & Kandachar, 2010), tiene más profundidad en relación con la caracterización sensorial debido a la variedad de aplicaciones que se puedan lograr con esta herramienta. Karana resaltó la evaluación de la “dimensión emocional” en su investigación que tiene como objetivo comprender y mejorar las relaciones que las personas (usuario) tienen con los materiales, en que son fabricados los productos industriales, y que cotidianamente usa el ser humano. Ella propone que un producto no sólo se basa en las propiedades técnicas del material con lo que esté fabricado, sino también los significados, las emociones y las acciones que los materiales tienen sobre el producto en cuestión. Ella nombra esto con el término "experiencia de materiales". En este artículo Karana, describe el desarrollo de una nueva herramienta para la selección de materiales, toma referente en estudios de ingeniería de materiales con autores como *Ashby* y *Cebon*, con la idea de la selección de materiales dirigidos hacia el producto; además, el trabajo desarrolló un estudio realizado para crear datos para una aplicación ficticia.

Por otra parte, los autores Kjellerup, Marie Kjær. Larsen, Anne Cathrine y Maier, Anja en 2014 realizaron un trabajo sobre la comunicación de la emoción a través del diseño háptico, el cual habla de cómo los diseñadores se pueden acercar a los usuarios por medio del diseño táctil y cómo por medio de las emociones es necesario crear objetos que logren cumplir las expectativas de las personas desde la experiencia generada y que los cuestione mientras se genera fricción o tacto con dicho elemento. Ya que con base a la percepción del usuario se logra un mejor producto, los autores mencionan que es importante llevar una metodología de trabajo, debido que con esta se logra generar un avance notorio en el estudio sensorial (Kjellerup et al., 2014).

En el 2016, los autores B. G. Rosen, L. Eriksson y M. Bergman realizaron un estudio de las propiedades estéticas y agradables de un producto, y como estas son importantes y añaden significativamente una relevancia de un producto. En dicho trabajo se menciona que la sensación y la percepción del cliente son sobre todo factores psicológicos, pero que a raíz de esto ha surgido una clara necesidad industrial y académica, que debe interesarse en diseñar formularios y herramientas para cuantificar y vinculan las propiedades del producto a la respuesta humana, pero actualmente se carecen de estudios sobre el impacto de las superficies (Bergman, 2016).

Dicho estudio entonces partió desde la ingeniería superficial afectiva que se utiliza para ilustrar y modelar el vínculo entre expectativas y percepción a propiedades controlables de la superficie del producto. Los resultados dieron como tal una correlación en la se vinculaban factores físicos y humanos que contribuyen a los productos (Figura 4).

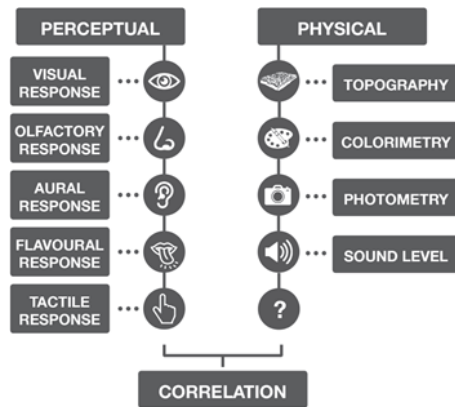


Figura 4. Correlación de aspectos físicos y sensoriales (Bergman, 2016)

En las conclusiones del estudio, la investigación permitir dar a conocer la comprensión y la modulación de un proceso de percepciones y sensaciones de un producto en el desarrollo de la metodología en la ingeniería de superficies de Kansei que evidenciamos en la Figura 5.

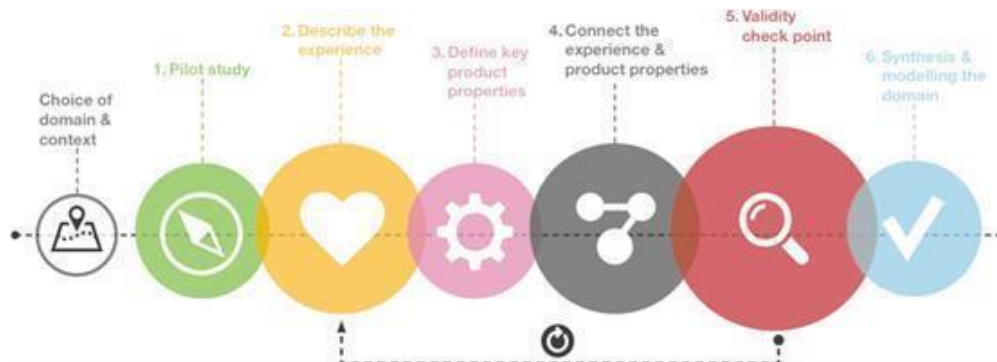


Figura 5. Metodología de ingeniería de superficie de Kansei (Bergman, 2016).

Por último, los autores Okamoto. S., Nagano. H., & Yamada. Y. (Okamoto, Nagano, & Yamada, 2013) realizaron un trabajo sobre la dimensionalidad táctil de las propiedades físicas de los materiales en donde hallaron que la superficie de estos tiene cinco dimensiones potenciales de la percepción: rugosidad macro y fina, la calidez / frialdad, la dureza / suavidad, y fricción (humedad / sequedad, pegajosidad / resbaladiza). Según los autores la capa psicofísica determina la percepción de las propiedades físicas y la capa afectiva es medida por un proceso mental. Este estudio fue realizado con base en métodos matemáticos y experimentales para la estructuración de las

dimensiones perceptivas, donde se introduce el diferencial semántico (SD), estimación de similitud y los métodos de clasificación, los cuales son utilizados para adquirir los datos; gracias al método SD se pueden interpretar factores fundamentales sin ningún tipo de experimento, ya que cada factor es explicado por una combinación de adjetivos estrictamente definidos para que el usuario siempre acertara con alguno específico, dado el caso en el que el usuario no encuentre un adjetivo que lo caracterice, se puede deducir que la prueba no tiene un buen resultado de percepción y que la comparación con el material estaría fallando.

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo general**

Establecer una metodología para la caracterización sensorial de recubrimientos metálicos sobre Mg que permita plantear posibles aplicaciones para el magnesio en el diseño industrial.

### **4.2. Objetivos específicos**

- Definir las variables experimentales para el establecimiento del protocolo y la realización de la caracterización sensorial.
- Desarrollar pruebas de caracterización sensorial sobre superficies de magnesio sin y con recubrimientos Ni-P, calificando aspectos sensoriales de las superficies evaluadas.
- Validar el potencial de aplicación objetual del sistema de recubrimiento a partir de su potencial técnico y sensorial dentro del diseño industrial.

## **5. Metodología**

Para determinar la metodología que se llevaría a cabo para la caracterización sensorial de recubrimientos sobre magnesio fue importante mantener una constante revisión de la literatura existente y del estado del arte, consultando bases de datos, publicaciones electrónicas, portales y páginas de Internet, libros, entre otros. Estos aportarían a la identificación de parámetros específicos para realizar una prueba piloto y así permitir información experimental útil para posteriormente aplicarla de mejor manera en la prueba final de las superficies recubrimientos sobre Mg.

### **5.1. Prueba Piloto**

La prueba piloto se enfocó en establecer con un grupo pequeño de participantes voluntarios, las dimensiones superficiales más importantes y los adjetivos más claros para definir las muestras que se estaban evaluando en el aquel momento. Con esto también se indagó que tiempo tardaban los participantes en realizar la prueba y que factores del lugar de la prueba afectaban de manera positiva o negativa durante la realización de la misma, temas de iluminación, ambiente aislado de ruidos, entre otras. La información recolectada durante la ejecución de la prueba piloto fue registrada en una bitácora, además de acompañarla con el registro fotográfico de los participantes durante la prueba.

Los participantes fueron estudiantes de pregrado, los cuales preferiblemente debían ser de 3° semestre en adelante, debido a los conceptos técnicos a evaluar donde se requería tener las condiciones y competencias necesarias para dar respuestas que aporten a la caracterización sensorial. Además, se buscó que los participantes de la prueba estudiaran carreras relacionadas con diseño industrial, gráfico, vestuario e ingenierías, ya que estos cuentan con una mayor sensibilidad y conocimientos en relación a la interacción con materiales u objetos, donde además en sus procesos de realización de

proyectos académicos se han visto enfrentados a la selección de materiales e investigación de aspectos técnicos del mismo.

