

[183038] Diseño y manufactura de un sillín para bicicleta urbana en la ciudad de Bogotá.

Felipe Martínez Mora^{a,c} , Juan José Morales López^{a,c} , Pablo Cifuentes Acero^{a,c} ,
Alejandra Paola Polanco Aguilar^{b,c} , Daniel Ricardo Suárez^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Engineering Design Summary

Bogotá's residents have been adopting bicycle as their main source of transportation in the past years. Because of this, Bogotá's government has implemented a variety of public policies that seeks to guarantee the resident's common right to choose the bicycle as their conveyance. Likewise, the grow of the city bikers' population has generated an increase in the bicycle purchase, which usually do not satisfy each individual requisite, thus contributing to the increase of users' physical problems, aches and related pains at the end of the rides. This bachelor's degree paper, based on the literature and the observed improve opportunities, achieved to design and manufacture an urban bike saddle for men riders considering the pressure and comfort variables, supported on the Bogotá's urban riders demands. Mainly, the design and manufacturing of the saddle were developed through engineering tools and the Dieter & Schmidt (2009) design methodology, considering design variables such as: length of saddle nose, relief channel, padded cushion, saddle width and saddle slope. Therefore, three saddle prototypes were developed which were subjected to a weighted selection matrix for the choice of the final saddle prototype that would be manufactured. Besides, process and machinery analysis were taken into account to obtain the design of the production line which contains all the processes necessary for the manufacture of the proposed saddle.

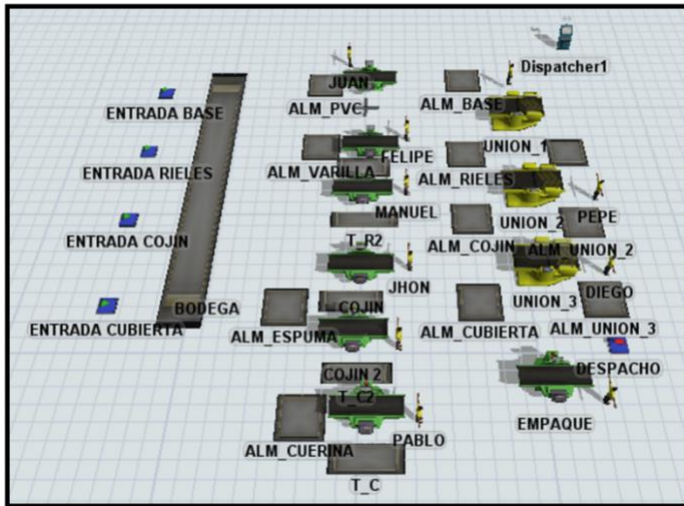
The analysis and validation of the proposed saddle were carried out by means of the design and realization of physical tests, in which pressure and comfort variables were quantified. Based on the resulting data, it was possible to show that the proposed saddle accomplished to increase the comfort variable and reduce the pressure variable. Finally, as a result of using four different cushion varieties the definition of the best type for the pressure and comfort variables was obtained. Next, illustrations of the proposed saddle (Ilustración 1) and the required production line (Ilustración 2) are shown.

Ilustración 1. Prototipo de sillín para bicicleta urbana manufacturado.



Fuente: Autores

Ilustración 2. Simulación de la Línea de Producción. FlexSim.



Fuente: Construcción de los autores utilizando el Software FlexSim.

Palabras claves: Sillín, confort, tuberosidades isquiáticas, ergonomía, manufactura.

1. Justificación y planteamiento del problema

Los medios de transporte en la ciudad de Bogotá han aumentado significativamente, debido al incremento de la población en los últimos años (El Nuevo Siglo, 2018). Uno de estos medios es la bicicleta, que ha mejorado el desplazamiento de muchos ciudadanos. Sin embargo, al mismo tiempo su uso ha generado necesidades a los usuarios. Dado lo anterior, se decidió focalizar la investigación en el espacio urbano, debido a la existencia de diversas oportunidades de mejora en modelos de bicicleta urbana, a diferencia de las bicicletas de ruta y de montaña que cuentan con un trayecto de investigación y desarrollo más avanzado (UCI, Cycling Regulations, 2018). Por consiguiente, se propuso la ciudad de Bogotá, la cual cuenta con una población de bici-usuarios activa y diversa, en donde la obtención de datos se transforma en una fuente significativa para cualquier investigación en esta área (Suero, 2010).

Con el uso masificado de la bicicleta como medio de transporte, se abre paso a que surjan nuevas necesidades para los bici-usuarios de la ciudad de Bogotá D.C. Las lesiones provocadas por el uso excesivo de la bicicleta son comúnmente amplificadas por el incorrecto posicionamiento del cuerpo sobre tres puntos de apoyo claves: el sillín, el manubrio y los pedales (Bressel & Larson, 2003). De estos tres puntos de apoyo claves, el mayor porcentaje del apoyo del cuerpo se concentra en el sillín, específicamente sobre el hueso pélvico, las presiones se distribuyen en el arco púbico con un valor de 34.2 KPa y en las tuberosidades isquiáticas con un valor de 192.2 KPa. Este esfuerzo impacta en gran medida las tuberosidades isquiáticas, un impacto que se genera con el tipo de sillín y el ángulo con el que está posicionado (Spears et al., 2003). Como consecuencia, las molestias físicas más frecuentes se reflejan en la parte superior del cuerpo debido a la hiperextensión del cuello y la flexión de la espalda baja (Kronisch, 1998).

Estas molestias presentes en los bici-usuarios están siendo abordadas con el diseño de diferentes modelos de sillines ergonómicos que buscan solucionar dos problemáticas identificadas: la presión sobre las tuberosidades isquiáticas y la presión sobre los nervios y vasos sanguíneos encargados de oxigenar la zona perineal (Gemery, Nangia, Mamourian, & Reid, 2007). El impacto negativo que tiene origen en el diseño del sillín y su ángulo de posición se concentra en la región perineal, esta presión y esfuerzo se distribuye entre las tuberosidades isquiáticas y el arco púbico, siendo significativamente mayor sobre las tuberosidades isquiáticas (Thompson & Rivara, 2001). El control sobre esta área resulta vital para controlar posibles patologías resultantes de una oxigenación deficiente de la zona perineal. Esta presión puede ser redistribuida en función del ángulo de posicionamiento del sillín y el ancho de la superficie de apoyo (Larsen et al., 2018).

Con el propósito de identificar algunas oportunidades de mejora para la práctica de ciclismo urbano, se realizó un mapa conceptual de ideas relacionando las experiencias propias, la observación de los bici-usuarios y la obtención de información a partir de una búsqueda general en bases de datos. Con este insumo, se desarrollaron tres áreas paralelas para obtener la problemática a trabajar: ideas concretas sobre el uso de la bicicleta, herramientas de ingeniería necesarias para desarrollarlas y su alcance, y las necesidades que satisfacen cada una de las ideas (ver anexo 1). Posteriormente, las oportunidades de mejora identificadas se ratificaron a través de una entrevista a usuarios frecuentes de bicicleta. A través de este método, se obtuvo información valiosa con respecto a las necesidades que no se tuvieron en cuenta en el mapa conceptual, apuntando a un mejor rango de aceptación.

Como resultado de este procedimiento, se identificaron tres actividades relevantes a realizar para el posible desarrollo del trabajo: el desarrollo de un sillín con características que permitan a las personas sentirse cómodas, el desarrollo de una aplicación que relacione las medidas antropométricas de la persona con la configuración geométrica de la bicicleta (por ejemplo, altura de sillín y manubrio), y el análisis de un sistema mecánico, que transforme la energía cinética que se produce al pedalear en energía eléctrica. Posteriormente, se evaluaron las actividades en cuanto a viabilidad y alcance del trabajo de grado, llegando a concluir que el enfoque del proyecto sería el desarrollo del sillín, iniciando la investigación y llegando al planteamiento de la hipótesis: El sillín es el elemento de la bicicleta prioritario para mejorar la comodidad y eficiencia en el desplazamiento urbano de Bogotá.

Para estudiar la hipótesis planteada, se realizó un estudio de mercado y se obtuvo el tamaño de muestra. El tamaño de muestra calculado para validar la hipótesis se plantea con la ecuación 1, la cual toma un valor normal estándar Z de 1,96 el cual representa un nivel de confianza del 95%, un valor de p del 41,7% para la proporción de personas que hacen uso de la bicicleta, un valor de q de 58,3% para la proporción de personas que no hacen uso de la bicicleta y un valor del 10% para el error máximo estándar que se está dispuesto a cometer en la diferencia entre la proporción poblacional y la proporción muestral, obteniendo un tamaño de muestra de 94 personas para que la información recolectada sea significativa estadísticamente.

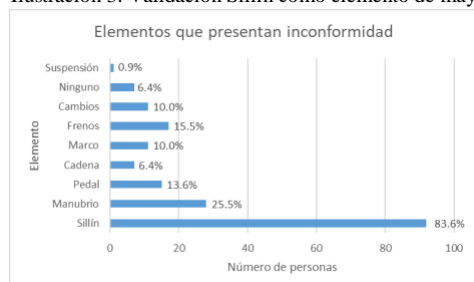
Ecuación 1. Tamaño de Muestra Estudio de Mercados.

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2} = \frac{1,96^2 * 0,417 * 0,583}{0,1^2} = 93,39 \cong 94$$

Fuente: Lamb, C. W., Hair, J. F., Jr., & Mcdaniel, C. (2011). Marketing (11th ed.), 34-58.

Para validar la hipótesis planteada sobre la prioridad de mejorar el sillín para los bici-usuarios de Bogotá, se realizó una encuesta de 33 preguntas relacionadas con el uso de la bicicleta y sus inconformidades, las características de la población y la relación entre el usuario y su bicicleta (ver anexo 2). Se entrevistó un total de 110 personas, superando el tamaño de muestra calculado. Con base en el análisis de las preguntas de validación, se obtuvo que el 63.6% de las personas encuestadas ha sentido algún tipo de dolor después de hacer uso de la bicicleta, siendo la espalda y los glúteos las principales zonas de presencia de dolor. Adicionalmente, 41,8% de las personas ha sentido fricción en la zona de la entropierna y 36,4% de las mismas, ha tenido, al menos una vez, entumecimiento o dolores en la zona perineal. Derivado de estas dolencias, se evidenció que el principal elemento causante de dolores e inconformidades es el sillín (Ilustración 3), el cual corresponde al 83,6% por escogencia de los encuestados, validando la hipótesis planteada.

Ilustración 3. Validación Sillín como elemento de mayor inconformidad. Fuente: Construcción de los autores.



El sillín, como elemento de mayor inconformidad entre las personas encuestadas, cuenta con un amplio estudio en la incomodidad del usuario. Además de esto, los estudios son desarrollados teniendo en cuenta el género de las personas que van a participar. De acuerdo con Larsen et al. (2018), quienes desarrollaron una investigación con mujeres, utilizando tres diferentes tipos de sillines (estándar, mediano y ancho), lograron evidenciar la incomodidad, no solo en el aumento de la molestia en las tuberosidades isquiáticas, sino también en la entropierna y región perineal.

Por otra parte, en cuanto a los estudios e investigaciones que tienen como participantes los hombres, se concluye la importancia de aumentar la conciencia respecto a la asociación existente entre los diseños de sillines para bicicletas y posibles patologías. La disfunción eréctil puede ser evitada reduciendo la presión en la ingle mediante la eliminación de la nariz angosta, aquella que sobresale del sillín y afecta, además, la zona de la entropierna (Gemery et al., 2007). Asimismo, Lowe, Schrader, & Breitenstein (2004) determinaron, gracias a la comparación entre cuatro diseños de sillines, que los sillines tradicionales (con nariz sobresaliente) presentan el doble de presión en la región perineal que aquellas monturas que no poseen nariz, recomendando así, un sillín que no posea una nariz angosta ni protuberante el cual puede llegar a reducir la presión en la zona del perineo del ciclista.

Por último, para analizar el mercado actual en la ciudad de Bogotá, se investigaron tiendas de venta de elementos de bicicleta, tanto formales como informales, en diferentes sectores de la ciudad (ver anexo 3). Esta información permitió plantear las siguientes preguntas: ¿Será posible mejorar el sillín utilizado actualmente por los bici-usuarios en la ciudad de Bogotá, teniendo en cuenta las variables más relevantes para mejorar la comodidad y eficiencia en el desplazamiento? ¿El sillín propuesto mejorará la calidad de desplazamiento de los usuarios, debido al gran impacto que tiene el sillín en la bicicleta como se evidenció en la encuesta?

