

[193012] Diseño de herramienta para el perfilado de productos creados por inyección.

Alejandra Abella Ulloa ^{a,c}, Juan Sebastian Alarcon Robles ^{a,c}

Christian Ricardo Zea Forero ^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

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

^cPontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

One of the objectives as future industrial engineers is to propose strategies from industrial safety such as avoiding exposure to repeated movements, risk assessment and preventive measures to reduce risks. Europlast S.A.S. is a manufacturing company, focused on the design and manufacture of injected in thermo rubber soles, they are characterized by their innovative designs and excellent quality. Each sole requires detailing where the burr or excess material is removed, this material appears when the sole is injected; it is a task that requires precision and mastery of the tool because it is the last step before cleaning and packing. Currently Europlast uses a cuticles to perform detailing, since it is not a specialized tool for the material or the task, the tool has a useful life of two days and must be sharpened every two hours, which represents stopping the productive time, although the handle is not designed for the task. This project proposes a new material for the blade, an ergonomic adapted to the anthropometric measurements of the users. We are looking for an approximate design to the current one that allows easy adaptation to the operator. Simulations were carried out with the proposed prototype finding that it would last 292 days without sharpening and a comfortable grip for the user that will allow him to continue carrying out the task with fluidity and precision.



Ilustración 1 Prototipo propuesto para la solución

Justificación y planteamiento del problema.

Europlast es una empresa dedicada al diseño y fabricación de suelas, bajo los más altos estándares de calidad. Con una experiencia de 15 años en la fabricación de suelas en TR (Thermo Rubber) y 30 años en la fabricación de suelas en Caucho. Su mercado objetivo es de exclusividad, manejando un amplio portafolio de clientes a nivel nacional. Entendiéndose exclusividad como el desarrollo de productos nuevos, para un solo cliente o unos pocos en caso de común acuerdo. En Europlast se cuenta con el equipo de profesionales, la tecnología y el apoyo de tres empresas

dedicadas a la fabricación de moldes para suelas, lo que garantiza la entrega de un producto que cumpla con todas las expectativas del cliente.

El gremio de, La Asociación Colombiana de Industriales del Calzado, el Cuero y sus Manufacturas, ACICAM, al que pertenece Europlast registró la producción y ventas reales del sector de calzado en enero de 2019, con variaciones de 3.9% y 1.4% respectivamente, en comparación al año 2018 (ACICAM, 2019). Este crecimiento se dio por el aumento de pedido de calzado para dotación, temporada escolar y el aumento de las ventas internas. El sector de calzado y sus partes en el primer mes de 2019, registró exportaciones por 2.3 millones de dólares, con un aumento de 32%, frente a las exportaciones de enero de 2018. Los principales destinos de las ventas externas de calzado en pares son Ecuador, Perú y Estados Unidos, donde Europlast tiene presencia. (ACICAM, 2019).

Europlast para el mes de marzo de 2019 registró una demanda de 22,138 pares de suelas, de sus 26 referencias disponibles. El proceso puede variar según la referencia solicitada, los diseños pueden incluir detallado como viras, esterillas o pintura. El conformado de las suelas se realiza en cuatro estaciones ubicadas en un área total de 210m² en la ciudad de Bogotá.

La fabricación de las suelas inicia con la operación de inyección; dicha estación cuenta con 3 máquinas inyectoras las cuales simultáneamente inyectan 10 pares de suelas, en caso de que existan unidades con defectos son recolectadas y procesadas en una moladora con el fin de enviarlo al proveedor de pellets, donde se reprocessa adaptando el color y el tamaño de los pellets. Si el modelo así lo requiere, seguirá al área de detallado y pintura, en caso de que no lo requiera continúa a la estación final, donde son pulidas y posteriormente removida la rebaba de todas las suelas procesadas en la fábrica, por último, son limpiadas, empacadas y almacenadas por referencias y pedido.

El análisis se centrará en la estación de pulido, específicamente en la operación de perfilado. Ver Ilustración 2. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** El área de perfilado es operada 8 horas diarias por 6 operarios mujeres, quienes reciben un buffer de 60 pares de suelas ubicadas en canastas traídas del área de inyección. Diariamente en promedio el área despacha 2000 pares de suelas terminadas, esta actividad se realiza de forma artesanal donde uno a uno el producto es perfilado con un quitacútcula. El agarre utilizado es una pinza cuadrípode. Ilustración 3.