De igual manera, se consideró la participación de docentes y estas personas no fueron más que participantes voluntarios seleccionadas al azar en el campus universitario. En cuanto al lugar o contexto de estudio, se hizo uso de un aula de la Escuela de Arquitectura y Diseño de la UPB, la cual contó con iluminación natural que entra de las ventanas y además luz artificial del salón (luz blancafría). Con una temperatura de: 28° C en promedio. Mientras que los implementos usados fueron un termohigrómetro, computadores portátiles, estructura para muestras y las muestras, estas últimas se observan en la Figura 6.

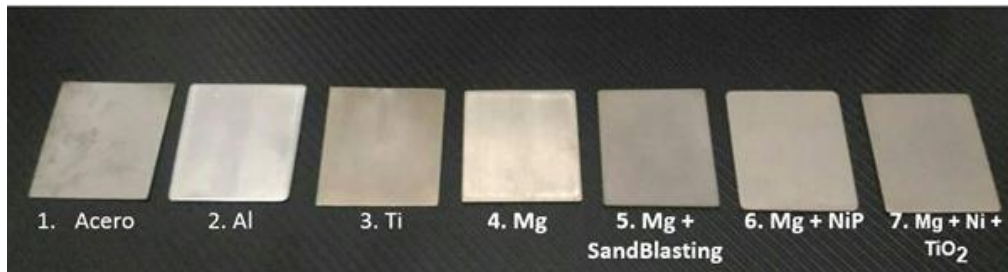


Figura 6 Muestras obtenidas para la prueba piloto.

Los materiales fueron seleccionados por la similitud visual aparente entre los metales, los cuales fueron cortados en dimensiones de 45 x 45 X 3 mm y las cuales fueron pulidas hasta papel abrasivo # 600. Las muestras fueron dispuestas en un elemento que permitiera soportar las muestras de manera ordenada y de fácil visualización para el usuario durante el estudio, permitiéndole interactuar de diferentes maneras con las muestras determinadas. Una representación del dispositivo mencionado se muestra en la Figura 7. Durante la prueba piloto, los participantes no tuvieron conocimiento del material de cada muestra.

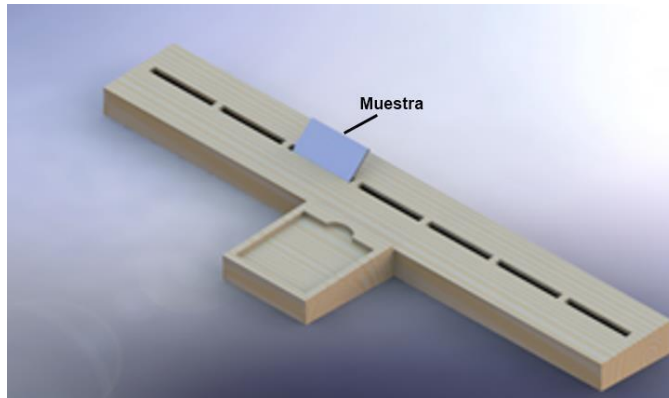


Figura 7. Render del elemento para disponer las muestras.

Adicionalmente, se empleó a una plataforma online, llamada *Typeform*, para recopilar la información y las respuestas cuantitativas de cada usuario durante la prueba. Se eligió esta herramienta sobre otras ya que se accede de manera gratuita y representa claramente la información obtenida. En dicha plataforma se recopilaron datos tales como nombre(s) y apellidos, edad, género, ocupación, programa académico / empresa, correo y celular. Luego, se realizaron dos preguntas: ¿sufre alguna enfermedad visual como miopía, astigmatismo, presbicia, hipermetropía u otra?, ¿cuál es la mano con la cual realiza mayor actividad? Lo anterior con el fin de determinar la relevancia de este factor visual y táctil respectivamente sobre la prueba sensorial de los materiales seleccionados para la prueba.

Para cada muestra se realizaron 15 preguntas que, con base al trabajo realizado por Zuo et. al (Zuo et al., 2001), dieron cuenta de las dimensiones de carácter descriptivo de cada material, lo cual permite obtener información sobre las propiedades sensoriales del magnesio frente a otro metal y cómo los recubrimientos influyen sobre la percepción del mismo material. Las dimensiones descriptivas consideradas fueron:

**Dimensión geométrica:** Evalúa la percepción de suavidad de la superficie; lo rugoso/áspero de la superficie.

**Dimensión físico-química:** Evalúa la percepción de las muestras con qué tan frío o cálido, Liviano o pesado, flexible o rígido, mate o brillante, reflectivo o no, húmedo o seco, resbaladizo o no, perciben las personas en interacción con las muestras.

**Dimensión emocional:** Indica qué tan cómodo o incómodo, seguro o inseguro, agradable o desagradable, las personas perciben las muestras en estudio.

**Dimensión asociativa:** Esta dimensión es un poco subjetiva, pero contaba con 3 variables importantes que son qué tan lujoso o sencillo, económico o costoso y artesanal o industrial creían que era cada muestra en estudio.

Las 15 preguntas realizadas en el contexto de las dimensiones anteriores a las cuales se les asignó un valor numérico de 1 a 5 en cada respuesta.

## 5.2. Prueba Final

Luego de definir las condiciones y aspectos más relevantes a partir de la prueba pilotos, se procedió con el desarrollo de la prueba final, en la cual se realizó la caracterización a 5 muestras de material: magnesio sin ningún tratamiento superficial (Mg), magnesio con sandblasting (Mg + Sandblasting), magnesio recubierto con Ni-P (Mg+NiP) y magnesio recubierto con Ni-P-TiO<sub>2</sub> (Mg+NiP+nanopartículas) Esta prueba se realizó con 21 participantes entre los cuales se encontraban estudiantes y docentes de diseño industrial, arquitectura, diseño de vestuario y diseño gráfico. En cuanto a la plataforma *Typeform* también fue usada para la prueba final, solo que se hicieron modificaciones en los adjetivos usados para las dimensiones superficiales, eliminando los que causaron confusión a los participantes en la prueba piloto, también eliminando los adjetivos que causaron respuestas subjetivas o ambiguas.

## 6. Resultados y discusión

Durante la prueba piloto y final se evidenció que los participantes inicialmente durante las pruebas sensoriales, aunque se les permitía manipular las muestras sólo con las manos, después de realizar la puntuación ellos realizaban para obtener una mejor percepción de la propiedad térmica del metal análisis inusuales con su cuello y mejillas, ubicando la muestras en estos lugares como se ve en la Figura 8. En términos sensoriales atribuimos esta acción como una manera correcta de validar una respuesta térmica sobre algo que posiblemente se pueda ver afectado por el calor corporal de las manos, pero las manos por otro lado o para ser más exactos la presión ejercida por los dedos contra el metal, fue la manera más común que usaron los participantes para evaluar su percepción de lo rígido o flexible de las muestras.



Figura 8. Fotos de la prueba piloto

Por otro lado, durante la prueba piloto se identificó que con algunos adjetivos se generaron respuestas ambiguas y complejas de analizar para los participantes con respecto al material evaluado. Esto sucedió para adjetivos descriptivos de las dimensiones asociativas y emocionales tales como:

seguro/inseguro (dimensión emocional), costoso/económico y artesanal/industrial (dimensión asociativa).

En el caso del adjetivo descriptivo seguro/inseguro los participantes asociaron la seguridad del metal con respecto a su apariencia, por ejemplo: óxido, color o acabado y el perfil de la muestra. Aunque todas las muestras estaban cortadas y pulidas de la misma manera los participantes observaban y percibían a través del tacto imperfecciones que eran interpretadas de manera subjetiva por parte de ellos lo que arrojaba respuestas relativas a partir de este adjetivo. Algo similar ocurrió para el adjetivo de cómodo/incómodo, el cual resultaba complejo de identificar por parte del usuario debido a la geometría misma de las muestras (placas), lo cual provocaba que los participantes tuvieran que recurrir a la imaginación y asociación de experiencias previas desde los conocimientos de cada uno para poder responder. Por último, muchos participantes realizaron ejercicios de comparación entre las muestras para determinar cuál era más pesada o liviana que la anterior y así poder evaluar de una manera más acertada las muestras, allí fue donde las muestras de Acero, Aluminio y Titanio tuvieron un papel importante dentro de la prueba piloto debido que estas permitían generar un análisis de comparación a los participantes entre todas las muestras, donde aparentemente se ven como materiales iguales pero realmente son totalmente diferentes.