2. Antecedentes

Un diseño incorrecto del sillín no permite una distribución uniforme del peso del cuerpo, incrementando la presión en la zona del perineo donde se encuentra el conjunto de nervios y vasos sanguíneos encargados de oxigenar la zona perineal. Particularmente en el caso de los hombres, la nariz que posee el sillín produce un incremento significativo en la presión ejercida en el perineo resultando en un incremento del riesgo de sufrir disfunción eréctil. Por otro lado, para el caso de las mujeres, específicamente, se identificaron efectos adversos relacionados al diseño del sillín incluyendo irritación en la piel y dolor en el hueso pélvico (Potter, Sauer, Weisshaar, Thelen, & Ploeg, 2008).

Según Thompson & Rivara (2001), existe una gran variedad de lesiones sufridas por los ciclistas por causa directa del sillín. Lesiones tales como ulceración, irritación, dolor en las tuberosidades isquiáticas, pueden ser prevenidas teniendo en cuenta la posición del ciclista sobre la bicicleta cuidando los ángulos de ubicación y las distancias con respecto al sillín (Kronisch, 1998). Adicionalmente, un parámetro comúnmente usado es la presión generada en el área de contacto pelvis-sillín. Concentrando la atención sobre esta área, se abarca la mayor zona de influencia sobre los tejidos neurovasculares del perineo, origen de patologías como la disfunción eréctil o el síndrome del canal de Alcock (Oberpenning, Roth, Leusmann, Van Ahlen, & Hertle, 1994).

Los estudios y avances que han tenido los sillines a lo largo del tiempo demuestran la importancia de la relación que debe tener el hombre con la bicicleta. Existen estudios que tratan de hallar la relación existente entre el sillín y la prevención de traumas y patologías que han venido presentando los ciclistas a lo largo del tiempo (Sequenzia, Fatuzzo, Oliveri, & Barbagallo, 2016). Diseños interactivos e ingeniería inversa son modalidades que han venido siendo ámbitos de estudio para el desarrollo de prototipos que se adapten a las necesidades y requerimientos del ciclista actual. Por ejemplo, Ladson III (2004) presentó un diseño de sillín que proporciona mayor comodidad durante periodos largos de tiempo, debido a la redistribución del peso del ciclista, evitando el contacto del interior de los muslos contra el extremo delantero del sillín y suministrando una zona posterior ancha que elimina el movimiento de balanceo que se presenta con el pedaleo.

Como primera instancia para el desarrollo y evolución de los sillines actuales, se incluyeron soportes en la base del sillín que permitieron mayor libertad de movimiento y apoyo al ciclista, curvando la superficie del sillín de una manera particular que permitió proveer al ciclista de mayor comodidad (Barker & Birch, 1983). Dicha superficie móvil, está conformada para adaptarse, de forma general, a la forma del cuerpo del ciclista en la región del isquion y el fémur. Adicionalmente, el sillín cuenta con dos soportes independientes permitiendo el movimiento del pedaleo sin obstrucción alguna (ver anexo 4).

De la misma manera, el cambio y adaptación en el poste del sillín han generado avances significativos en cuanto al alivio de presiones en la región perineal y la reducción en el peso de los rieles del sillín sin generar pérdidas de rigidez o resistencia (Bugle, Pesa, & McGibbney, 2006). Con relación a esto, en el desarrollo de su patente, Peters (1998) desarrolla un asiento para bicicleta que transfiere las presiones en las áreas sensibles y las traslada a los huesos del ciclista, de tal manera que, por medio de plataformas independientes, permita al ciclista deslizarse horizontalmente hacia adelante o hacia atrás e inclinarse hacia dentro o hacia afuera. Por otro lado, adicionar al poste del sillín una palanca que permita adecuar la posición de ajuste del sillín (elevado o inclinado) por medio de un conjunto de cilindros llenos con gas, conectados entre sí, es otra forma de aligerar presiones en la zona perineal (Salaberria, 2004).

Otro aspecto relevante para el desarrollo de los sillines actuales es la adición de sistemas de amortiguación que crean zonas libres de presión para los huesos, los tejidos blandos y la zona perineal del ciclista. Un cojín que posee dos dispositivos de amortiguación es agregado al sillín permitiendo libertad de ajuste a elección del ciclista (Harrison, 1998). Cada uno de los dispositivos de amortiguación cuenta con múltiples niveles de materiales que incluyen: espuma de celda abierta de baja densidad y espuma de celda cerrada de baja densidad, en forma de semi-óvalo, los cuales liberan presión en la zona de contacto con el sillín.

De igual manera, la adaptación de un tubo en forma de zigzag con su extremo libre unido a otro permite la adaptación del conjunto sillín-cojín-poste del sillín (ver anexo 4, página 4) y genera diversas posibilidades de aplicación logrando liberar presión en la zona del arco púbico y las tuberosidades isquiáticas (Huang, 1996). Así mismo, existe la posibilidad de adaptar una estructura de contracción interna en el sillín permitiendo, no solo la sujeción y rigidez necesarias, sino también la nivelación de esfuerzos y presiones en la zona perineal del ciclista (Tseng, 1998).

La geometría del sillín tiene dos funciones específicas: soportar el peso del cuerpo y ofrecer estabilidad al momento del pedaleo. El cuerpo es apoyado sobre la base ancha del sillín, siendo un punto de contacto clave para las tuberosidades isquiáticas de forma perpendicular. La nariz del sillín proporciona la estabilidad necesaria para pedalear, ofreciendo mayor estabilidad con el aumento de su extensión (Bressel & Larson, 2003). De acuerdo con Spears et al. (2003), el ancho del sillín correspondiente para uso en bicicleta urbana se encuentra en un rango de 7,5 cm a 11,5 cm (plano transversal), variando según el tallaje el cual depende principalmente de la distancia entre las tuberosidades isquiáticas. La variación de la presión sobre el arco púbico y las tuberosidades isquiáticas, para diferentes medidas de ancho dentro de este rango, no tiene una variación significativa. Con respecto a algunos de los cambios efectuados sobre la nariz del sillín, se identificó que la falta parcial o total de esta resulta en una pérdida significativa de la estabilidad del ciclista al momento de pedalear. Este efecto conlleva a que la tendencia de opiniones en cuanto a este tipo de diseños con una remoción parcial o total de la nariz sea negativa, priorizando la estabilidad sobre la ergonomía (Lowe, Schrader, & Breitenstein, 2004).

Una configuración negativa en el ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal del sillín causa que la presión y el esfuerzo se concentren en mayor proporción sobre las tuberosidades isquiáticas, aliviando al arco púbico de la presión que soportarían los vasos sanguíneos que irrigan la zona perineal. Un efecto contrario, se tiene al configurar positivamente el ángulo del sillín, provocando que la presión aumente sobre el arco púbico y disminuya sobre las tuberosidades isquiáticas. El cambio en el ángulo del sillín afectó, en mayor medida, la presión en las tuberosidades isquiáticas. Inclinarse el sillín $+10^\circ$ causó una reducción del 26% en la presión sobre el arco púbico, en comparación con esta misma, en un plano horizontal. Inclinarse el

sillín -10° causó un incremento del 190% en la presión sobre las tuberosidades isquiáticas, en comparación con esta misma, en un plano horizontal (Spears et al., 2003).

Tres modelos de sillines que cumplían una función ergonómica fueron identificados y comparados con un sillín deportivo regular (ver anexo 5). El modelo estándar con una nariz saliente alargada, contra otros tres modelos ergonómicos, cuyo cambio más significativo fue la remoción de la nariz en diferente proporción y la aplicación del canal de alivio para la zona perineal. Un sillín completo sin nariz alargada. Un sillín dividido por un canal de alivio sin nariz alargada. Un sillín dividido por un canal de alivio con remoción total de la nariz. Así se logró determinar que el modelo deportivo estándar genera mayor presión en la zona del perineo en contraste con los otros tres modelos (Lowe et al., 2004).

Adicionalmente, existen métodos desarrollados para la medición del confort durante la realización de actividad física. Por medio de estas mediciones, se pueden obtener datos y análisis importantes con respecto al estudio de variables a mejorar en el sillín para bicicleta urbana. La comodidad es un factor importante a la hora de ejecutar cualquier actividad física y, en mayor medida, cuando esta es realizada en un ámbito recreativo. De acuerdo con Mündermann, Nigg, Stefanyshyn, & Humble (2002), las personas están en la capacidad de identificar rápidamente la existencia o no existencia de incomodidad frente a una situación específica; sin embargo, la variable comodidad no es de fácil medición y los autores presentan un método práctico el cual, por medio de análisis estadístico y ANOVAS, permite la obtención de resultados estadísticamente significativos.

Con referencia a la manufactura del sillín se deben tener en cuenta los materiales de las diferentes partes que lo conforman, así como su método de producción individual. Los elementos para tener en cuenta son: base, rieles, acolchado y cubierta (Yates, 2001). En la base se utiliza material plástico debido a la reducción del peso, la calidad de las superficies del producto final y la viabilidad de su producción. En cuanto a los rieles se utilizan estructuras metálicas que se ajustan a diferentes ángulos y, además, son capaces de soportar el peso del cuerpo del ciclista. Con respecto al acolchado del sillín, este está formado por espuma de densidad media o alta de célula cerrada (densidades entre 40-60). Por último, la cubierta del sillín está fabricada de pieles sintéticas, naturales o licras en algunos casos. (Kitaguchi, 1973)

Debido a las investigaciones previas, se decidió enfocar el diseño en el largo de la nariz del sillín, canal de alivio, cojín acolchado, ancho del sillín y pendiente del sillín. De este modo, realizando variaciones y simulaciones en estas variables, teniendo en cuenta lo consultado, se desarrolló en gran parte el sillín. Por otro lado, desarrollar una línea de producción en Colombia con referente a un diseño complejo de un sillín, no es usual para la historia manufacturera del país (Noriega, Gallego, López y Bonilla, 2013). Sin embargo, la globalización concibe desarrollar un producto con un alto desarrollo tecnológico por medio del cual, partiendo de una metodología de diseño de manufactura (Dieter & Schmidt, 2009), se logran plantear los procesos que debe seguir una línea de producción para la elaboración del sillín propuesto.

3. Objetivos

Objetivo General

Diseñar y elaborar un sillín para bicicleta urbana en Bogotá, orientado para mejorar el diseño y la comodidad, incluyendo un análisis de los procesos de manufactura.

Objetivos específicos

- a. Diseñar tres prototipos de sillín con base en las oportunidades de mejora identificadas.
- b. Seleccionar un prototipo de sillín a través de criterios de ingeniería y realizar su manufactura.
- c. Validar funcionamiento del sillín seleccionado por medio de herramientas de ingeniería.
- d. Diseñar una línea de producción que contenga los procesos necesarios para la elaboración del sillín propuesto.

4. Metodología

La aplicación de la metodología para el diseño y manufactura del sillín para bicicleta urbana en la ciudad de Bogotá se realizó con base en el nicho de mercado a estudiar en el contexto de los bici-usuarios, los cuales fueron específicamente ciclistas urbanos de Bogotá. Para ello, se centró el estudio en la variable comodidad, buscando aumentar el nivel de comodidad y satisfacción del bici-usuario, y la variable presión, buscando reducir la presión presentada en la zona de las tuberosidades isquiáticas, con base en las necesidades de los usuarios para el desarrollo del sillín propuesto, cuya elaboración estuvo centrada en la propuesta de tres prototipos, escogiendo el prototipo de sillín más apropiado a dicho propósito para su manufactura y diseño de la línea de producción.

Se decidió optar por la metodología de diseño desarrollada por Dieter & Schmidt (2009) debido a que cuenta con herramientas específicas y detalladas para el proyecto propuesto tales como: herramientas de mercadeo, análisis financiero, desarrollo de manufactura, diseño experimental, análisis de variables y calidad del producto, herramientas de diagnóstico, entre otros, que se ajustan al conocimiento de la ingeniería y al desarrollo de un producto tangible como lo es el desarrollado en este trabajo de grado. Para observar más al detalle la metodología de diseño ver anexo 6. Asimismo, para el desarrollo de cada una de las herramientas de ingeniería se muestra una tabla con relación a las asignaturas cursadas en el pregrado de ingeniería industrial de la Pontificia Universidad Javeriana (ver anexo 7).