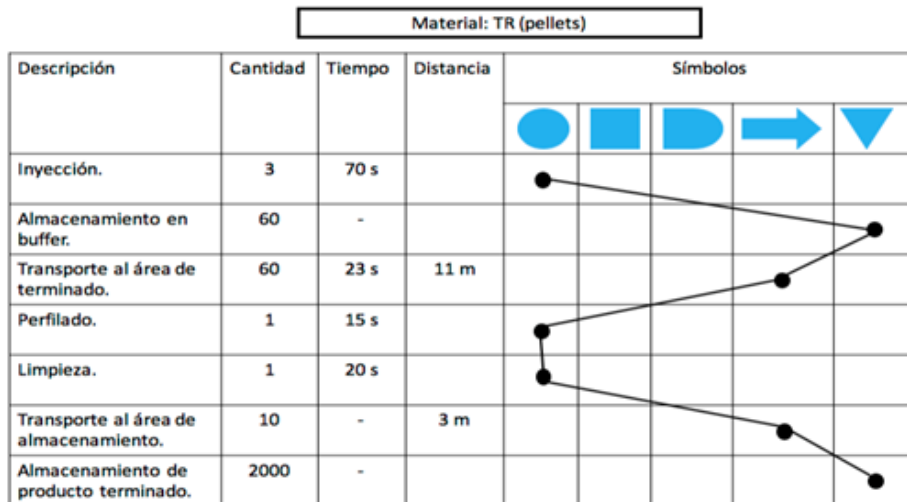


Ilustración 2 Diagrama de flujo de proceso de corte de rebaba

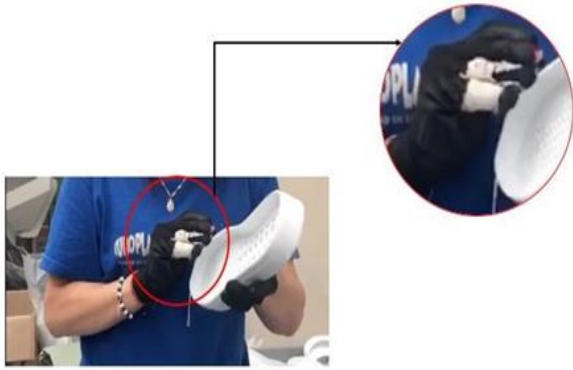


Ilustración 3 Agarre cuadrípode.

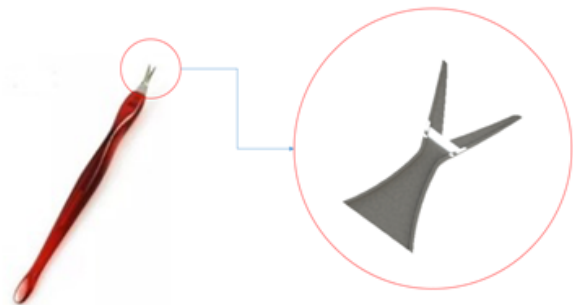


Ilustración 4 Quitacutícula convencional usado en la empresa.

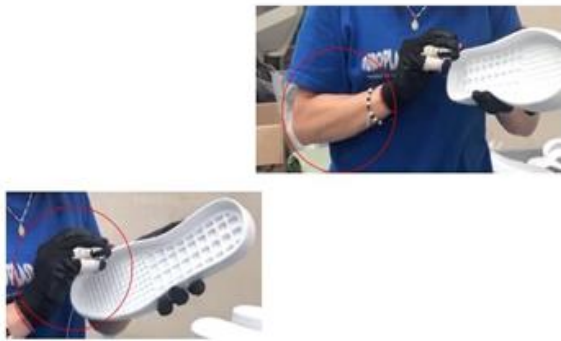


Ilustración 5 Esfuerzo muscular



Ilustración 6 Perfilado y esfuerzo visual

Análisis:

1. La herramienta utilizada para la operación remoción de rebaba, es un quitacutícula, cuenta con cuchilla en forma de “Y” (Ilustración 4) que se posiciona sobre la rebaba de la suela y posteriormente es deslizada por el contorno hasta retirar el exceso de material. Es el único método empleado por Europlast S.A.S.. El quitacutícula tiene un precio en el mercado de 2300 COP por unidad, adicional, es necesario afilar la cuchilla cada 2 horas y tiene una vida útil de 2 días.