Pero recordemos que tras la realización de la prueba piloto se hicieron modificaciones en las muestras usadas y en los adjetivos descriptivos con el fin de utilizar los más apropiados para la ejecución de prueba de caracterización sensorial final, modificándolos como se describe en la Tabla 1:

Tabla 1, Adjetivos considerados para la ejecución de la prueba de caracterización sensorial.

| <b>Dimensión Superficial</b> | <b>Adjetivos</b> |
|------------------------------|------------------|
| Geométrica                   | Rugoso/Suave     |

|                 |                        |            |
|-----------------|------------------------|------------|
| Físico/Química  | Pesado/Liviano         | Asociativa |
| Sencillo/Lujoso | Brillante/Mate         |            |
|                 | Húmedo/Seco            |            |
| Emocional       | Desagradable/Agradable |            |

Los cambios realizados incluyen también la cantidad de los participantes con el fin de tener mayor información sobre cada una de las muestras, ya que muchas de las respuestas resultaban bastante subjetivas. Se pasó de 9 usuarios de la prueba piloto a 21 para la prueba final, dentro de los cuales se encontraban estudiantes de diseño industrial, arquitectura y vestuario que fueron voluntarios, además de docentes de diseño industrial, gráfico y vestuario. De igual forma se modificó la cantidad de muestras que hicieron parte de la prueba, usando solo las siguientes muestras: Mg; Mg + Sandblasting ; Mg + NiP y Mg + NiP + TiO<sub>2</sub>. Lo anterior debido a que se buscaba solo realizar la prueba sensorial final con las muestras de Mg y sus recubrimientos, evaluando así los cambios en la percepción de las superficies por parte de los participantes. Por otro lado, el elemento exhibidor para disponer de las muestras durante la prueba fue el mismo al de la prueba piloto.

De allí que posteriormente los resultados fueran organizados y clasificados desde la información obtenida en la prueba piloto y en la prueba final, adicionalmente se realizó una prueba de rugosidad que permitiría confrontar los resultados obtenidos desde los aspectos sensoriales. Dentro de la caracterización sensorial fue filtrada la información por un adjetivo relevante a cada dimensión, dicho adjetivo fue el que contaba con mayor importancia y descripción dentro de cada dimensión superficial y debido a esto los seleccionados fueron: rugoso/suave para la dimensión geométrica, pesado/liviano para la dimensión físico-química, cómodo/incómodo para la dimensión emocional, y sencillo/lujoso para la dimensión asociativa, en la Figura 9 se muestran los resultados de las pruebas con su respectivo material y adjetivo analizado:

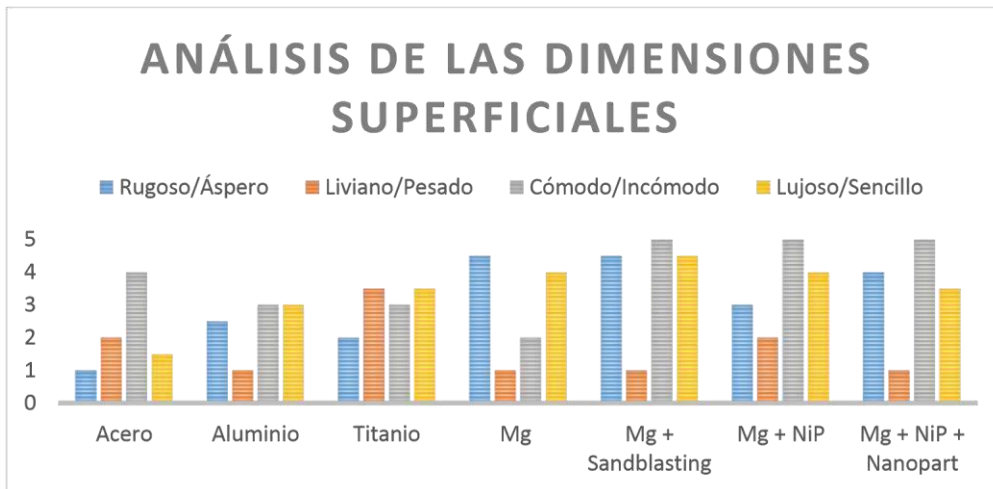


Figura 9. Análisis preliminares de las Dimensiones Superficiales

En la figura anterior se observa al lado izquierdo unos valores de 1 a 5, estos corresponden al nivel de calificación que los participantes de la prueba asignaron a los adjetivos evaluados para cada muestra donde, por ejemplo: 1 = incómodo y 5 = cómodo, 1 = sencillo y 5 = lujoso, 1 = pesado y 5 = liviano. En dichos valores observamos una tendencia decreciente con respecto a la percepción de ligereza de material, siendo el magnesio pulido (Mg) el material percibido como el más liviano durante la prueba piloto.

Es importante anotar que esta apreciación va en contravía de lo esperado tras realizar una relación con sus propiedades técnicas puesto que se trata de un material con los mismos valores de densidad (Mg + NiP y el Mg + NiP + TiO<sub>2</sub>), y cuya principal diferencia radica en el acabado superficial, en donde la muestra de Mg sanblasteado (Mg+Sanblasting) presenta un color más oscuro (mate) en comparación con la muestra de Mg pulida, lo cual provoca que el usuario perciba el espécimen como un material más pesado.

Esta observación también ha sido reportada en investigaciones previas en donde se ha identificado que los cambios en el color o el brillo de la superficie influyen en la respuesta perceptual de los usuarios (Walker, Francis, & Walker, 2010). Esta situación también se pudo notar en las muestras modificadas para la prueba final (Mg + NiP y el Mg + NiP + TiO<sub>2</sub>), las cuales difieren en la percepción de ligereza,

observándose que la muestra modificada con nanopartículas de titanio (las cual presenta un color menos brillante con respecto al Mg+NiP) arroja una mayor sensación de peso en contraste con la muestra sin nanopartículas. En la Figura 10 se pueden observar las gráficas de respuesta de los usuarios con base a las diferentes dimensiones de los materiales evaluados en la prueba final y que han sido expuestos anteriormente.