4.1 Diseñar tres prototipos de sillín con base en las oportunidades de mejora identificadas.

Este objetivo corresponde al desarrollo de la fase inicial de la creación del sillín para bicicleta urbana en la ciudad de Bogotá. Por medio del benchmarking y la encuesta realizada a la población objetivo (ver anexo 2 y 3), se tomó la decisión de optar por las variables comodidad y presión, debido a que son las variables que generan mayores problemas a los bici-usuarios en sus desplazamientos. Con respecto a lo anterior, se desarrolló el diseño de un sillín que aumentara los niveles de comodidad y que disminuyera los niveles de presión presentes en los desplazamientos de los bici-usuarios en la ciudad de Bogotá.

También, se decidió enfocar el diseño del sillín en los bici-usuarios hombres. Según un informe de la Universidad Libre (2019), el 70% de los bici-usuarios en la ciudad de Bogotá son hombres. Adicionalmente, de acuerdo con la encuesta realizada por los autores, el 80,8% de los bici-usuarios son hombres, lo cual confirma que la mayoría de los bici-usuarios en la ciudad de Bogotá son del género masculino. Por otra parte, los hombres y las mujeres presentan una diferencia significativa en la distancia entre las tuberosidades isquiáticas, siendo las mujeres aquellas que presentan un promedio mayor al de los hombres (Tague, 1989). Por tal motivo, se decide enfocar el diseño y manufactura del sillín en hombres, cumpliendo con las oportunidades de mejora identificadas.

Con respecto a las oportunidades de mejora identificadas durante la investigación de antecedentes, se logró que los diseños del sillín presentaran una nariz menos pronunciada, buscando la disminución de la presión en la zona perineal y la reducción de las zonas de contacto entre el sillín y el bici-usuario, como lo son la entrepierna y los glúteos. Además, la presencia del canal de alivio en los diseños reduce la presión sobre los nervios y vasos sanguíneos encargados de oxigenar la zona perineal (Lowe et al., 2004). Por otra parte, la pendiente del sillín fue, de igual manera, un factor tenido en cuenta a la hora de realizar los diseños debido a que la presencia de inclinaciones muy pronunciadas ($\pm 10^\circ$) puede provocar un aumento de la presión sobre las tuberosidades isquiáticas, generando un gran impacto en las variables objetivo (Spears et al., 2003).

Otro aspecto importante para la mejora de las variables del estudio fue el ancho del sillín. Para determinar cuál debería ser el ancho del sillín apropiado para los bici-usuarios hombres, se realizó un estudio antropométrico con el fin de determinar el promedio de la distancia de las tuberosidades isquiáticas de los hombres en la ciudad de Bogotá. El tamaño de muestra calculado para validar el estudio se plantea con la ecuación 2, la cual toma un valor normal estándar Z de 1,96 el cual representa un nivel de confianza del 95%, un valor de p del 70% para la proporción de bici-usuarios hombres en la ciudad de Bogotá, un valor de q de 30% para la proporción de bici-usuarios mujeres en la ciudad de Bogotá y un valor del 10% para el error

máximo estándar que se está dispuesto a cometer en la diferencia entre la proporción poblacional y la proporción muestral, obteniendo un tamaño de muestra de 81 personas para que la información recolectada sea significativa estadísticamente.

Ecuación 2. Tamaño de Muestra Estudio Antropométrico.

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2} = \frac{1,96^2 * 0,7 * 0,3}{0,1^2} = 80,67 \cong 81$$

Fuente: Lamb, C. W., Hair, J. F., Jr., & McDaniel, C. (2011). Marketing (11th ed.), 34-58.

El estudio contó con la participación de 45 hombres a los cuales se les midió la distancia entre las tuberosidades isquiáticas utilizando una espuma que cuenta con la tecnología de memoria (Memory Foam), cabe resaltar que el estudio se realizó a una población menor al tamaño de la muestra debido al alcance y complejidad de la medición. Además de tomar la distancia entre las tuberosidades isquiáticas, se tomó la estatura y el peso corporal para tener un concepto comparativo referente a las medidas estándar que presenta la población colombiana (El Tiempo, 2019). Como resultado del estudio, se obtuvo que la distancia promedio de las tuberosidades isquiáticas de los hombres en la ciudad de Bogotá se encuentra entre 12,72 y 13,10 cm, con un nivel de confianza del 95% (ver anexo 8). Con base en lo anterior, se desarrollaron los bocetos y diseños de concepto para el desarrollo de cada uno de los prototipos (ver anexo 9).

El prototipo 1 se basó en los estudios desarrollados por Ladson III (2004). Para ello, se implementó una mayor área de contacto sobre las tuberosidades isquiáticas, mayor apoyo en los glúteos de la persona y una nariz pronunciada para brindar mayor estabilidad. Por otro lado, el prototipo 2 se desarrolló teniendo en cuenta un canal de alivio con mayor detalle y una altura del sillín más pronunciada. Asimismo, se buscó que los perfiles del prototipo estuvieran suavizados para evitar molestias puntuales en las regiones de contacto (Barker & Birch, 1983). Por último, el prototipo 3 se desarrolla a partir de disminuir una nariz prolongada sin perder la estabilidad del usuario (Lowe et al., 2004). Además, se amplió el canal de alivio, se aumentó el área de contacto de las tuberosidades isquiáticas y se buscó ubicar dicha área en un plano horizontal para luego generar una pendiente que disminuya la presión sobre las tuberosidades isquiáticas.

Luego de tener las propuestas de los diseños de concepto terminados, se empleó la herramienta SolidWorks destinada al desarrollo de diseño CAD 3D. Este software se especializa en el análisis y la gestión de materiales, bajo la referencia de diseños creados por los usuarios. Para los prototipos 1 y 3 (ver anexo 10), se desarrollaron los diseños a partir de sólidos geométricos, devastando el material desde diferentes ángulos para reducirlo al diseño planteado de cada prototipo. En cambio, el prototipo 2 (ver anexo 10) se realizó utilizando superficies, las cuales se construyen a partir de varios planos que se interceptan a través de líneas vectorizadas, generando un aspecto mucho más estético al mostrar curvas delicadas.

4.2 Seleccionar un prototipo de sillín a través de criterios de ingeniería y realizar su manufactura.

Al tener los tres diseños finales de cada prototipo se procedió a realizar la impresión de cada uno a través de una impresora FF STD 3D PRINTER de la marca FUSED FORM, la cual se encuentra en el Centro Tecnológico de Automatización Industrial (CTAI) ubicado en la Pontificia Universidad Javeriana como recurso exclusivo de los estudiantes para la investigación y el desarrollo. El proceso de impresión requiere del software CURA para convertir el archivo de los diseños en SolidWorks, en código GCODE necesario para que la impresora proceda correctamente. Al finalizar la impresión se obtuvo los tres prototipos en físico.

Después de realizar la impresión, se procede a seleccionar qué prototipo se adapta mejor a los requerimientos planteados en la investigación. Por lo cual se decide utilizar una matriz de selección ponderada (Ramalhete, Senos, & Aguiar, 2010), dado que provee la utilización de factores específicos bajo un criterio de evaluación ponderado, logrando evaluar cada factor seleccionado con respecto a diferentes porcentajes que logran darle distintos pesos a las alternativas propuestas. Este método propone cuál prototipo es la mejor opción para desarrollar su producción (ver anexo 12). Los criterios seleccionados fueron: diseño para reducción de presión, el costo manufactura/unidad, innovación, eficiencia estética, viabilidad de modificación del diseño y aceptación estética, todos ellos con un peso relativo del 16,6%. A cada uno de los

criterios se les asignó el mismo peso relativo para obtener equidad entre ellos y la selección del mejor prototipo. Como resultado de esta herramienta se obtuvo que el prototipo tres fue la mejor opción. Seguido de esto, se desarrollaron los planos correspondientes al diseño del prototipo final del sillín (ver anexo 13) para continuar con su proceso de manufactura.

En cuanto a la manufactura del prototipo final, se elaboraron las cuatro partes que conforman un sillín para bicicleta: la base, los rieles, el acolchado y la cubierta (ver anexo 14). Para la base se realizó la impresión 3D mencionada anteriormente. Con respecto a los rieles, se adquirió la varilla de acero inoxidable de $\frac{1}{4}$ ", de acuerdo con el resultado obtenido en la matriz de selección de materiales (ver anexo 11), y se hicieron los dobleces necesarios en la prensa de banco ubicada en el CTAI. Al tener los rieles conforme a lo requerido, se unieron a la base impresa y se utilizó un adhesivo instantáneo para su correcto ajuste. Luego de tener lista la base con los rieles, se adquirió la espuma de alta densidad (30), según los resultados de la matriz de selección de materiales (ver anexo 11), y se cortó de forma manual para darle la forma de la base. Por último, se adquirió un forro para sillín, el cuál fue modificado por los autores para ajustarlo a la forma característica, terminando así la manufactura del prototipo final. Cabe resaltar que se hizo uso de un forro para sillín modificado, debido a la practicidad que este otorgaba al trabajo de grado. Más adelante se dará a conocer cómo será la manufactura final de la cubierta del sillín.

4.3 Validar funcionamiento del sillín seleccionado por medio de herramientas de ingeniería.

La validación del funcionamiento del sillín fue realizada por medio de una prueba física basada en la medición de las variables comodidad y presión (Larsen et al., 2018), en la cual se utilizó una escala cualitativa que permite asignar valores cuantitativos a las variables por medio de una escala analógica visual (Lamb et al., 2011). Según Larsen et al. (2018), la fluctuación de presión influye en la disminución de la disconformidad del individuo. Además, menciona que la comodidad no debe ser medida en tiempos de más de 20 min para pruebas físicas, debido a que comienza a interferir con el cansancio del sujeto de prueba. Cabe resaltar que esta prueba está destinada a la validación de un prototipo de sillín para bici-usuarios hombres como mercado meta de esta investigación. Por tal motivo, se utilizan hombres y mujeres para comprobar que existe una diferencia entre las disconformidades de hombres y mujeres, y que el prototipo final diseñado suple, en mayor medida, las disconformidades de los bici-usuarios hombres.

A través de dos diseños de experimentos, se busca ver el comportamiento de las variables comodidad y presión. El primer diseño de experimentos tiene como variable de respuesta la comodidad y contiene dos factores. El primer factor: espumas con cuatro niveles y el segundo factor: género con dos niveles. Para el segundo experimento la variable de respuesta es la presión y contiene los mismos factores utilizados en el experimento uno. Para los experimentos se realizaron cuatro réplicas, suponiendo que el sujeto no se cansa, es decir, que el cansancio no influye significativamente en los resultados de la prueba.

En cuanto al primer diseño de experimentos se plantean tres hipótesis nulas: 1) La diferencia entre las medias de comodidad es igual para todos los hombres en todas las espumas. 2) La diferencia entre las medias de comodidad es igual para todas las mujeres en todas las espumas. 3) La diferencia entre las medias de comodidad es igual para todos los sujetos en todas las espumas. Mientras que para el segundo diseño de experimentos se plantean las siguientes hipótesis nulas: 1) La diferencia entre las medias de presión es igual para todos los hombres en todas las espumas. 2) La diferencia entre las medias de presión es igual para todas las mujeres en todas espumas. 3) La diferencia entre las medias de presión es igual para todos los sujetos en todas las espumas.

Para realizar las pruebas se utilizó una bicicleta estática ubicada en un gimnasio residencial. La bicicleta estática cuenta con un tablero electrónico el cual muestra indicadores como velocidad y tiempo, los cuales permiten llevar un seguimiento a lo largo del desarrollo de la prueba. También, la bicicleta cuenta con un poste del mismo diámetro de la nuez del sillín, por tal motivo la adaptación del sillín propuesto no presentó inconvenientes a la hora de la realización de las pruebas.