2. El agarre, movimiento y repeticiones de la tarea ejerce presión sobre los músculos del antebrazo. Se entiende por movimientos repetidos a un grupo de movimientos continuos, mantenidos durante un trabajo que implica al mismo conjunto osteomuscular provocando fatiga muscular, sobrecarga, dolor y por último lesión. El trabajo se considera repetido cuando la duración del ciclo de trabajo fundamental es menor de 30 segundos. Tiempo de ciclo de la tarea 20 segundos. Ilustración 5

3. El perfilado de las suelas inyectadas es una tarea que demanda precisión y dominio de la herramienta, por tanto, puede presentar cierta fatiga visual para el operario, por el constante esfuerzo que requiere mantener visualizado un objeto pequeño como la rebaba, también la postura influye en la visualización del objeto ya que aumenta la distancia del objeto, además el movimiento afecta la velocidad a la que el ojo enfoca la rebaba, estas características logran incrementar la fatiga visual como lo podemos ver en la Ilustración 6, el efecto de la fatiga en la industria puede incrementar los desperdicios de material, el tiempo perdido y la calidad del trabajo. Es importante la luz en el área de trabajo, el contraste entre la herramienta y el

producto. (Estrada, 2011)

Europlast es una empresa que, por su recorrido en la industria, contribuye a la economía en ventas nacionales y exportaciones, por lo que la salud de sus empleados es un factor importante para seguir manteniendo su reconocimiento en la industria del calzado como una de las empresas enfocada en la calidad y detallado del producto final. En pro de la seguridad de sus empleados, Europlast realiza exámenes médicos anuales, donde no se encuentra registro de enfermedades de orden laboral por realizar la tarea de perfilado, no obstante, la empresa se encuentra en constante búsqueda de mejora en sus procesos para reducir los riesgos.

La ingeniería industrial propone estrategias desde la seguridad industrial como evitar la exposición a movimientos repetidos, la evaluación de riesgos y medidas preventivas para reducir riesgos, adicional es importante formar e informar a los trabajadores sobre los riesgos y las medidas preventivas de los daños producidos a la salud de los trabajadores, incluidos los Accidentes de Trabajo por sobreesfuerzos y las Enfermedades Profesionales musculoesqueléticas. Es necesario realizar una vigilancia específica de la salud de los trabajadores expuestos a riesgo para prevenir la aparición de lesiones, aun así, no se tengan registros de lesiones en la empresa.

Este trabajo pretende dar respuesta a la pregunta de investigación ¿cuál es el posible diseño de una herramienta, para la operación del perfilado que permite aumentar la comodidad del operario sin afectar los tiempos de trabajo?

Antecedentes

Las suelas para zapato han sido una necesidad para el ser humano desde los principios de su historia, se han encontrado restos de zapatos en las ruinas de todas las grandes civilizaciones de la antigüedad como Egipto, Mesopotamia, Grecia, Roma, entre otras; es por esto que las suelas de zapato han ido evolucionando conforme la humanidad ha ido descubriendo nuevos materiales para ser aprovechados y los ha dominado mediante los años. (Museo Histórico Nacional de Chile, 2019) En un principio las suelas de los zapatos se hacían en cuero y eran muy delgadas, pero era el único material que brindaba protección a los pies al caminar, este material era fácil de moldear a través del proceso de curtiembre y aplicando calor se le daba la forma y textura deseada; pero en terreno rústico no ofrecían mucha protección, además de brindar poco agarre. Frente a esta necesidad de desarrollar un mejores zapatos y suelas, en la década de 1840 cuando la industria mundial empieza a utilizar el caucho en sus productos también fue implementado en el calzado. En un principio se vertía el caucho en un molde de metal o madera, se dejaba enfriar a temperatura ambiente y se esperaba a que se solidificara la mezcla y posteriormente se retira del molde. Los moldes eran hechos de manera manual muy elaborada llegando al punto de ser un producto artesanal, generando moldes en madera tallados; era un proceso lento, costoso y que aumentaba el desperdicio de material. A principios del siglo XX se hacen estudios y pruebas en diferentes polímeros derivados del petróleo, los cuales empiezan a ser usados en la industria del calzado en países industrializados. En Latinoamérica el uso de estas materias primas derivadas del petróleo se desarrolla rápidamente en Chile, Brasil y México (Museo Histórico Nacional de Chile, 2019), más no a la misma velocidad en Colombia. La industria del calzado nacional no hace desarrollo en la producción de estos polímeros hasta la década de 1980, pero si se hacen desarrollos en la producción de moldes para inyección. En un principio los moldes son creados mediante el uso de fresadoras convencionales, en la actualidad los moldes son realizados con maquinaria CNC que mejora los resultados de los moldes y permite reproducirlos cuando se vuelvan a necesitar. (AMP Moulds, 2020)