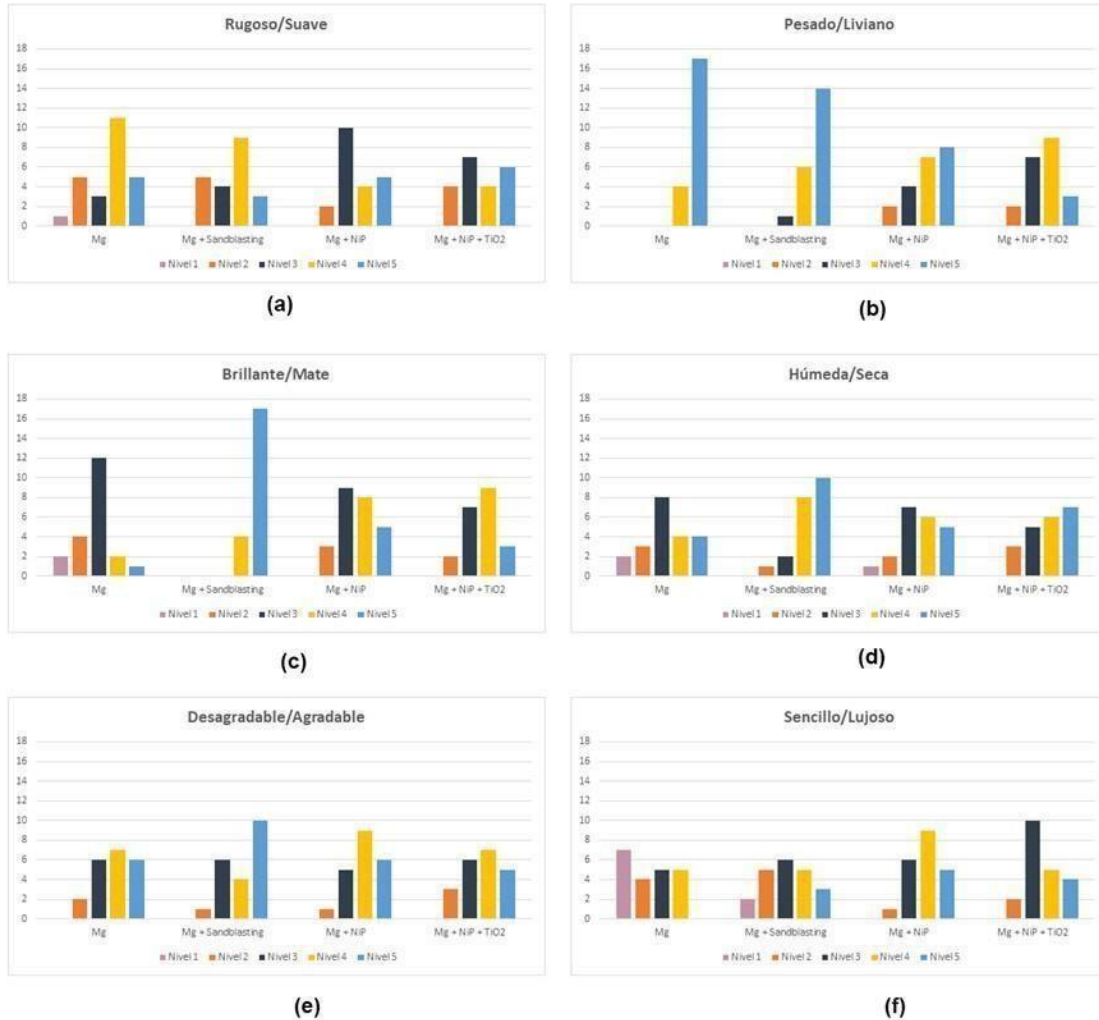


Figura 10. (a) rugoso/áspero, (b) pesado/liviano, (c) brillante/mate, (d) húmedo/seco, (e) desagradable/agradable, (f) sencillo/lujoso. Gráficas de respuesta de los usuarios luego de la prueba final.

En la figura anterior visualizamos una relación entre el número de participantes de la prueba final y los niveles de calificación que estos tuvieron sobre los adjetivos evaluados para las muestras donde, por ejemplo: 1 = húmedo

y 5 = seco; 1 = brillante y 5 = mate, 1= rugoso y 5 = suave. Por otra parte, con respecto a los valores de rugosidad se observa que, en contraste con el magnesio pulido y el magnesio sanblastado, las muestras con los recubrimientos de níquel presentaron una mayor percepción de rugosidad, con niveles intermedios para la percepción de esta característica.

Lo anterior se encuentra en concordancia con los valores de rugosidad medidos por perfilometría (mostrados en la Tabla 2), en donde el valor de rugosidad menor corresponde al Mg pulido. Se observa que a pesar que las demás muestras tienen valores de rugosidad muy similares, la frecuencia de respuestas para las muestras modificadas se ubica en valores intermedios (nivel 3). Sin embargo, las diferencias no son significativas para esta propiedad.

Tabla 2. Medidas de rugosidad de las muestras analizadas

| <b>Material</b>          | <b>Ra (<math>\mu\text{m}</math>)</b> |
|--------------------------|--------------------------------------|
| Acero                    | 0,289                                |
| Aluminio                 | 0,456                                |
| Titanio (as raw)         | 0,208                                |
| Magnesio                 | 0,216                                |
| Mg Sanblasting           | 1,867                                |
| Mg-Ni-P                  | 1,919                                |
| Mg-Ni-P-TiO <sub>2</sub> | 2,045                                |

Es importante anotar que el Mg modificado con los recubrimientos Ni-P, debido a su bajo coeficiente de fricción, es un material higroscópico, es decir un material que atrae agua en forma de vapor o de líquido de su ambiente por lo que generó en los participantes sudoración de manera esporádica mientras interactuaban con él, esto ocasionó una alteración a sus respuestas, ya que este no es un material húmedo, sino que genera esa sensación por ser además una superficie lisa.

Al final durante la prueba final se apreció una respuesta perceptual para los materiales modificados con los recubrimientos Ni-P y Ni-P-TiO<sub>2</sub> con una tendencia de aceptación por parte de los participantes de la prueba final muy similar a lo sucedido en la prueba piloto y esto en relación a los adjetivos que no fueron modificados para las dimensiones sensoriales evaluadas. Las principales diferencias, en relación con el sustrato sin recubrir, tanto pulido como sandblastado, radica en la sensación de ligereza, color y de lujo. Los principales resultados de la prueba de caracterización son resumidos en la siguiente Figura 11 donde se observa que en donde se relacionan los demás aspectos anteriormente explicado.

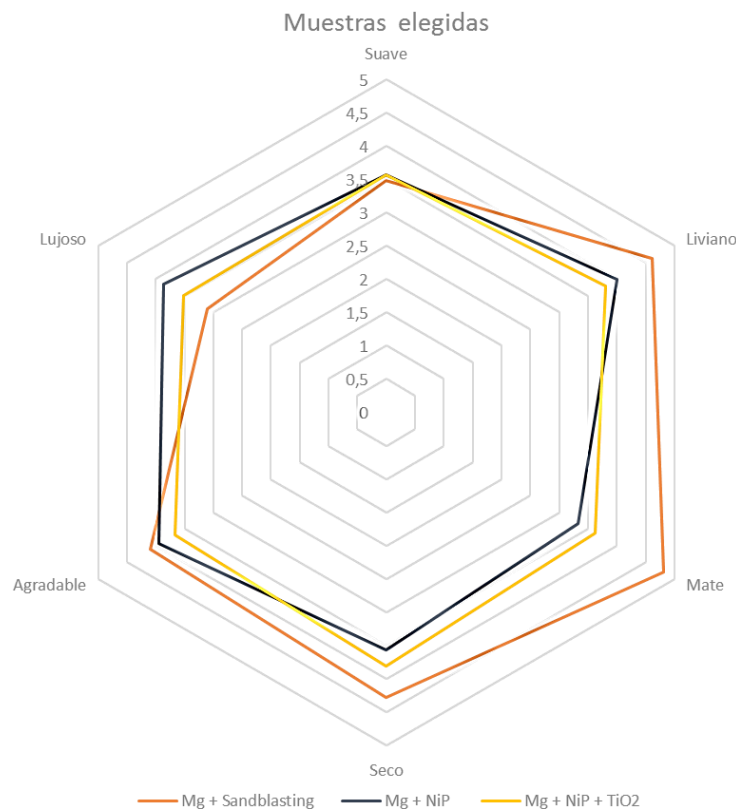


Figura 11. Gráfica de tendencia de aceptación en la prueba final para el Mg sandblasting, Mg +NiP, y el Mg + NiP + TiO<sub>2</sub>.

## **7. Conclusiones / recomendaciones**

Se ha propuesto una metodología para la caracterización sensorial de un recubrimiento sobre metal y posterior aplicación industrial que consiste en el uso de aspectos para la selección de materiales técnicos y estéticos que aportaran mayor sensorialidad en la experiencia de uso con el usuario, donde es importante definir las dimensiones superficiales a trabajar y con qué adjetivos descriptivos evaluar.

Principalmente la prueba piloto arrojó resultados significativos de los adjetivos importantes para la prueba final ya que se evidencia tanto en la dimensión asociativa como emocional, que son difíciles de definir por los participantes lo cual se vio reflejado en algunas respuestas ambiguas y subjetivas que requieren mayor entendimiento por parte de los participantes, en donde además la presentación dimensional de las muestras no les permitía una mayor relación de las asociaciones/emociones requeridas.

Al comparar los resultados de la prueba piloto y la prueba final, se notó que las dimensiones superficiales que tienen mayor impacto para el análisis sensorial de recubrimientos de Ni-P sobre Mg, son las geométricas y físico-químicas, esto debido a que son las que expresan de mejor manera desde lo técnico al material y tienen además una mayor relación de análisis sensorial con el participante en el momento de la interacción con las muestras.

El uso de métodos tradicionales para la selección de materiales es importante para guiar la elección de materias primas, teniendo en cuenta las propiedades del material. Las pruebas de análisis sensorial apoyan dicha selección de materiales y aportan un valor agregado a las propiedades sensoriales e intangibles del mismo, entendiendo la relación directa que tendrán con un usuario durante el uso del material aplicado a un producto industrial.