La prueba consistió en medir y registrar las distancias entre las tuberosidades isquiáticas, talla y peso de seis hombres y cinco mujeres, esta descripción se puede observar más detalladamente en el acta de la prueba (ver anexo 15). Cada sujeto se sometió a pedalear a una velocidad constante durante aproximadamente una hora, acatando lo estipulado en el consentimiento informado, el cual fue firmado y avalado por cada sujeto (ver anexo 16). Cabe resaltar que la hora dispuesta para pedalear se dividió en cuatro secciones de 15 min cada una, donde se cambiaron las espumas al finalizar cada sesión para observar el comportamiento de los sujetos con referente a las variables presión y comodidad. Además, la prueba contó con descansos de 15 min, para una duración total de la prueba de una hora y 45 min. Las espumas utilizadas en la prueba fueron las siguientes: Espuma 1 (Alta densidad 30), Espuma 2 (Memory Foam, PET 25), Espuma 3 (Látex), Espuma 4 (Látex, Memory Foam, PET 25, Gel) (ver anexo 17). Con cada una de las espumas, el sujeto respondió a un cuestionario para determinar el nivel de comodidad y el nivel de presión que iba sintiendo cada cinco min. Teniendo en cuenta que al principio de la prueba también se realizó el cuestionario (justo en el momento en que se sentó el sujeto en el sillín sin haber realizado ningún pedaleo), se obtuvo un total de cuatro consultas.

Posterior a las pruebas se realizó la limpieza de datos y organización de estos a través de una tabulación en Excel. Igualmente, se analizaron los datos y se desarrolló el diseño de experimentos propuesto (ver anexo 18). Los resultados se presentan en la sección 6.3 de este documento.

4.4 Diseñar una línea de producción que contenga los procesos necesarios para la elaboración del sillín propuesto.

El desarrollo del diseño de la línea de producción se realiza a partir de la selección de la maquinaria adecuada para cada uno de los procesos y la manufactura de cada una de las partes que componen el sillín para bicicleta urbana en la ciudad de Bogotá. Se realizó un estudio detallado con respecto a las máquinas utilizadas para la fabricación de la base del sillín. Se utiliza una inyectora de plástico para la fabricación de la base; por lo tanto, se cotizó una máquina que se ajustara a las necesidades y requerimientos de la base del sillín propuesto (ver anexo 19). Asimismo, se realizó el estudio para la manufactura de los rieles, el acolchado que llevará el sillín y la cubierta, teniendo en cuenta los requerimientos de materias primas y recursos necesarios para la obtención de un sillín para bicicleta urbana. Por otro lado, se realizó el diseño de la planta (Layout) basándose en la metodología Systematic Layout Planning (SLP), logrando ubicar cada una de las máquinas y espacios requeridos para la fabricación del sillín, obteniendo una línea de producción que contiene los procesos necesarios para la producción final del sillín (Shewale, Shete, & Sane, 2012).

Para la elección de las máquinas y los equipos necesarios para la línea de producción se realizó una matriz de selección ponderada (ver anexo 20). Dicha matriz fue seleccionada dado que provee la utilización de factores específicos bajo un criterio de evaluación ponderado, logrando evaluar cada factor seleccionado con respecto a diferentes porcentajes que logran darle distintos pesos a los requisitos de la maquinaria (Ramalhetete et al., 2010). Para cada una de las partes del sillín (base, rieles, acolchado y cubierta), se otorgan tres criterios para la selección de la maquinaria adecuada, los cuales son: tiempo de producción/unidad, adaptabilidad a diferentes diseños y costo de adquisición, todos ellos con un peso relativo de 33,33%. A cada uno de los criterios se les asignó el mismo peso relativo para obtener equidad entre ellos y la selección de la maquinaria adecuada.

A partir de la matriz de selección se obtuvo como resultado las máquinas que van a ser utilizadas y se realizaron cada uno de los diagramas de procesos que proveen una descripción sistemática de los ciclos de trabajo con suficiente detalle para la manufactura del sillín para bicicleta urbana (Maynard & Vallhonrat, 1987). Se realizaron los siguientes diagramas: diagrama de flujo de bloques, diagrama de flujo de operaciones, diagrama de flujo de procesos y diagrama de flujo de recorrido.

Para mostrar el flujo que presenta la manufactura del sillín propuesto se utilizó el diagrama de flujo de bloques, el cual permite dividir la línea de producción en tres fases. En la fase 1 se fabrican las diferentes partes que más adelante conformarán el sillín. En esta fase se encuentra: el proceso de inyección donde ingresan 168 g de PLA para inyectar la base, el proceso de doblado donde ingresan 124,5 g de varilla de acero inoxidable de 1/4" y salen los rieles del sillín, el proceso de cortado de la espuma donde ingresan 15 g de

espuma de densidad 30 y el proceso de troquelado donde ingresan 39 g de cuerina sintética. Posteriormente en la fase 2 se unen cada una de las cuatro partes de manera secuencial: la “Unión 1” se conforma por el prensado de la base y el riel, seguido de ello la “Unión 2” consiste en el pegado del acolchado a la unión anterior donde ingresan 25 ml de pegante industrial. Por último, en la “Unión 3”, ingresan 25 ml de pegante industrial y 2 g de grapas de 8 mm los cuales se utilizan para pegar la cubierta a la unión anterior y graparla en la zona inferior de la base. Finalmente, en la fase 3 se realiza el empaque donde ingresa una pieza de cartón de presentación de 9,6 g y 2 amarres plásticos con una masa de 2 g, los cuales permiten unir el sillín al cartón, obteniendo una unidad terminada (sillín) con una masa aproximada de 450 g (ver anexo 21).

En el diagrama de flujo de operaciones se presenta la entrada de materiales, las operaciones y las inspecciones necesarias para la manufactura del sillín propuesto. Como resultado se obtuvo un total de 12 operaciones con un tiempo aproximado de 1582 s, un total de cinco inspecciones con un tiempo aproximado de 92 s para un total de 17 actividades con un tiempo total de 1674 s (ver anexo 22). En cuanto al diagrama de flujo de procesos, se muestran al detalle cada una de las operaciones e inspecciones para cada una de las fases por las que pasa el sillín para su proceso de manufactura, mostrando cantidades de materias primas y almacenamiento de estas (ver anexo 23). Por último, para el diagrama de flujo de recorrido se muestran las posiciones de cada una de las actividades distribuidas a lo largo de la bodega (ver anexo 24).

Con respecto a la descripción de la línea de producción, la base será formada por medio de inyección por termo moldeado de PLA, con uso de la inyectora AsianMachinery modelo VMG185-PET la cual cumple con una tasa de inyección suficiente (180 g/s). En el caso de los rieles se utilizará una tronzadora ELITE CS1424 y una dobladora manual L&C tools para formar la estructura necesaria a partir de una varilla de longitud de 50 cm con un diámetro de ¼” de acero inoxidable. El acolchado será producido con espuma de densidad 30 cortada hasta obtener la forma diseñada por medio de una cortadora de espuma Zhonglida ZLD008D. La cubierta será recortada por medio de la troqueladora GSB XCLP2-300, utilizando un troquel con el cual se da la forma a la cuerina necesaria para cubrir el sillín. A continuación, en la fase correspondiente a las diferentes uniones de las piezas, se usará una prensa MSY-30 en cada una de las uniones. En la “Unión 1”, se une la base plástica con los rieles en las cavidades destinadas para ello en la parte inferior de la misma por medio de un prensado. Posteriormente, en la “Unión 2” se pega la espuma recortada a la base por medio de 25 ml de pegante Pegatex Artecola asistido por prensa. Finalmente, en la “Unión 3” la pieza recortada de cuerina se pega a la espuma con 25 ml de pegante Pegatex Artecola asistido por prensa y cocido de la cuerina a la parte inferior de la base con grapas de 8 mm.

Según la metodología SLP para la delimitación de la distribución en planta de las diferentes máquinas y estaciones, se cumplió con las tres primeras fases propuestas en esta metodología. En la fase I se seleccionó la ubicación geográfica de la planta de producción en la dirección carrera 36 con calle 17b dentro del barrio Estación central en la localidad de Puente Aranda de la ciudad de Bogotá, siendo esta una zona donde se ubica una de las principales zonas industriales de la ciudad satisfaciendo necesidades de proveedores, servicios públicos y vías de acceso principales. Para el cumplimiento de la fase II se realizó la tabla de relaciones donde se presentan las áreas requeridas para la disposición del Layout; además, se realizaron los diagramas de relaciones entre las estaciones que conforman la línea de producción (ver anexo 25). Dado lo anterior, se crearon los diagramas con distribuciones diferentes para el planteamiento de dos posibles Layout. Por medio de una matriz de selección ponderada utilizando los criterios: fluidez del recorrido del proceso, cumplimiento con los requisitos de relaciones y el orden lógico del Layout, todos ellos con un peso relativo de 33,33%. Así, se escogió la opción de Layout más acorde, respetando las relaciones establecidas en las fases y consiguiendo un flujo de producción adecuado para el desarrollo y manufactura del sillín propuesto (ver anexo 26).

Para el desarrollo de la línea de producción se hace uso de la herramienta de simulación del software FlexSim la cual permite la creación virtual de la línea de producción donde se representan los comportamientos esperados por cada una de las estaciones. De esta forma se logra proyectar la capacidad de producción del diseño simulado estableciendo los tiempos de procesamiento en cada máquina, los niveles de almacenamiento temporal en cada estación, el número de máquinas, el número de operarios por máquina y las funciones de cada uno de ellos.

Por último, para realizar el análisis de costos asociados a la manufactura del sillín propuesto se tienen como parámetros una tasa de inflación aproximada del 3% (El Espectador, 2019), también se cuenta con una tasa fiscal de 33% (Consultor contable, 2017), un costo de oportunidad del 15% establecido a partir del riesgo al que el proyecto es sometido, con referente al mercado en que participa (Gerencia, 2017), se toma un rango del 8% al 14 % para los gastos administrativos y de ventas, los cuales varían dependiendo de la espuma escogida y el precio del sillín al público. Para el parámetro del salario base de los operarios se establece en \$925,148 COP para un total de 30 operarios en tres turnos diarios (Martínez & Osorio, 2019). Por otro lado, los siguientes elementos fueron cruciales para realizar el análisis de costos: depreciaciones sobre activos no corrientes, inversión en maquinaria, capital de trabajo para operar durante los años de proyección y costos indirectos de fabricación. Los demás cálculos son desarrollados en el análisis de costos (ver anexo 27).

5. Componente de Diseño en ingeniería

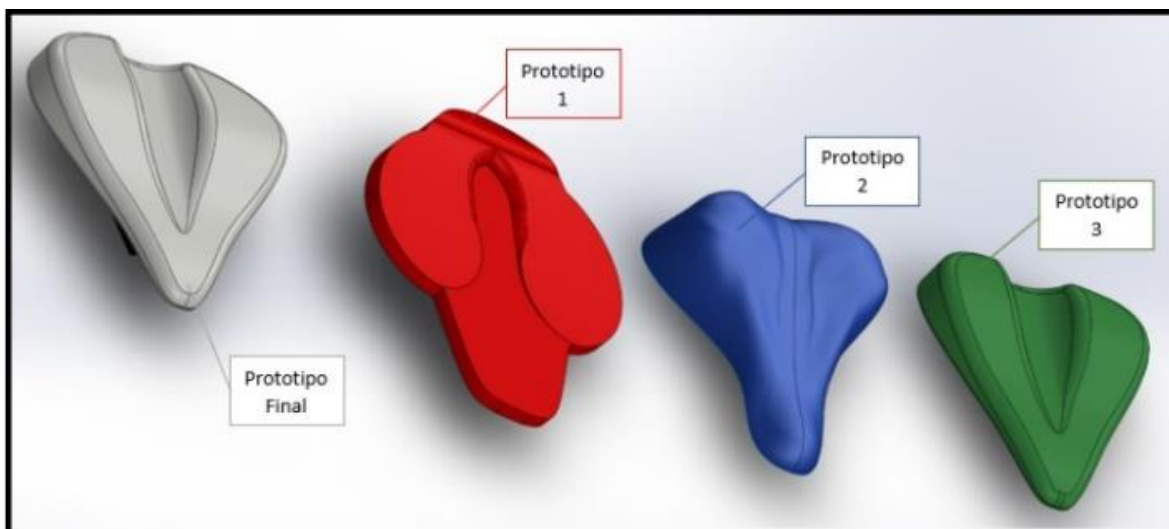
5.1. Declaración de Diseño:

Se propuso el diseño de un prototipo de sillín ergonómico para uso en bicicleta urbana a través del estudio de las variables comodidad y presión, las cuales disminuyan los problemas de incomodidad de los bici-usuarios hombres en la ciudad de Bogotá. El diseño y manufactura del prototipo final y el análisis experimental sobre las variables de diseño fueron utilizadas para la creación de una solución que ayudó a disminuir las molestias relacionadas con el uso de la bicicleta.

5.2. Proceso de Diseño:

Como se mencionó con anterioridad en la sección 4.1, para el diseño propuesto se tuvieron en cuenta diferentes variables de diseño para la creación de tres diferentes prototipos sobre los cuales se aplicó una matriz de selección ponderada para escoger el mejor de ellos (Ilustración 4).

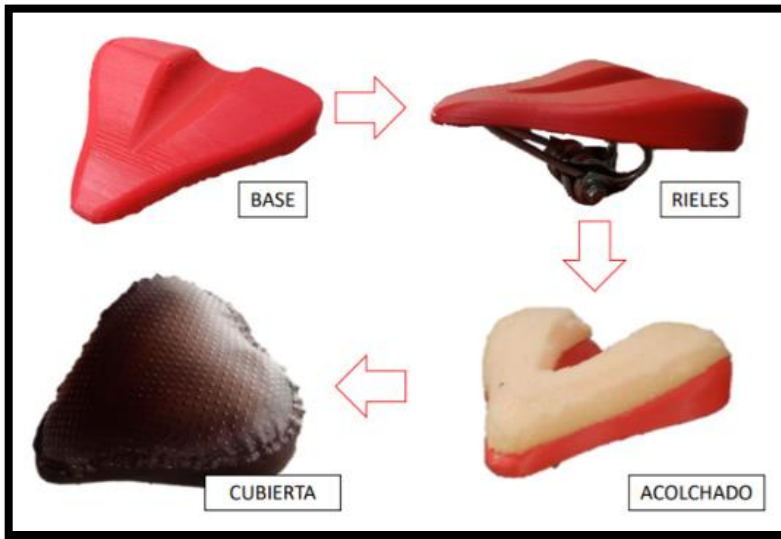
Ilustración 4. Prototipos.



Fuente: Autores.

Para la manufactura del prototipo final, se elaboraron las cuatro partes que conforman un sillín para bicicleta: la base, los rieles, el acolchado y la cubierta (Ilustración 5).

Ilustración 5. Partes del Sillín.



Fuente: Autores.

Para la base se realizó la impresión 3D (Ilustración 6).

Ilustración 6. Base del Sillín.



Fuente: Autores.

Con respecto a los rieles, se adquirió la varilla de acero inoxidable de $\frac{1}{4}$ " y se hicieron los dobleces necesarios en la prensa de banco ubicada en el CTAI. Al tener los rieles conforme a lo requerido, se unieron a la base impresa y se utilizó un adhesivo instantáneo para su correcto ajuste (Ilustración 7).

Ilustración 7. Base del sillín con rieles.



Fuente: Autores.

Luego, se cortó la espuma de forma manual para darle la forma de la base y se unió a la base con los rieles por medio de un adhesivo (Ilustración 8).

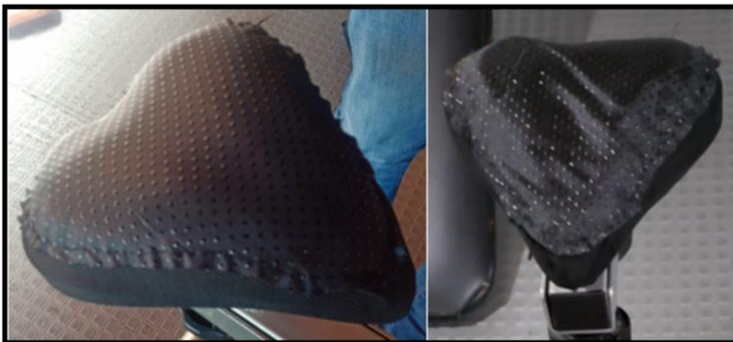
Ilustración 8. Sillín con acolchado.



Fuente: Autores.

Por último, se adquirió un forro para sillín, el cual fue modificado por los autores para ajustarlo a la forma característica, terminando así la manufactura del prototipo final (Ilustración 9).

Ilustración 9. Sillín final con forro.



Fuente: Autores.

5.3. Requerimientos de desempeño:

Se esperaba que el diseño del sillín para bicicleta urbana propuesto generara mayor comodidad y fuera más ergonómico que los sillines ahora existentes, teniendo en cuenta la población objetivo. Además, se buscaba que el sillín fuera asequible para las personas en la ciudad de Bogotá.

Se evaluaron las siguientes variables:

- Presión: Se buscó disminuir la presión (fuerza/área) que ejerce el bici-usuario en los puntos de apoyo que ofrece el sillín (Pascales)
- Tensión: Se buscó medir la deformación del sillín en diferentes puntos de anclaje para observar la deformación (Newtons)

- Comodidad: Se buscó disminuir el nivel de percepción de incomodidad del ciclista por medio de escalas cualitativas.
- Aceptación del sillín por parte de la población para observar su impacto en el mercado por medio de escalas cualitativas.

A través de una simulación de análisis estático desarrollada por el software de SolidWorks, se observó cómo se comportaron las variables bajo una influencia de 1000 N de peso (ver anexo 29). Para este análisis se realizó una sujeción fija en la sección de los rieles los cuales sujetan la bicicleta y ejercen todo el peso de la persona. Luego se corrió la simulación con referente a las variables de presión y tensión. Se observó que el sillín propuesto está diseñado para aguantar 3.2 veces el peso de 1000 N, es decir en promedio unos 300 kg antes de romperse, con las condiciones ideales de sujeción del riel propuestas en el proyecto. Se observa que la deformación es de 1.3 mm en la zona central del sillín bajo el peso propuesto anteriormente, concluyendo que el sillín es apto y seguro para la población seleccionada en esta investigación. Además, las variables de comodidad y aceptación fueron evaluadas a través de una encuesta cualitativa a cada sujeto en las pruebas físicas realizadas en el cuarto objetivo específico (ver anexo 18).

5.4. Pruebas de rendimiento:

Como ya se explicó en la sección 4.3, la prueba consistió en someter a diferentes sujetos a pedalear en una bicicleta estática durante 15 min por espuma, para un total de cuatro espumas, mientras se les realizaba un cuestionario cualitativo para definir las variables respuestas de comodidad y presión. Los resultados obtenidos se observan en la tabulación y los diseños de experimentos (ver anexo 18), los cuales muestran que no hay diferencia significativa para aceptar la hipótesis nula que indica que las diferencias de medias son iguales para cada sujeto tanto en comodidad como en presión. Es decir, la prueba demuestra que el cambio de espumas sí influye en la presión y la comodidad de cada sujeto, obteniendo como resultado que la espuma cuatro es la que mejor se adapta a los requisitos de los sujetos, bajo un nivel de significancia del 5%. Además, la espuma uno fue la segunda mejor opción seleccionada por los hombres y la espuma dos la segunda mejor opción seleccionada por las mujeres.

5.5. Restricciones:

Las restricciones de este diseño que limitaron la creación del prototipo son:

- El área de estudio se limitó a la medición de máximo tres variables a mejorar en el sillín.
- Desarrollar un diseño que no afecte el medio ambiente por medio de la herramienta Product Lifecycle Management (PLM). (ver anexo 30)
- El rango del precio al público del sillín estará entre \$50.000 a \$60.000 COP
- La longitud del sillín será de 24 cm como mínimo y 27.5 cm como máximo (UCI, Cycling Regulations, 2018).
- Sillín para hombres (se utilizaron las medidas antropométricas necesarias para tal fin)

Se midieron dos variables en el sillín propuesto, la comodidad y la presión a cada sujeto de prueba, debido a que se determina que para cumplir el alcance del proyecto y tener datos significativos para la investigación solo se requerían estas dos variables seleccionadas. Para lograr cumplir con la segunda restricción, se desarrolló la metodología PLM la cual se encarga de abarcar no solo el ciclo de vida de un producto, sino integrar elementos como lo son: la producción, la gestión de personal y los elementos ambientales dentro del ciclo de vida, aumentando el conocimiento y detalle del producto y a su vez como va a ser su desarrollo en el mercado, teniendo una visión clara referente a cuando se deben tomar decisiones definitivas del producto, como lo es una inversión en tecnología o el aumento en publicidad.

En cuanto a la tercera restricción, se estableció un precio al público entre los \$50.000 y \$60.000 COP, con referente a la encuesta realizada al comienzo del desarrollo del trabajo de grado (ver anexo 2). Asimismo, gracias al análisis de costos se puede evidenciar que la restricción tres se cumple debido a que las tres opciones de sillín final están por debajo del rango del precio propuesto. Al seleccionar la espuma 1, que

es la más económica para el desarrollo del sillín final, se obtiene un margen del 32% para utilizarlo a favor de la compañía. Por otra parte, la restricción cuatro se modifica teniendo en cuenta que bajo el estudio antropométrico realizado por los autores (ver anexo 8) se demuestra que la población objetivo se encuentra debajo de las medidas propuestas por la UCI (Union Cycliste Internationale), por tal motivo el ancho del sillín queda en 18 cm y el largo en 20 cm. Por último, para la quinta restricción se tiene en cuenta el estudio realizado en Bogotá sobre el comportamiento de los bici-usuarios (Universidad libre, 2019) el cual indica que el 70% de los usuarios de bicicleta en Bogotá son hombres por tal motivo, y para abarcar un mayor mercado, el diseño del sillín se realiza bajo este criterio.

5.6. Cumplimiento del estándar:

A través del análisis de costos se demuestra que el sillín seleccionado está por encima de los estándares en el mercado actual debido a que se puede conseguir un sillín de calidad lo suficientemente cómodo para las circunstancias que presenta el ciclismo urbano a un precio asequible. Este sillín está calificado a través de las pruebas realizadas con referente a la comodidad con una puntuación de 7,8 para los hombres y 6,9 para las mujeres, en un rango de 1 a 10. Así mismo, se comprueba que el 65% de las personas utilizan como medio de transporte la bicicleta para distancias de menos de cinco kilómetros (Universidad libre, 2019) es decir un promedio de 20 min, viajando a una velocidad de 14 km/h para un usuario que se encuentre parcialmente entrenado (Serra, 2017). Resaltando, las pruebas físicas realizadas tuvieron como objetivo lo mencionado anteriormente para soportar estas calificaciones. En cuanto al precio final del sillín se mantiene un margen bruto del 32% sin mejoras en costos de producción, lo cual indica que está por encima de los estándares mencionados tanto para el precio propuesto como para la fabricación del producto en sí.

No obstante, las medidas antropométricas tomadas a los 45 hombres (ver anexo 8) demuestran que los estándares seleccionados para realizar el diseño del sillín están soportados por la información real de ciudadanos bogotanos que utilizan la bicicleta como medio de transporte para recorridos cortos. Al conocer la distancia de sus tuberosidades isquiáticas se emplea como elemento esencial para desarrollar el sillín final y tiene influencia en los diferentes prototipos realizados en la investigación.

6. Resultados

6.1. Diseñar tres prototipos de sillín con base en las oportunidades de mejora identificadas.

Para diseñar los prototipos, se realizó el estudio de mercados a través de una encuesta a 110 personas, de las cuales fueron 80% hombres y 20% mujeres. Se registró que el 62,2 % sufren de dolor después de realizar un recorrido en bicicleta y el 70,3% se ubica en los glúteos, 39,2% en la espalda, 31,1% en las rodillas, indicando que el área de mayor influencia para determinar el dolor causado por el uso de la bicicleta está relacionada con el sillín y las medidas que este mismo tiene con respecto a la bicicleta. Se corrobora lo anterior a través de la selección del elemento de la bicicleta que más problemas trae para la salud, cuyo porcentaje fue de 83,6% para el elemento sillín, justificando el planteamiento de este trabajo de grado. Por otro lado, se preguntó cuáles aspectos eran más importantes para seleccionar un sillín de bicicleta, los resultados arrojaron que el 48,7% escogió la comodidad por encima de elementos como: aspecto físico, costo y desempeño; además, el 42,9% de las personas optó por el modelo de sillín que traía la bicicleta que compró. Dando como resultado un desconocimiento de cuál sillín es el ideal dependiendo de la talla que maneja y si es diseñado para hombre o para mujer.