## 8. Referencias

- Bergman, B.-G. R. and L. E. and M. (2016). Kansei, surfaces and perception engineering. *Surface Topography: Metrology and Properties*, 4(3), 33001. Retrieved from <http://stacks.iop.org/2051-672X/4/i=3/a=033001>
- Ferrise, F., Graziosi, S., & Bordegoni, M. (2017). Prototyping strategies for multisensory product experience engineering. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(7), 1695–1707. <https://doi.org/10.1007/s10845-015-1163-0>
- Karana, E., Hekkert, P., & Kandachar, P. (2010). A tool for meaning driven materials selection. *Materials & Design*, 31(6), 2932–2941. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.12.021>
- Kjellerup, M. K., Larsen, A. C., & Maier, A. (2014). Communicating Emotion through Haptic Design: A Study Using Physical Keys.
- Mallory, G. O., & Hajdu, J. B. (1990). *Electroless plating: fundamentals and applications*. William Andrew.
- Molina, M. S. P. (2013). *Diseño sensorial y emocional. Estudio comparativo de las respuestas del usuario en productos industriales*. (U. Pontificia Bolivariana, Ed.) (1st ed.). Medellín.
- Okamoto, S., Nagano, H., & Yamada, Y. (2013). Psychophysical dimensions of tactile perception of textures. *IEEE Transactions on Haptics*, 6(1), 81–93. <https://doi.org/10.1109/TOH.2012.32>
- Walker, P., Francis, B. J., & Walker, L. (2010). The brightness-weight illusion: Darker objects look heavier but feel lighter. *Experimental Psychology*. Walker, Peter: Department of Psychology, Lancaster University, Lancaster, United Kingdom, LA1 4YF, [p.walker@lancaster.ac.uk](mailto:p.walker@lancaster.ac.uk); Hogrefe Publishing. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000057>
- Zuleta, A. A., Correa, E., Castaño, J. G., Echeverría, F., Baron-Wiecheć, A., Skeldon, P., & Thompson, G. E. (2017). Study of the formation of alkaline electroless Ni-P coating on magnesium and AZ31B magnesium alloy. *Surface and Coatings*

*Technology*, 321, 309–320.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.04.059>

Zuo, H., Hope, T., Castle, P., & Jones, M. (2001). An investigation into the sensory properties of materials. *Psychology*.

## **9. Anexos**

### **Anexo 1**

Artículo.

# METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN SENSORIAL DE RECUBRIMIENTOS SOBRE MAGNESIO.

Alejandro Zapata<sup>1</sup>, Mariana Tobón<sup>2</sup>

1: Dependencia, Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia Medellín, Colombia

\* [Alejandro.zapatam@upb.edu.co](mailto:Alejandro.zapatam@upb.edu.co),  
[mariana.tobonz@upb.edu.co](mailto:mariana.tobonz@upb.edu.co)

## Resumen

En este proyecto se llevó a cabo una investigación experimental en la cual se propone una metodología para la caracterización sensorial de recubrimientos de níquel sobre magnesio. Para hacer esto se realizó, inicialmente una prueba piloto con 9 participantes, evaluando muestras de acero, aluminio, titanio, Mg, Mg sandblasting, Mg NiP y Mg NiP TiO<sub>2</sub>. Para todas las muestras se analizaron adjetivos como suavidad, humedad, peso, agrado, entre otros. Luego se realizó una prueba final con 21 participantes, pero evaluando sólo las muestras de Mg, Mg sandblasting, Mg NiP y Mg NiP TiO<sub>2</sub> y también se realizó una prueba de rugosidad por perfilometría. Como resultados de esta prueba piloto se obtuvieron más que datos cuantificables datos cualificables, debido a que los adjetivos empleados arrojaron respuestas ambiguas y generaron confusión en los participantes. En el caso de la prueba final se obtuvieron resultados como la relación de peso/color, la cual genera en los participantes la percepción de que los metales de color oscuro son más pesados. Se realizó la prueba de rugosidad con el fin de comparar los resultados de la prueba sensorial y teórica. Los procesos anteriormente realizados fueron con el fin de dar cuenta del potencial de aplicación objetual de los materiales caracterizados a partir de sus características técnicas y sensoriales.

**Palabras Clave:** *Recubrimientos sobre Magnesio, caracterización sensorial, percepción, diseño.*

## 1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha producido un aumento acelerado en la cantidad de contaminantes atmosféricos (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) a causa de la alta industrialización de algunos países, el continuo crecimiento de la población y al uso constante de los medios de transporte. Estos últimos son

responsables de emitir aproximadamente el 20% del CO<sub>2</sub> total presente en la atmósfera, de los cuales los dispositivos más pesados contribuyen en gran medida a aportar al alto consumo energético; comprendiendo bien esta problemática inicial, el mercado ha comenzado a centrarse interesadamente en materiales metálicos de baja densidad, dentro de los cuales se encuentra el magnesio.

Este metal, además de su baja densidad (1.74 g/cm<sup>3</sup>), posee excelentes propiedades físicas y mecánicas que lo ubican como un buen candidato para el desarrollo de productos industriales de bajo peso, llegando incluso a poder proponerse como sustituto a otras alternativas materiales como lo son el aluminio y algunos materiales poliméricos, ofreciendo además buena conductividad eléctrica y térmica, alta resistencia específica y una excelente resistencia a la absorción de impactos y vibración. A pesar de sus atractivas propiedades, y si bien este material se ha venido usando en la industria, su uso no se ha popularizado. Esto, debido en parte por su alta reactividad química (Nasiri Vatan, Ebrahimi-kahrizsangi, & Kasiri-asgarani, 2016) y su baja resistencia al desgaste (Correa et al., 2013), (Zuleta et al., 2017); y también debido al desconocimiento de las virtudes que este material puede llegar a ofrecer tras la realización de una modificación de su superficie en donde se mejore la resistencia a la corrosión y al desgaste.

Una de las alternativas para mejorar las características superficiales de este material son los recubrimientos de níquel-fósforo (Ni-P) obtenidos mediante el proceso “*Electroless Plating*”, los cuales presentan gran interés tecnológico por su excelente uniformidad en geometrías complejas, resistencia a la corrosión, desgaste y soldabilidad (Sudagar, Jian-She, Chen, Peng, & Liang, n.d.). Adicionalmente, este tipo de tratamientos permite mejorar, además de su función técnica, la apariencia estética del producto, haciendo de este un material más atractivo para los usuarios. Por otro lado, el entendimiento de las características superficiales de los materiales juega un rol importante en la aceptación o no de un producto, pues son las superficies la porción de los materiales con las que los usuarios interactúan de manera inicial, sobre todo desde los sentidos de la visión y el tacto y son además un componente que le da fuerza en cuanto a las características estético-comunicativas, sensitivas y físico-químicas al material. Desde esta perspectiva, son pocas las investigaciones que abordan la temática desde el entendimiento de la correlación entre los materiales, las superficies y la interacción con el usuario.

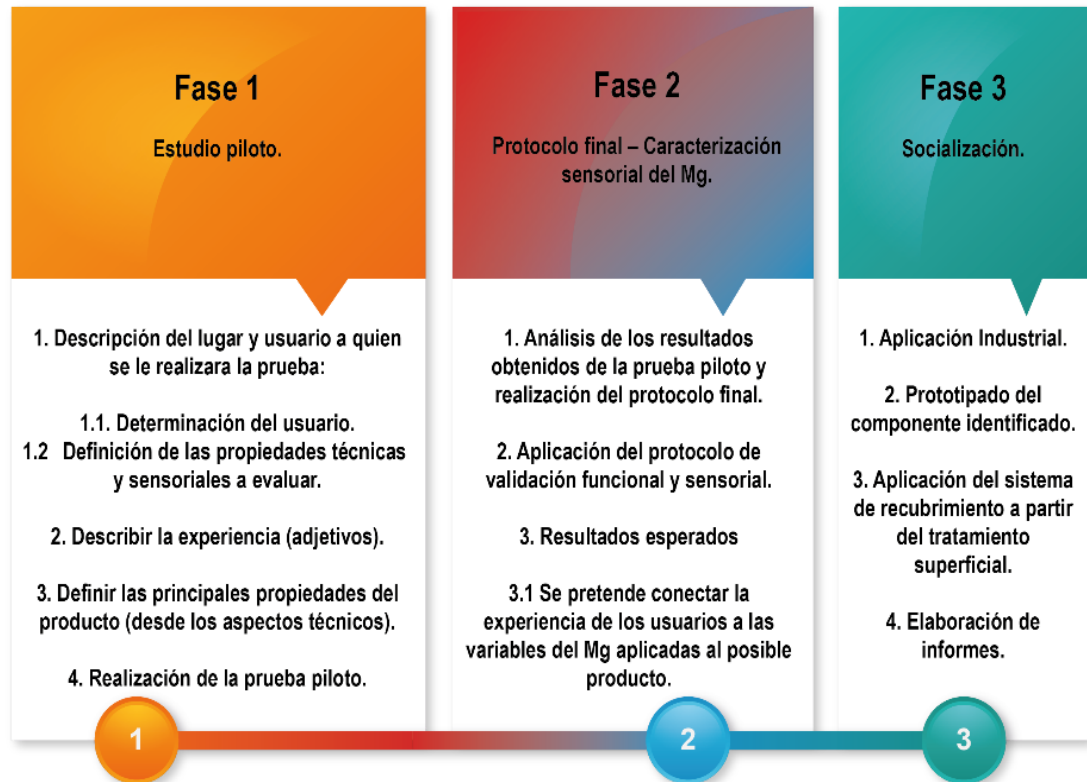
En este artículo se aborda el proceso de caracterización sensorial del material desarrollado, involucrando además el análisis de muestras de sustratos que suelen emplearse para la manufactura

de dispositivos livianos tales como el acero, el aluminio y el titanio, con el fin de establecer las características superficiales que tienen mayor incidencia en las sensaciones que se producen sobre el usuario, para determinar finalmente cuál de las muestras analizadas pueden ser más adecuadas, en términos de aceptación frente a las diferentes características sensoriales evaluadas, para la manufactura de un producto.