Por otra parte, por medio del estudio antropométrico se obtuvo un estimativo para la distancia media entre las tuberosidades isquiáticas de la población de hombres en la ciudad de Bogotá de 12,96 cm. De tal forma, con un nivel de confianza del 95%, la distancia promedio de las tuberosidades isquiáticas de los hombres en la ciudad de Bogotá se encuentra entre 12,72 y 13,10 cm. Estas medidas fueron fundamentales para la elaboración de los prototipos, ya que las distancias que tiene el diseño final para las tuberosidades isquiáticas se encuentran entre 11 y 14 cm, determinando el ancho del sillín, por estos motivos no aplica la restricción de la UCI por medidas específicas de la población bogotana.

En la ilustración 11 se pueden ver los resultados de los prototipos diseñados primero en el software SolidWorks para realizar su forma en CAD, para luego proseguir a utilizar la impresora 3D del CTAI. Los resultados son óptimos, se observa que se pierde un poco la resolución en la impresión debido a que se trabaja con capas. Sin embargo, la impresión sale de muy buena calidad. Además, se puede observar la diferencia de trabajar en superficies como en el prototipo 2 (verde) donde las líneas son más limpias y no se ve el trabajo de la impresora por capas, mientras que los otros prototipos (rojos) se alcanzan a ver y sentir las capas de material. La diferencia no es significativa debido a que este prototipo no va a ser el producto final, pero se aclara como parte de los resultados, una influencia importante en el uso del desarrollo del diseño por computador.

Ilustración 11. Prototipos físicos.



Fuente: Autores

6.2. Seleccionar un prototipo de sillín a través de criterios de ingeniería y realizar su manufactura.

Para la realización de la matriz de selección se utilizan criterios específicos mencionados anteriormente en el apartado 4.2. Los resultados obtenidos demuestran que el prototipo 3 es el indicado para continuar con su manufactura, dado que tuvo una puntuación de 0,825 en comparación con el prototipo 2 con una puntuación de 0,35 y el prototipo 1 con una puntuación de 0,325 (Ilustración 12).

Ilustración 12. Resultados Matriz de Selección Ponderada.

Criterio	Valores normalizados			Valores con unidades porcentuales		
	Prototipo 1	Prototipo 2	Prototipo 3	Prototipo 1	Prototipo 2	Prototipo 3
Diseño para reducción de presión: indicador estimado comodidad	0	1	0,5	0	0,3	0,15
Costo manufactura/ unidad	0,5	0	1	0,125	0	0,25
Innovación - nivel de novedad	0,5	0	1	0,075	0	0,15
Eficiencia Diseño	0,5	0	1	0,075	0	0,15
Viabilidad de modificación del diseño	0,5	0	1	0,05	0	0,1
Aceptación estética	0	1	0,5	0	0,05	0,025
TOTALES	2	2	5	0,325	0,35	0,825

Fuente: Construcción de los autores

La matriz demostró que para el criterio de reducción de presiones el prototipo 1 y 3 tienen superficies de contacto muy similares mientras que el prototipo 2 presenta menor área de contacto, lo cual indica menos presión para el usuario. En cuanto al costo de manufactura el prototipo ideal es el 3 con un costo de \$13.751 COP diferenciando a los demás en un 70 % para el prototipo 1 y un 82,5% para el prototipo 2, es decir, que su costo es muy escaso a comparación de los demás por su peso de fabricación. El criterio de innovación se determina a partir de una encuesta a 30 personas las cuales calificaron como mejor prototipo el 3 con un porcentaje del 70% en comparación a los demás. El criterio de eficiencia del diseño está relacionado con un factor de seguridad el cual se divide por el peso de cada prototipo dando como resultado ideal el prototipo 1 con un indicador de 0,07%, debido a su gran tamaño corrobora una mayor seguridad al fracturarse. El criterio de viabilidad de modificación del diseño se elige a partir de los experimentadores obteniendo al prototipo 3 como el que mayor se adapta a cambio repentinos. El último criterio es el de aceptación estética se corrobora con una encuesta a 30 personas indicando que el prototipo más llamativo físicamente es el prototipo 2 con un 70% sobre los demás.

6.3. Validar funcionamiento del sillón seleccionado por medio de herramientas de ingeniería.

Los resultados encontrados en el diseño de experimentos muestran que la espuma 4 presenta mayores niveles de comodidad y menores niveles de presión sin importar el género del sujeto sometido a las pruebas. En términos generales, la prueba fue realizada a 11 sujetos entre los cuales seis eran hombres y cinco mujeres. Con respecto a los hombres, con un nivel de confianza del 95%, la distancia entre las tuberidades isquiáticas se encuentra entre 12,03 y 13,30 cm, con un promedio muestral de 12,67 cm y una desviación estándar muestral de 0,61 cm, el peso promedio se encuentra entre 68,38 y 74,94 kg, con un promedio muestral de 71,67 kg y una desviación estándar muestral de 3,13 kg, y la altura se encuentra entre 1,71 y 1,78 m, con un promedio muestral de 1,745 m y una desviación estándar muestral de 0,03 m. Mientras que en las mujeres, con un nivel de confianza del 95%, la distancia entre las tuberidades isquiáticas se encuentra entre 13,09 y 14,70 cm, con un promedio muestral de 13,9 cm y una desviación estándar muestral de 0,65 cm, el peso se encuentra entre 50,55 y 59,04 kg, con un promedio muestral de 54,8 kg y una desviación estándar muestral de 3,42 kg, y la altura se encuentra entre 1,60 y 1,66 m, con un promedio muestral de 1,632 m y una desviación estándar muestral de 0,02 m.

En cuanto al diseño de experimentos, para la variable comodidad medida en los hombres se plantea la hipótesis nula: la diferencia entre las medias de comodidad es igual para todos los hombres en todas las espumas y la hipótesis alterna: al menos una de las medias de comodidad es diferente. De esta forma, se realizó el análisis de varianza ANOVA con 24 datos (Ilustración 13).

Ilustración 13. ANOVA Variable Comodidad Hombres.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	23,0625	3	7,6875	8,967193196	0,000575394	3,098391212
Dentro de los grupos	17,14583333	20	0,857291667			
Total	40,20833333	23				

Fuente: Construcción de los autores

Con respecto al valor de Fisher de prueba de 8,967 y el valor crítico de Fisher de 3,098, se rechaza la hipótesis nula. En conclusión, con una significancia del 5%, al menos una de las medias de los grupos de la variable comodidad, en los usuarios hombres, es diferente.

En cuanto a la variable presión medida en los hombres se plantea la hipótesis nula: la diferencia entre las medias de presión es igual para todos los hombres en todas las espumas y la hipótesis alterna: al menos una de las medias de presión es diferente. De esta forma, se realizó el análisis de varianza ANOVA con un total de 24 datos (Ilustración 14).

Ilustración 14. ANOVA Variable Presión Hombres.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	27,84375	3	9,28125	3,366074802	0,038988834	3,098391212
Dentro de los grupos	55,14583333	20	2,757291667			
Total	82,98958333	23				

Fuente: Construcción de los autores

Con respecto al valor de Fisher de prueba de 3,366 y el valor crítico de Fisher de 3,098, se rechaza la hipótesis nula. En conclusión, con una significancia del 5%, al menos una de las medias de los grupos de la variable presión, en los usuarios hombres, es diferente.

En cuanto la variable comodidad medida en las mujeres se plantea la hipótesis nula: la diferencia entre las medias de comodidad es igual para todas las mujeres en todas las espumas y la hipótesis alterna: al

menos una de las medias de comodidad es diferente. De esta forma, se realizó el análisis de varianza ANOVA con un total de 20 datos (Ilustración 15).

Ilustración 15. ANOVA Variable Comodidad Mujeres.

ANÁLISIS DE VARIANZA							
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
Entre grupos	32,859375	3	10,953125	4,487836108	0,018136115	3,238871517	
Dentro de los grupos	39,05	16	2,440625				
Total	71,909375	19					

Fuente: Construcción de los autores

Con respecto al valor de Fisher de prueba de 4,487 y el valor crítico de Fisher de 3,238, se rechaza la hipótesis nula. En conclusión, con una significancia del 5%, al menos una de las medias de los grupos de la variable comodidad, en los usuarios mujeres, es diferente.

En cuanto a la variable presión medida en las mujeres se plantea la hipótesis nula: la diferencia entre las medias de presión es igual para todas las mujeres en todas las espumas y la hipótesis alterna: al menos una de las medias de presión es diferente. De esta forma, se realizó el análisis de varianza ANOVA con un total de 20 datos (Ilustración 16).

Ilustración 16. ANOVA Variable Presión Mujeres.

ANÁLISIS DE VARIANZA							
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
Entre grupos	35,534375	3	11,84479167	2,088337925	0,142066058	3,238871517	
Dentro de los grupos	90,75	16	5,671875				
Total	126,284375	19					

Fuente: Construcción de los autores

Con respecto al valor de Fisher de prueba de 2,088 y el valor crítico de Fisher de 3,238, se decide no rechazar la hipótesis nula. En conclusión, con una significancia del 5%, las medias de la variable presión en los usuarios mujeres entre las espumas son iguales.

En cuanto la variable comodidad medida en todos los sujetos sin importar el género se plantea la hipótesis nula: la diferencia entre las medias de comodidad es igual para todos los sujetos en todas las espumas y la hipótesis alterna: al menos una de las medias de comodidad es diferente. De esta forma, se realizó el análisis de varianza ANOVA con un total de 44 datos (Ilustración 17).

Ilustración 17. ANOVA Variable Comodidad.

ANÁLISIS DE VARIANZA							
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
Entre grupos	54,25426136	3	18,08475379	9,231196829	9,14942E-05	2,838745398	
Dentro de los grupos	78,36363636	40	1,959090909				
Total	132,6178977	43					

Fuente: Construcción de los autores

Con respecto al valor de Fisher de prueba de 9,231 y el valor crítico de Fisher de 2,838, se rechaza la hipótesis nula. En conclusión, con una significancia del 5%, al menos una de las medias de los grupos de la variable comodidad es diferente.

En cuanto a la variable presión medida en todos los sujetos sin importar el género se plantea la hipótesis nula: la diferencia entre las medias de presión es igual para todos los sujetos en todas las espumas y la hipótesis alterna: al menos una de las medias de presión es diferente. De esta forma, se realizó el análisis de varianza ANOVA con un total de 44 datos (Ilustración 18).

Ilustración 18. ANOVA Variable Presión.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	60,83380682	3	20,27793561	4,84676671	0,005713145	2,838745398
Dentro de los grupos	167,3522727	40	4,183806818			
Total	228,1860795	43				

Fuente: Construcción de los autores

Con respecto al valor de Fisher de prueba de 4,846 y el valor crítico de Fisher de 2,838, se decide no rechaza la hipótesis nula. En conclusión, con una significancia del 5%, al menos una de las medias de los grupos de la variable presión es diferente.

Adicionalmente, se realiza la prueba de Tukey para determinar cuál de los grupos (espumas) es el que evidencia una media significativamente diferente a la de los otros grupos. Primero se obtienen los valores del multiplicador, el error cuadrático medio y el número de muestras por grupo. El multiplicador se halla por medio de la tabla de valores de Tukey utilizando un valor de Alpha del 5%, cuyo numerador se establece con el número de grupos de estudio, en este caso cuatro espumas y cuyo denominador se establece como los grados de libertad del error cuadrático medio. Con respecto al error cuadrático medio y número de muestras por grupo son valores que se encuentran en la tabla ANOVA. Luego se procede a hallar la diferencia de las medias entre cada uno de los grupos. Por último, se calcula el valor de la diferencia honestamente significativa (HSD, por sus siglas en inglés), o el límite, con el cual se permite comparar la diferencia de las medias entre los grupos. Este límite se halla con el producto del multiplicador por la raíz del error cuadrático medio sobre el número de muestras por grupo. De esta manera, se comparan los valores de las diferencias de las medias frente al HSD y si alguna de ellas es mayor al valor del límite se puede concluir que existe una diferencia significativa entre los grupos comparados.

Para el diseño de experimentos para la variable comodidad, de acuerdo con el test de comparaciones múltiples de Tukey, tras el rechazo de la hipótesis nula en el análisis de varianza, la espuma 4 presenta una diferencia significativa con un valor de Alpha del 5%, evidenciando un promedio mayor de la variable comodidad con respecto a las tres espumas restantes (Ilustración 19).

Ilustración 19. Prueba Tukey Variable Comodidad.

PRUEBA TUKEY				
HSD	1,599448136		Numerador (v1)	Denominador (v2)
Multiplicador	3,79		4 grupos	40 gl
MSE	1,959090909		Alpha	5%
n	11			
	1	2	3	4
1		0,159090909	0,931818182	2,068181818
2			0,772727273	2,227272727
3				3
4				

Fuente: Construcción de los autores

De igual manera, para el diseño de experimentos de la variable comodidad, de acuerdo con el test de comparaciones múltiples de Tukey, tras el rechazo de la hipótesis nula en el análisis de varianza, la espuma 4 presenta una diferencia significativa con un valor de Alpha del 5%, evidenciando un promedio menor de la variable presión con respecto a las tres espumas restantes (Ilustración 20).

Ilustración 20. Prueba Tukey Variable Presión.

PRUEBA TUKEY				
HSD	2,337376531		Numerador (v1)	Denominador (v2)
Multiplicador	3,79		4 grupos	40 gl
MSE	4,183806818			
n	11		Alpha	5%
	1	2	3	4
1		0,295454545	0,113636364	2,840909091
2			0,181818182	2,545454545
3				2,727272727
4				

Fuente: Construcción de los autores

Por último, se realizó una correlación de las variables presión y comodidad para observar su posible relación. Se observó que para los hombres existe una correlación negativa débil para las espumas 1, 2 y 4, es decir que cuando la comodidad aumenta la presión disminuye. Mientras que para la espuma 3 se obtuvo una correlación positiva débil la cual indica que a mayor comodidad mayor presión. Por otro lado, para las mujeres las cuatro espumas presentan una correlación negativa fuerte, la cual indica que la diferencia en percepción es mayor para las mujeres que para los hombres en cuanto a sentir mayor comodidad cuanto hay menor presión.

6.4. Diseñar una línea de producción que contenga los procesos necesarios para la elaboración del sillín propuesto.

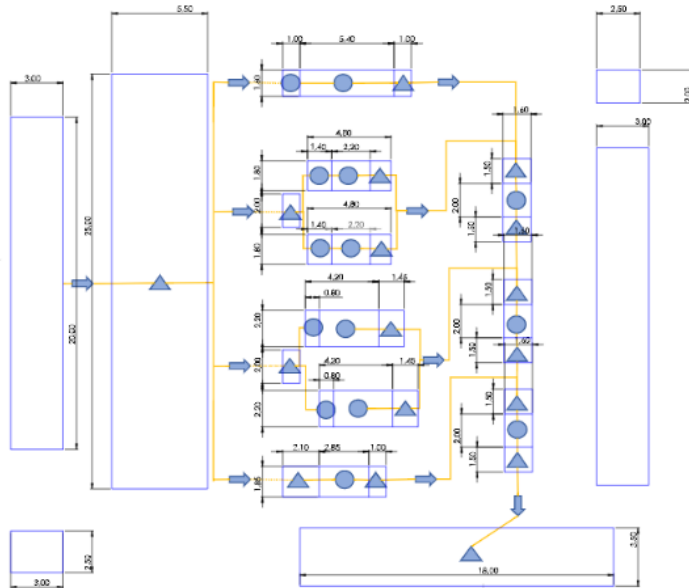
El diseño final de la línea de producción para la manufactura del sillín es el resultado del análisis de los procesos necesarios para manufacturar un sillín para bicicleta urbana. Teniendo en cuenta las principales partes que componen el sillín final (Yates, 2001), se plantea la maquinaria necesaria para producir cada una de las partes que componen el sillín desde su materia prima. De esta manera, como se define en el diagrama de flujo de bloques, la fase I está compuesta por las estaciones donde se llevan a cabo los procesos necesarios para la manufactura de la base, los rieles, el acolchado y la cubierta (ver anexo 21). Posteriormente, para obtener el sillín se deben unir estas partes formando una unión fija permanente (Yates, 2001). Esta unión compone la fase II de la línea de producción (ver anexo 21), la cual sucede en 3 etapas secuenciales como se describe en detalle en el diagrama de flujo de operaciones (ver anexo 22). Finalmente, la fase III del diagrama de bloques contiene la sección de empaque en la que el sillín es unido a su cartón de presentación (ver anexo 21).

Con los procesos que componen la línea de producción definidos y siguiendo las recomendaciones de una ingeniera experta (ver anexo 31), se toma la decisión de mantener un funcionamiento de la línea de producción continua 24/7, buscando generar un volumen de producción máximo proporcional a la capacidad de producción de la inyectora utilizada. Esto para lograr producir a un ritmo rentable de acuerdo con la inversión en la maquinaria y sus características. Como consecuencia de ello a las estaciones de la fase I (ver anexo 21) “Rieles” y “Cojín”, se les asignan dos equipos para cada una de sus operaciones. Igualmente, se asigna un operario exclusivamente al abastecimiento de la materia prima en las zonas designadas para ello en la fase I y un operario a cada una de las estaciones de trabajo de las fases II y III (ver anexo 21), sumando un total de 30 operarios divididos en 3 turnos de 8 h. Con esta configuración se alcanza un ritmo de producción en un rango de 60-65 unidades de sillín para bicicleta urbana por un turno de 8 h, logrando una producción de 67.000 unidades anuales aproximadamente, cumpliendo con el 35% del mercado meta.

Según la metodología SLP se seleccionó un Layout tipo Flow Shop (ver anexo 25) donde se logra una mayor fluidez en el recorrido de la materia en proceso a través de la línea de producción hasta el final de

esta. En la ilustración 21 se representa la secuencia descrita por la línea de producción hasta el despacho del sillín para bicicleta urbana. En video se encuentra la recreación virtual de la línea de producción por medio de la herramienta de simulación FlexSim (ver anexo 32).

Ilustración 21. Diagrama de flujo de Recorrido.



Fuente: Construcción de los autores

6.5. Medición del Impacto

A partir del diseño de experimentos se demuestra que las variables de respuesta tanto presión como comodidad son influenciadas por los tipos de espuma, tanto para hombres como para mujeres. Así mismo, la espuma que más efecto tuvo en la prueba fue la espuma 4 (Látex, Memory Foam, PET 25, Gel) con una diferencia significativa con un valor de alfa del 5 %, rechazando la hipótesis nula en todos los casos, a través de la herramienta de análisis de datos de Excel corroborada por la prueba de Tukey (ver anexo 18). Consiguiente a esto, el experimento demuestra que la espuma 1 es la segunda mejor opción para los hombres y la espuma 2 es la segunda mejor espuma para las mujeres con una diferencia de 20,85% para la espuma 1 con referente a la primera opción y una diferencia de 34,53% para la espuma 2 con referente a la primera opción.

A través de un estudio realizado por la universidad libre acerca del uso de la bicicleta en Bogotá (Universidad libre, 2019) concluyen que existen 835.000 usuarios que se movilizan en bicicleta en la ciudad de Bogotá, a partir de la encuesta realizada en el estudio de mercados se observó que las personas que cambian de sillines en menos de 1 año abarcan un 22,7% del total de encuestados, es decir, 189.545 usuarios en la ciudad de Bogotá. Debido a la competencia los autores proponen un 35% de este mercado para el sillín propuesto, se planea cumplir con la demanda de 66.341 sillines en una proyección de 5 años.

Teniendo en cuenta que la espuma 4 fue la primera opción para los usuarios tanto hombres como mujeres, se hizo una proyección financiera a 5 años donde se propuso un precio de \$49.000 COP con lo cual se obtuvo una rentabilidad del 17,98% para un costo de oportunidad del 15% y con un periodo de repago de 4,82 años. Así mismo, se hizo el mismo análisis para la espuma 1 (30 de alta densidad) y la espuma 2 (Memory Foam, PET 25), correspondientes a la segunda opción para los hombres y mujeres respectivamente.

Para la espuma 1 se obtuvo una rentabilidad del 19,45% a un precio de \$37.000 COP, con un periodo de repago de 4,73 años. Mientras que la espuma 2 obtuvo una rentabilidad del 18,68%, a un precio de \$41.000 COP, con un periodo de repago de 4,77 años. Se concluye que todas las propuestas son factibles y se encuentran por debajo del rango de precios propuesto por los encuestados el cual fue entre \$50.000 y \$60.000 COP, teniendo, además, una amplia flexibilidad para establecer el precio final.

Para poder tener claridad de los posibles escenarios financieros que pueda tener el proyecto, se evaluó una producción mensual de 1.043 unidades para el primer año, la cual equivale al 6,6% del mercado objetivo. Es decir, una producción anual de 22.746 unidades al finalizar los cinco años de proyección, con un aproximado de 1.896 unidades mensuales. Para obtener factibilidad, la primera espuma tiene que aumentar su precio de venta en un 50,6%, la segunda espuma un aumento del 48,1% y la espuma 4 un aumento del 43,67%. En unidades monetarias cambiaría el precio de la primera espuma a \$75.000 COP, la segunda espuma a \$79.000 COP y la espuma 4 a \$87.000 COP. Todas las espumas se encuentran por encima del rango propuesto en esta investigación el cual va desde \$50.000 a \$60.000 COP, es decir que se requiere una inversión en mercadeo y publicidad importante para que este proyecto sea factible en un caso de baja producción.

7. Conclusiones y recomendaciones

Como se ha mostrado los usuarios presentan incomodidad y dolencia cuando hacen uso del sillín de sus bicicletas, con un porcentaje del 83,6% en comparación con los otros elementos de la bicicleta. Como resultado del estudio de mercados realizado, se comprueba que el sillín es parte fundamental en la comodidad de los bici-usuarios. Así mismo, la distancia ideal de las tuberías isquiáticas obtenidas a partir del estudio antropométrico arroja que están entre los 12,72 y 13,10 cm, con un nivel de confianza del 95%. Con base en lo anterior, se realizó el diseño de tres prototipos de sillín para bicicleta urbana para hombres en la ciudad de Bogotá. Adicionalmente, como resultado de la matriz de selección se opta por el prototipo 3 con una diferencia porcentual del 60,1% con el prototipo 1 y 57,57% con el prototipo 2; sin embargo, se resalta el resultado estético del prototipo 2 y un factor de seguridad alto para el prototipo 1. Finalmente, se manufacturó un prototipo de sillín para bicicleta urbana para hombres en la ciudad de Bogotá, teniendo en cuenta los estudios realizados y los resultados obtenidos.

A través de las pruebas físicas desarrolladas por los autores, se logró evidenciar que el acolchado del sillín para bicicleta urbana es un factor relevante para el alivio de la presión presente sobre las tuberías isquiáticas y para el aumento de la comodidad del bici-usuario. La espuma 4 presentó un nivel de comodidad promedio de 7,41, en una escala de 1 a 10, siendo 1 muy incómodo y 10 muy cómodo, y un nivel de presión promedio de 2,84, en una escala de 1 a 10, siendo 1 bajo y 10 alto nivel de presión, estando por encima del promedio total con respecto a las otras espumas. En conclusión, el uso de una espuma adecuada y cómoda puede generar gran conformidad en los clientes que adquieran el producto.

Se concluye que la espuma 1 es la mejor opción para la selección final del sillín, debido a que el análisis financiero propone que a un precio de \$37.000 COP el proyecto es factible, con indicadores de rentabilidad, VPN y recuperación de la inversión positivos. Así mismo, se tiene un porcentaje de flexibilidad del precio del 32% con respecto al precio establecido en el estudio de mercados, es decir un margen neto lo suficientemente amplio para encontrar un equilibrio entre un sillín económico al público y ganancias netas a la compañía. Por otro lado, se tiene en cuenta que a medida que crece la compañía se propone una reducción de costos de producción del 10%, mejorando los ingresos del proyecto (Dinero, 2017).

Finalmente, haciendo uso de la herramienta de simulación del software FlexSim, se diseñó una línea de manufactura, logrando proyectar el flujo de producción que tendría el sillín propuesto. De esta manera, con la configuración del número de máquinas, la cantidad de trabajadores y el número de turnos establecidos, se logró establecer una capacidad de entre 60-65 unidades de sillín en un turno de 8 horas. Como resultado de la propuesta, se logró cumplir con el 35% del mercado meta propuesto.