## 2 METODOLOGÍA

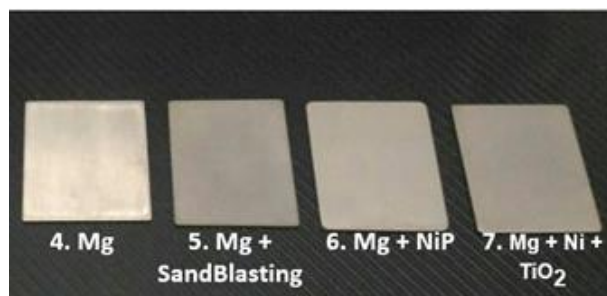
Para determinar la metodología que se llevó a cabo para la caracterización sensorial de recubrimientos sobre magnesio fue importante mantener una constante revisión de la literatura existente y del estado del arte, consultando bases de datos, publicaciones electrónicas, portales y páginas de Internet, libros, entre otros. Estos aportarían a la identificación de parámetros específicos para realizar una prueba piloto, permitiendo seleccionar el número de variables posibles a analizar para el protocolo final a realizar. Para realizar esto se definieron tres fases (Figura 1) con las que se pretendiera llegar al entendimiento sensorial del material.

El estudio piloto consistió en la ejecución de una prueba de caracterización sensorial preliminar en la cual se buscó establecer cuáles eran las características sensoriales sobre las que los usuarios tenían algún tipo de respuesta sensorial, perceptual o asociativa; además de ayudar a definir cuáles eran los adjetivos que describen de manera más clara las características sensoriales de la muestra a evaluar. Para hacer esto se definieron inicialmente, con base a estudios previos (Zuo, Hope, Castle, & Jones, n.d.), (Karana, Hekkert, & Kandachar, 2010), las dimensiones superficiales y los adjetivos descriptivos a analizar. Es importante mencionar que los usuarios realizaron una calificación de 1 a 5 para cada par de adjetivos, ubicando valores intermedios para aquellas percepciones. Por ejemplo, para el par de adjetivos pesado/liviano, el usuario deberá calificar con 1 a aquellas muestras que perciba como más pesadas y con 5 para aquellas muestras más livianas, ubicando valores de 2, 3 y 4 para percepciones intermedias de esta propiedad.



**Figura 1. Fases establecidas para la realización del proyecto**

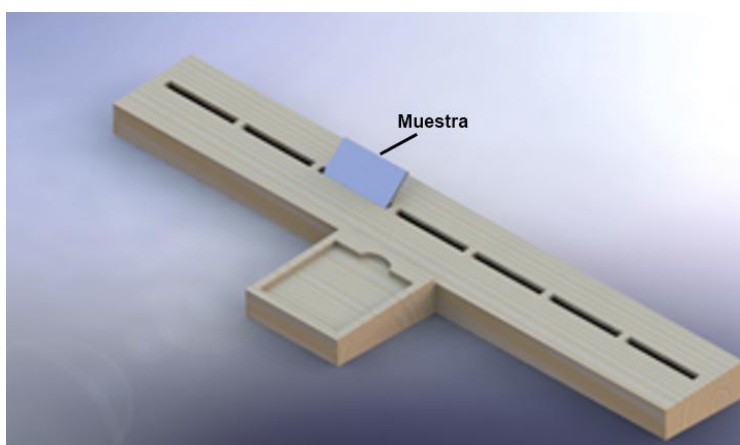
Para la prueba piloto, los participantes interactuaron con siete muestras, acero, aluminio, titanio, Mg, Mg sandblasting, Mg NiP y Mg NiP TiO<sub>2</sub>. En el caso de la prueba final fue realizada con los últimos cuatro elementos partiendo desde el Mg. Lo anterior debido a que se buscó solo realizar la prueba final con las muestras de Mg y sus recubrimientos, evaluando así los cambios en la percepción de las superficies por parte de los participantes. Los materiales empleados fueron seleccionados considerando aquellos sustratos que suelen emplearse para la manufactura de dispositivos livianos, además de las muestras desarrolladas durante el proyecto. Otra consideración que se tuvo fue la similitud visual aparente entre los metales. Una condición importante durante las pruebas fue que los participantes no sabían de qué material era cada una de las muestras, lo anterior con el fin de no condicionar la respuesta por parte de los usuarios.



**Figura 2. Materiales empleados para la prueba final**

Todas las muestras fueron cortadas en dimensiones de 45 x 45 X 3 mm. El sustrato de magnesio fue pulido hasta papel abrasivo # 600, mientras que otra de ellas fue sometida a un chorro de partículas (sandblasting) de alúmina de 150  $\mu$ m con una presión 60 psi, empleando un microblasting marca RENFERT- basic classic 2945-4025. Los recubrimientos de níquel con y sin nanopartículas fueron preparados como se menciona en los siguientes informes (Calderón, Jiménez, & Zuleta, 2016), (Zuleta et al., 2017) . Adicionalmente, se realizaron medidas de rugosidad de los sustratos evaluados empleando un perfilómetro DektakXT (Bruker), realizado con una punta de aproximadamente 2  $\mu$ m de diámetro y o una fuerza equivalente de 2 mg para los rastreos.

Los especímenes fueron dispuestos en un elemento (Figura 3) que permitiera colocarlos de manera ordenada y de fácil visualización para el usuario durante el estudio.



**Figura 3. Elemento para disponer las muestras durante las pruebas**

Después de realizar las consideraciones anteriores, se procedió con la ejecución de la prueba final en donde se realizaron algunos cambios con respecto a la prueba piloto, principalmente en relación con los adjetivos descriptivos usados para las dimensiones superficiales, eliminando los que

causaron un mal entendimiento o respuestas subjetivas y ambiguas por parte de los participantes en la prueba piloto.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la caracterización sensorial realizada se observó que, tanto en la prueba piloto como en la prueba final los participantes, aunque se les indicaba hacer una relación táctil con las muestras, estos para obtener una mejor percepción de la propiedad térmica del metal, realizaron otras acciones inusuales con su cuello y mejillas, ubicando en estos lugares las muestras como se ve evidencia en la siguiente la Figura 4. En contraste, al relacionar propiedades tales como la rigidez/flexibilidad los participantes realizaban la acción de ejercer presión con el dedo sobre cada una de las muestras.



**Figura 4. Imágenes registradas durante la prueba piloto realizada.**

Por otro lado, durante la prueba piloto se identificó que con algunos adjetivos se generaron respuestas ambiguas y complejas de analizar para los participantes con respecto al material evaluado. Esto sucedió para adjetivos descriptivos de las dimensiones asociativas y emocionales tales como: seguro/inseguro (dimensión emocional), costoso/económico y artesanal/industrial (dimensión asociativa).

En el caso del adjetivo descriptivo seguro/inseguro los participantes asociaron la seguridad del metal con respecto a su apariencia, por ejemplo: óxido, color o acabado y el perfil de la muestra.

Aunque todas las muestras estaban cortadas y pulidas de la misma manera los participantes observaban y percibían a través del tacto imperfecciones que eran interpretadas de manera subjetiva por parte de ellos lo que arrojaba respuestas relativas a partir de este adjetivo. Algo similar ocurrió para el adjetivo de cómodo/incómodo, el cual resultaba complejo de identificar por parte del usuario debido a la geometría misma de las muestras (placas), lo cual provocaba que los participantes tuvieran que recurrir a la imaginación y asociación de experiencias previas desde los conocimientos de cada uno para poder responder. Por último, muchos participantes realizaron ejercicios de comparación entre las muestras para determinar cuál era más pesada o liviana que la anterior y así poder evaluar de una manera más acertada las muestras, allí fue donde las muestras de Acero, Aluminio y Titanio tuvieron un papel importante dentro de la prueba piloto debido que estas permitían generar un análisis de comparación a los participantes entre todas las muestras, donde aparentemente se ven como materiales iguales pero realmente son totalmente diferentes.