Se recomienda a partir del análisis realizado por el PLM que llegado a un punto de crecimiento del proyecto y observando el comportamiento del mercado, se implemente una innovación en tecnología al sillín. Principalmente se propone utilizar un sillín con un forro adaptable a diferentes espumas. La idea consiste en que el producto se venda empacado con una base, su forro y cuatro espumas, las cuales el usuario puede cambiar dependiendo de la distancia que va a ser recorrida y del tipo de recorrido, bien sea de recreación o traslados de la vivienda al lugar de trabajo, dándole mayor comodidad al usuario al conocer la modalidad en la que se va a transportar. Esta implementación se recomienda realizarla a partir del momento en que el software recomiende que es el indicado, para tener una aceptación del producto deseada para la compañía que lo desarrolle.

Tomando en cuenta la característica cualitativa de la escala análoga visual implementada para la medición de las variables comodidad y presión en las pruebas físicas. Se recomienda llevar a cabo una mejor medición de la variable presión, utilizando un equipo electrónico que permita obtener resultados cuantitativos exactos. Inicialmente se propone realizar dicho proceso haciendo uso de un tapete de detección de presión flexible, realizando un análisis de la distribución de la presión en las diferentes zonas de contacto entre el sujeto y el sillín, logrando así, a través de una representación gráfica por medio de mapas de presión, determinar los puntos de mayor presión. Esto permitirá, en futuros diseños, medir de manera más eficiente la presión presente sobre las tuberosidades isquiáticas.

Por otro lado, se recomienda ampliar las medidas tomadas en el estudio antropométrico para tener más información disponible para su posterior análisis y corroborar que las medidas desarrolladas en este trabajo de grado son las más acertadas para el desarrollo de un sillín para bicicleta urbana a partir de las distancias entre las tuberosidades isquiáticas de los hombres que utilizan la bicicleta como medio de transporte en la ciudad de Bogotá. Además, se recomienda realizar un estudio antropométrico de la población colombiana a profundidad, para obtener resultados muchos más significantes a la hora de realizar estudios que requieran de dicha información.

Por último, se recomienda plantear un nuevo alcance para el trabajo de grado propuesto “Diseño y manufactura de un sillín para bicicleta urbana en la ciudad de Bogotá”, los estudios de mercado y los estudios realizados a lo largo de este documento permitieron el diseño y manufactura de un sillín para bici-usuarios hombres en la ciudad de Bogotá. Se propone así, realizar los estudios y análisis respectivos, utilizando otras variables distintas a comodidad y presión, para el diseño y manufactura de un sillín para bici-usuarios mujeres; asimismo, el planteamiento y diseño de sillines de diferentes tallajes que permitan abarcar un mayor mercado que el alcanzado hasta el momento.

Glosario

Arco púbico: Es el arco que se forma en la conexión de los dos huesos púbicos y contiene un ángulo específico dependiendo del género de la persona (Corea Blandino, 2005).

Canal de Alcock: Estructura anatómica en la pelvis por la cual circulan la arteria pudenda interna, la vena pudenda interna y el nervio pudendo (Corea Blandino, 2005).

Eje Pedalier: Elemento que ejerce el primer movimiento de los pedales al aplicarle una fuerza. Forma parte de la transmisión de la bicicleta y soporta toda la potencia que ejercemos con el pedaleo ("Sheldon Brown's Bicycle Glossary Bo - Bz", 2019).

Nuez del sillín: Es la unión que sujeta y une el sillín al poste del sillín (Bugle, Pesa, & Mcgibbney, 2006).

Perineo: Es la parte del cuerpo donde se encuentran ubicados el ano y los órganos genitales externos. Está formado por músculos y ligamentos (Corea Blandino, 2005).

Poste del sillín: Es el tubo metálico que se une al sillín de la bicicleta por medio de la nuez del sillín (Bugle et al., 2006).

Tuberosidad Isquiática: abultamiento óseo del isquion, la parte inferior del hueso coxal. La tuberosidad del isquion se localiza en la porción superior y posterior de la rama de isquion y, junto con la punta del cóccix, forma la apertura inferior de la pelvis. (Goossens, Teeuw, & Snijders, 2005).

Tabla de Anexos o Apéndices

Cada uno de los anexos se encuentra adjunto a este documento.

Referencias

Barker, J. A., & Birch, J. (1983). U.S. Patent No. 4,387,925. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Bressel, E., & Larson, B. J. (2003). Bicycle seat designs and their effect on pelvic angle, trunk angle, and comfort. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(2), 327-332.

Bugle, C. M., Pesa, R. L., & Mcgibbney, J. R. (2006). U.S. Patent No. 7,125,072. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Consejo de Bogotá, D. (2015). Alcaldía Bogotá. Recuperado el 1 de septiembre de 2018, de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T_NORMA_ARCHIVO&p_NORMFIL_ID=9326&f_NORMFIL_FILE=X&inputfileext=NORMFIL_FILENAME

Consultor contable. (n.d.). Depreciación NIIF impuestos. Retrieved from <https://www.consultorcontable.com/depreciación-niif-impuestos/>

Corea Blandino, I. R. (2005). Bloqueo paracervical y pudendo en pacientes sometidas a cono-biopsias en el HEODRA durante el (Doctoral dissertation).

Dieter, G. E., & Schmidt, L. C. (2009). *Engineering Design*. Mc Graw Hill.

Dinero. (2017, May 02). Retrieved from <https://www.dinero.com/empresas/articulo/empresas-que-reducen-costos-pueden-crecer-mas/249542>.

El Espectador. (2019, January 08). Inflación en Colombia cerró en 3,18 % durante 2018. Retrieved from <https://www.elespectador.com/economia/inflacion-en-colombia-cerro-en-318-durante-2018-articulo-832542>

El Nuevo Siglo. (06 de febrero de 2018). Bogotá, dentro del top 10 de las ciudades con más caos vehicular. *El Nuevo Siglo*, pág. 1. Recuperado el 1 de septiembre de 2018, de <https://www.elnuevosiglo.com.co/articulos/02-2018-bogota-dentro-del-top-10-de-las-ciudades-con-mas-caos-vehicular>

El Tiempo. (2019). ¿Está usted dentro del rango de estatura promedio de los colombianos?. Retrieved from <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13128617>

Estudio de la Universidad Libre revela completa radiografía del uso de la bicicleta en Bogotá. (2019). Retrieved from <http://www.unilibre.edu.co/bogota/ul/noticias/noticias-universitarias/3651-estudio-de-la-universidad-libre-revela-completa-radiografia-del-uso-de-la-bicicleta-en-bogota>

Gemery, J. M., Nangia, A. K., Mamourian, A. C., & Reid, S. K. (2007). Digital three-dimensional modelling of the male pelvis and bicycle seats: Impact of rider position and seat design on potential penile hypoxia and erectile dysfunction. *BJU International*, 99(1), 135-140.

Gerencia. (n.d.). Costo de oportunidad: El parámetro que necesitas calcular para tomar todas las decisiones en tu empresa. Retrieved from <https://www.gestion.org/que-es-el-costo-de-oportunidad/>

Goossens, R. H. M., Teeuw, R., & Snijders, C. J. (2005). Sensitivity for pressure difference on the ischial tuberosity. *Ergonomics*, 48(7), 895-902.

Harrison, C. R. (1998). U.S. Patent No. 5,720,518. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Huang, Y. J. (1996). U.S. Patent No. 5,558,395. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Kitaguchi, K. (1973). U.S. Patent No. 3,758,154. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Kronisch, R. L. (1998). How to fit a mountain bike. *The Physician and Sportsmedicine*, 26(3), 71-72.

Ladson III, N. N. (2004). U.S. Patent No. 6,783,176. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Lamb, C. W., Hair, J. F., Jr., & McDaniel, C. (2011). *Marketing* (11th ed.), 34-58.

Larsen, A. S., Larsen, F. G., Sørensen, F. F., Hedegaard, M., Støttrup, N., Hansen, E. A., & Madeleine, P. (2018). The effect of saddle nose width and cutout on saddle pressure distribution and perceived discomfort in women during ergometer cycling. *Applied Ergonomics*, 70, 175-181.

Lowe, B. D., Schrader, S. M., & Breitenstein, M. J. (2004). Effect of bicycle saddle designs on the pressure to the perineum of the bicyclist. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(6), 1055-1062.

Martínez, A., & Osorio, A. C. (2019, April 23). Salario mínimo 2019: Así quedó el aumento en Colombia. Retrieved from <https://www.elpais.com.co/economia/salario-minimo-2019-asi-queda-el-aumento-en-colombia.html>

Maynard, H. B., & Vallhonrat Bou, J. O. S. E. P. (1987). *Manual de ingeniería y organización industrial*. Reverte.

Mündermann, A., Nigg, B. M., Stefanyshyn, D. J., & Humble, R. N. (2002). Development of a reliable method to assess footwear comfort during running. *Gait & Posture*, 16(1), 38-45.

Noriega, J. E. R., gallego, C. A. D., López, L. Á., & Bonilla, A. V. (2013). Perfil del sector manufacturero colombiano. *Magazín Empresarial*, 9(19), 49-61.

Oberpenning, F., Roth, S., Leusmann, D. B., Van Ahlen, H., & Hertle, L. (1994). The Alcock syndrome: temporary penile insensitivity due to compression of the pudendal nerve within the Alcock canal. *The Journal of urology*, 151(2), 423-425.

Peters, R. J. (1998). U.S. Patent No. 5,709,430. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Potter, J. J., Sauer, J. L., Weisshaar, C. L., Thelen, D. G., & Ploeg, H. L. (2008). Gender differences in bicycle saddle pressure distribution during seated cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(6), 1126-1134. doi:10.1249/MSS.0b013e3181666eea [doi]

Salaberria, J. B. (2004). U.S. Patent Application No. 10/311,081.

Semana. (18 de enero de 2016). Bogotá es la ciudad con más kilómetros de ciclovías en América Latina. *Semana*, pág. 1. Recuperado el 1 de septiembre de 2018, de <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/bogota-es-la-ciudad-con-mas-kilometros-de-ciclovias-en-america-latina/34445>

Sequenzia, G., Fatuzzo, G., Oliveri, S., & Barbagallo, R. (2016). Interactive re-design of a novel variable geometry bicycle saddle to prevent neurological pathologies. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 10(2), 165-172.

Serra, A. (2017, June 23). Velocidad media en ciclismo, lo que debes saber. Retrieved from <https://www.sport.es/labolsadelcorredor/velocidad-media-en-ciclismo-lo-que-debes-saber/>

Sheldon Brown's Bicycle Glossary Bo - Bz. (2019). Recuperado el 1 septiembre de 2018, de https://www.sheldonbrown.com/gloss_bo-z.html

Spears, I. R., Cummins, N. K., Brenchley, Z., Donohue, C., Turnbull, C., Burton, S., & Macho, G. A. (2003). The effect of saddle design on stresses in the perineum during cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(9), 1620-1625

Suero, D. F. (2010). Factibilidad del uso de la bicicleta como medio de transporte en la ciudad de Bogotá. *Revista AVANCES*, 12, 55-56.

Thompson, M. J., & Rivara, F. P. (2001). Bicycle-related injuries. *American Family Physician*, 63(10), 2007-2013.

Tseng, S. C. (1998). U.S. Patent No. 5,749,622. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

UCI, Cycling Regulations. (2018). UNION CYCLISTE INTERNATIONALE. Obtenido de Part 4 Mountain Bike: (Semana, 2016) http://www.uci.org/docs/default-source/rules-and-regulations/part-iv--mountain-bike.pdf?sfvrsn=9954e8cc_6

UCI, Cycling Regulations. (2018). UNION CYCLISTE INTERNATIONALE. Obtenido de Part 3 Track Races: http://www.uci.org/docs/default-source/rules-and-regulations/part-iii--track-races.pdf?sfvrsn=da11c58e_6

UCI, Cycling Regulations. (2018). UNION CYCLISTE INTERNATIONALE. Obtenido de Part 2 Road Races: http://www.uci.org/docs/default-source/rules-and-regulations/part-ii---road-races.pdf?sfvrsn=448068eb_6

Yates, P. M. (2001). U.S. Patent No. 6,290,794. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.