Pero recordemos que tras la realización de la prueba piloto se hicieron modificaciones en las muestras usadas y en los adjetivos descriptivos con el fin de utilizar los más apropiados para la ejecución de prueba de caracterización sensorial final, modificándolos como se describe en la Tabla 1.

**Tabla 1. Adjetivos considerados para la ejecución de la prueba de caracterización sensorial.**

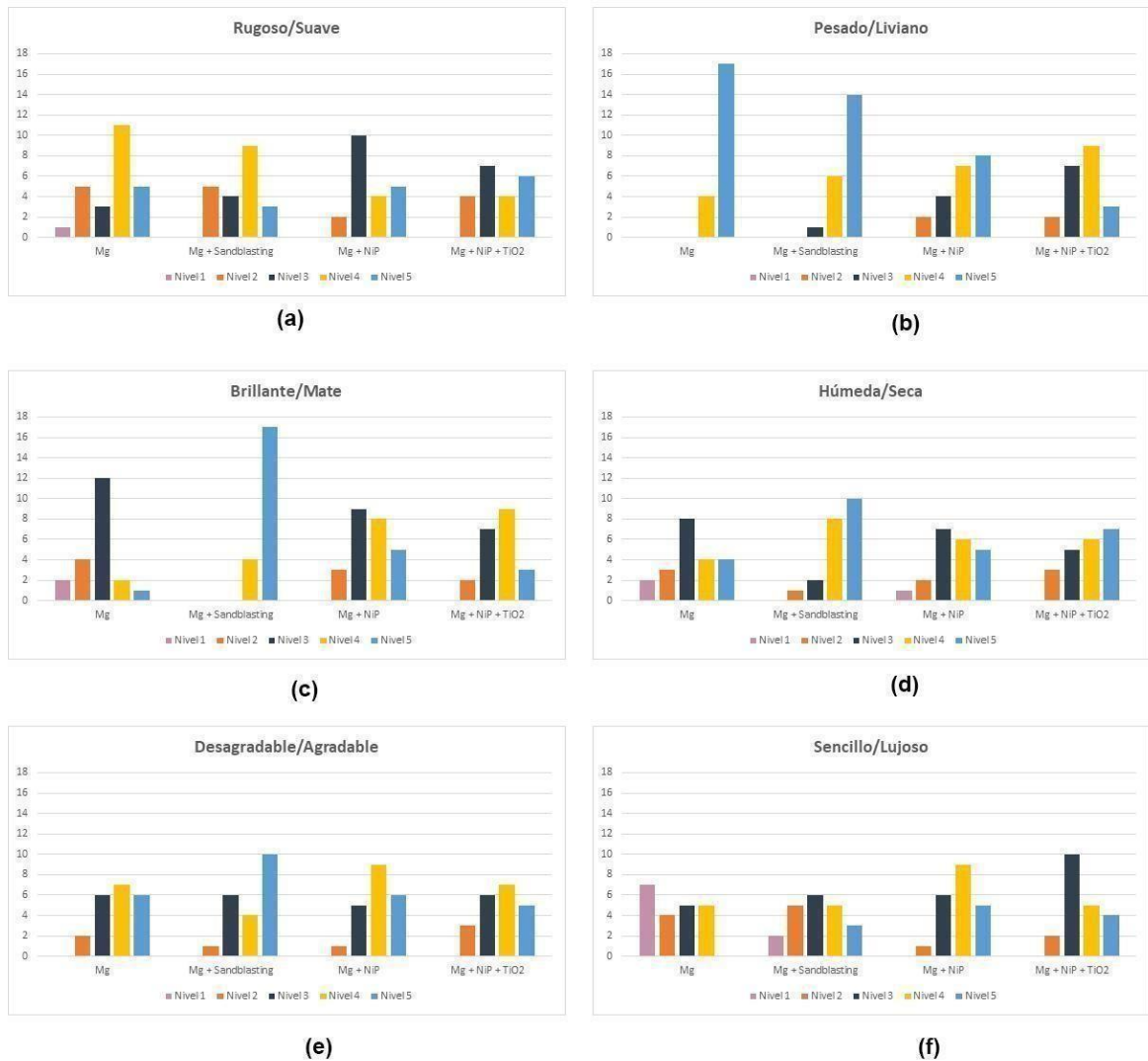
| <b>Dimensión Superficial</b> | <b>Adjetivos</b>       |
|------------------------------|------------------------|
| Geométrica                   | Rugoso/Suave           |
|                              | Pesado/Liviano         |
| Físico/Química               | Brillante/Mate         |
|                              | Húmedo/Seco            |
| Emocional                    | Desagradable/Agradable |
| Asociativa                   | Sencillo/Lujoso        |

Los cambios realizados incluyen también la cantidad de los participantes con el fin de tener mayor información sobre cada una de las muestras, ya que muchas de las respuestas resultaban bastante subjetivas. Se pasó de 9 usuarios de la prueba piloto a 21 para la prueba final, dentro de los cuales se encontraban estudiantes de diseño industrial, arquitectura y vestuario que fueron voluntarios,

además de docentes de diseño industrial, gráfico y vestuario. De igual forma se modificó la cantidad de muestras que hicieron parte de la prueba, usando solo las siguientes muestras: Mg; Mg + Sandblasting; Mg + NiP y Mg + NiP + TiO<sub>2</sub>. Lo anterior debido a que se buscaba solo realizar la prueba sensorial final con las muestras de Mg y sus recubrimientos, evaluando así los cambios en la percepción de las superficies por parte de los participantes. Por otro lado, el elemento exhibidor para disponer de las muestras durante la prueba fue el mismo al de la prueba piloto.

De allí que posteriormente los resultados fueran organizados y clasificados desde la información obtenida en la prueba piloto y en la prueba final, adicionalmente se realizó una prueba de rugosidad que permitiría confrontar los resultados obtenidos desde los aspectos sensoriales. Dentro de la caracterización sensorial fue filtrada la información por un adjetivo relevante a cada dimensión, dicho adjetivo fue el que contaba con mayor importancia y descripción dentro de cada dimensión superficial y debido a esto los seleccionados fueron: rugoso/suave para la dimensión geométrica, pesado/liviano para la dimensión físico-química, cómodo/incómodo para la dimensión emocional, y sencillo/lujoso para la dimensión asociativa.

En la siguiente Figura 5 se pueden observar las gráficas de respuesta de los usuarios con base a las diferentes dimensiones de los materiales evaluados. Allí visualizamos una relación entre el número de participantes de la prueba final y los niveles de calificación que estos tuvieron sobre los adjetivos evaluados para las muestras donde, por ejemplo: 1 = húmedo y 5 = seco; 1 = brillante y 5 = mate, 1 = rugoso y 5 = suave.



**Figura 5. Graficas de respuesta de los usuarios luego de la prueba final.**

Se observa una tendencia decreciente con respecto a la percepción de ligereza de material, siendo el magnesio pulido (Mg) el material percibido como el más liviano. Es importante anotar que esta apreciación va en contravía de lo esperado tras realizar una relación con sus propiedades técnicas puesto que se trata de un material con los mismos valores de densidad y cuya principal diferencia radica en el acabado superficial, en donde la muestra de Mg sanblastado (Mg+Sanblasting) presenta un color más oscuro (mate) en comparación con la muestra de Mg pulida, lo cual provoca que el usuario perciba el espécimen como un material más pesado.

Esta observación también ha sido reportada en investigaciones previas en donde se ha identificado que cambios en el color o brillo de la superficie influyen la respuesta perceptual de los usuarios (Walker, Francis, & Walker, 2010). Esta situación también se pudo notar en las muestras modificadas (Mg + NiP y el Mg +NiP + TiO<sub>2</sub>), las cuales difieren en la percepción de ligereza, observándose que la muestra modificada con nanopartículas de titanio (las cual presenta un color menos brillante con respecto al Mg+NiP) arroja una mayor sensación de peso en contraste con la muestra sin nanopartículas. Por otra parte, con respecto a los valores de rugosidad se observa que, en contraste con el magnesio pulido y el magnesio sanblastado, las muestras con los recubrimientos de níquel presentaron una mayor percepción de rugosidad, con niveles intermedios para la percepción de esta característica.

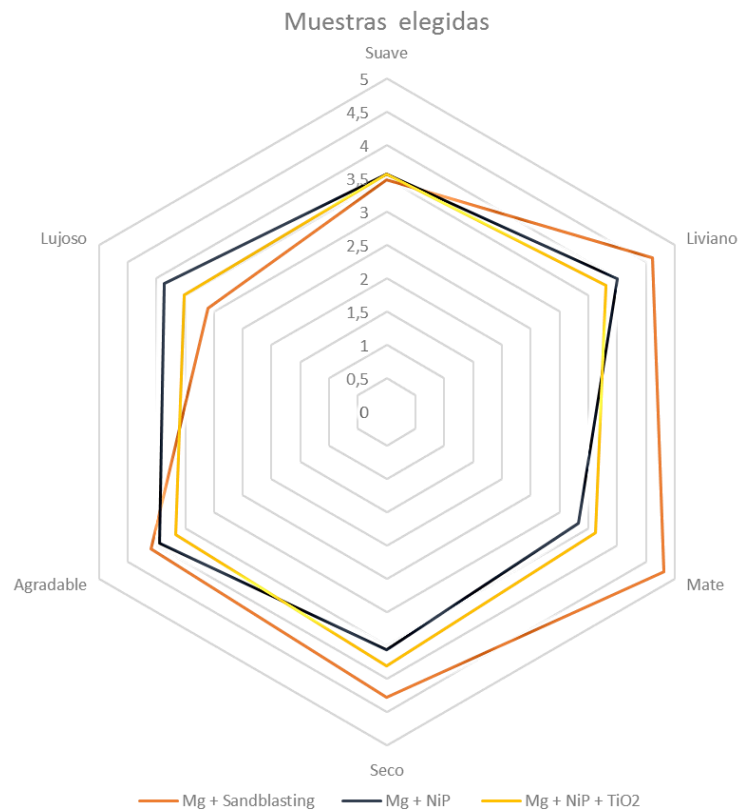
Lo anterior se encuentra en concordancia con los valores de rugosidad medidos por perfilometría (mostrados en la Tabla 2), en donde el valor de rugosidad menor corresponde al Mg pulido. Se observa que a pesar que las demás muestras tienen valores de rugosidad muy similares, la frecuencia de respuestas para las muestras modificadas se ubica en valores intermedios (nivel 3). Sin embargo, las diferencias no son significativas para esta propiedad.

**Tabla 2. Medidas de rugosidad de las muestras analizadas**

| Material                           | Ra (μm) |
|------------------------------------|---------|
| Acero                              | 0,289   |
| Aluminio                           | 0,456   |
| Titanio (as raw)                   | 0,208   |
| Magnesio                           | 0,216   |
| Mg Sanblasting                     | 1,867   |
|                                    | 1,919   |
| Mg-Ni-P    Mg-Ni-PTiO <sub>2</sub> | 2,045   |

Es importante anotar que el Mg modificado con los recubrimientos Ni-P, debido a su bajo coeficiente de fricción, es un material higroscópico, es decir un material que atrae agua en forma de vapor o de líquido de su ambiente por lo que generó en los participantes sudoración de manera esporádica mientras interactuaban con él, esto ocasionó una alteración a sus respuestas, ya que este no es un material húmedo, sino que genera esa sensación por ser además una superficie lisa.

Al final durante la prueba final se apreció una respuesta perceptual para los materiales modificados con los recubrimientos Ni-P y Ni-P-TiO<sub>2</sub> con una tendencia de aceptación por parte de los participantes de la prueba final muy similar a lo sucedido en la prueba piloto y esto en relación a los adjetivos que no fueron modificados para las dimensiones superficiales sensoriales evaluadas. Las principales diferencias, en relación con el sustrato sin recubrir, tanto pulido como sandblasteado, radica en la sensación de ligereza, color y de lujo. Los principales resultados de la prueba de caracterización son resumidos en la siguiente Figura 6 donde se observa que en donde se relacionan los demás aspectos anteriormente explicado.



**Figura 6. Gráfica de tendencia de aceptación en la prueba final para el Mg sandblasting, Mg +NiP, y el Mg + NiP + TiO<sub>2</sub>.**

## 4 CONCLUSIONES

- Principalmente la prueba piloto arrojó resultados significativos de los adjetivos importantes para la prueba final ya que se evidencia tanto en la dimensión asociativa como emocional, que son difíciles de definir por los participantes lo cual se vio reflejado en algunas respuestas ambiguas y subjetivas que requieren mayor entendimiento por parte de los participantes, en donde además la presentación dimensional de las muestras no les permitía una mayor relación de las asociaciones/emociones requeridas.
- Al comparar los resultados de la prueba piloto y la prueba final, se notó que las dimensiones superficiales que tienen mayor impacto para el análisis sensorial de recubrimientos de NiP sobre Mg, son las geométricas y físico-químicas, esto debido a que son las que expresan de mejor manera desde lo técnico al material y tienen además una mayor relación de análisis sensorial con el participante en el momento de la interacción con las muestras.
- Se ha propuesto una metodología para la caracterización sensorial de un recubrimiento sobre metal y posterior aplicación industrial que consiste en el uso de aspectos para la selección de materiales técnicos y estéticos que aportaran mayor sensorialidad en la experiencia de uso con el usuario, donde es importante definir las dimensiones superficiales a trabajar y con qué adjetivos descriptivos evaluar.
- El uso de métodos tradicionales para la selección de materiales es importante para guiar la elección de materias primas, teniendo en cuenta las propiedades del material. Las pruebas de análisis sensorial apoyan dicha selección de materiales y aportan un valor agregado a las propiedades sensoriales e intangibles del mismo, entendiendo la relación directa que tendrán con un usuario durante el uso del material aplicado a un producto industrial.

Los autores agradecen al “Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación -COLCIENCIAS”, proyecto código 1115-715-51447, contrato 284-2016 y al “Centro de Investigación para el Desarrollo y la Innovación-CIDI” proyecto 742B03/17-35.

## 5 REFERENCIAS

- Bergman, B.-G. R. and L. E. and M. (2016). Kansei, surfaces and perception engineering. *Surface Topography: Metrology and Properties*, 4(3), 33001. Retrieved from <http://stacks.iop.org/2051-672X/4/i=3/a=033001>
- Ferrise, F., Graziosi, S., & Bordegoni, M. (2017). Prototyping strategies for multisensory product experience engineering. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(7), 1695–1707. <https://doi.org/10.1007/s10845-015-1163-0>
- Karana, E., Hekkert, P., & Kandachar, P. (2010). A tool for meaning driven materials selection. *Materials & Design*, 31(6), 2932–2941. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.12.021>
- Kjellerup, M. K., Larsen, A. C., & Maier, A. (2014). Communicating Emotion through Haptic Design: A Study Using Physical Keys.
- Mallory, G. O., & Hajdu, J. B. (1990). *Electroless plating: fundamentals and applications*. William Andrew.
- Molina, M. S. P. (2013). *Diseño sensorial y emocional. Estudio comparativo de las respuestas del usuario en productos industriales*. (U. Pontificia Bolivariana, Ed.) (1st ed.). Medellín.
- Okamoto, S., Nagano, H., & Yamada, Y. (2013). Psychophysical dimensions of tactile perception of textures. *IEEE Transactions on Haptics*, 6(1), 81–93. <https://doi.org/10.1109/TOH.2012.32>
- Walker, P., Francis, B. J., & Walker, L. (2010). The brightness-weight illusion: Darker objects look heavier but feel lighter. *Experimental Psychology*. Walker, Peter: Department of Psychology, Lancaster University, Lancaster, United Kingdom, LA1 4YF, [p.walker@lancaster.ac.uk](mailto:p.walker@lancaster.ac.uk): Hogrefe Publishing. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000057>
- Zuleta, A. A., Correa, E., Castaño, J. G., Echeverría, F., Baron-Wiecheć, A., Skeldon, P., & Thompson, G. E. (2017). Study of the formation of alkaline electroless Ni-P coating on

magnesium and AZ31B magnesium alloy. *Surface and Coatings Technology*, 321, 309–320.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.04.059>

Zuo, H., Hope, T., Castle, P., & Jones, M. (2001). An investigation into the sensory properties of materials. *Psychology*.