El siglo XXI llega con propuestas de nuevas tecnologías como las máquinas láser, electroerosión y otros mecanismos no convencionales, empiezan a liderar el proceso de maquinado de moldes hechos en acero, logrando mejor precisión y maximizando el cierre hermético (Museo Histórico Nacional de Chile, 2019) , sin embargo, en los moldes realizados en máquinas convencionales presentan fallas como escapes de material inyectado por entre los cierres del molde formando rebabas en el borde exterior de la pieza. (H. Akiyoshi, 2014)

La generación de rebaba alrededor de la suela, es una oportunidad de mejora en el sector del calzado y sus partes, es por esto que se ha recurrido a buscar nuevos métodos para mejorar el molde y solucionar dicha problemática, dentro de estas soluciones se han implementado máquinas de moldeo con inyección eléctrica, inyectoras que en vez de utilizar energía hidráulica o neumática para inyectar el plástico al molde, utilizan supercapacitores que permiten modificar la presión de la inyección según la ficha técnica del material, este método busca reducir la cantidad de rebaba del producto final, a través de la regulación de la presión con la que el material es inyectado. En las técnicas convencionales (neumática e hidráulica) la regulación de la presión en el proceso de la inyección se realiza en una

escala de 1 kW (H. Akiyoshi, 2014)), mientras que la inyección eléctrica permite calibrar la presión en fracciones de kW (H. Akiyoshi, 2014).

Se encuentran diferentes métodos de mecanizado de los moldes unos convencionales y otros no convencionales, dentro de los convencionales encontramos máquinas que utilizan el proceso de mecanizado por desprendimiento de viruta manejados a través de código CNC que garantizan mayor nivel de detalle, comparado con la fabricación manual, para aumentar el cierre hermético. Todos los procesos anteriormente descritos, son catalogados como altamente tecnológicos lo que hace que requiera una mayor inversión para su implementación. Colombia cuenta con la tecnología anteriormente mencionada, que garantiza disminuir el error y la cantidad de rebaba resultante en cada pieza inyectada, sin embargo, el costo es un factor determinante, ya que para una referencia de la empresa Europlast se requieren entre 7 y 9 moldes, esto dependiendo de la curva del tallaje, lo que significa que deben existir por cada referencia una curva de tallaje, actualmente Europlast cuenta con 26 referencias, es decir, si un diseño de suelas para hombre se hace desde la talla 36 hasta las 45 se requieren 9 moldes para este diseño, cualquier ajuste realizado sobre los moldes debería hacerse en los más de 234 moldes.

El Caucho Termoplástico (Thermoplastic Rubber, TR) es un hule que combina la resistencia y propiedades típicas de los cauchos con la característica de reproceso de los plásticos. Diseñado para la industria de calzado, buscando facilitar la producción en molde por inyección. Este producto tiene la característica de ser extra liviano y de aplicación general para calzados intermedios, cuenta con muy buena procesabilidad en la pigmentación e inyección y buena resistencia al desgaste (resistencia a la abrasión) (Mexpolimeros, 2020). La denominación EVA es un término que se usa como abreviatura de su nombre original: el etilvinilacetato. Se trata de un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno y acetato de vinilo.

Se asimila a la goma espuma y es un material muy versátil y polivalente. En la industria del calzado es usado para el conformado de suelas. Algunas de sus propiedades son la ligereza, además, es fácil de moldear consiguiendo así fácilmente casi cualquier acabado y diversidad de diseños (Mexpolimeros, 2020).

La fabricación de suelas por inyección también ha evolucionado no solo en el método en que se diseñan y construyen los moldes, sino también en los materiales inyectados como las nuevas fibras, tejidos y materias primas que ha encontrado el hombre a lo largo de los últimos 70 años. El uso de polímeros derivados del petróleo se ha convertido en uno de los materiales más utilizados en el método de conformado de suelas por inyección. Anteriormente estos polímeros se utilizaba el caucho 100% natural, este material a comparación de los polímeros requiere de un proceso costoso para su obtención. Una solución a los altos costos fue la mezcla de caucho sintético producido a base de materiales derivados del petróleo con el caucho natural, material actualmente utilizado por la empresa (Europlast S.A.S.), llamado thermo rubber (TR). Este material se caracteriza por su durabilidad, cumplimiento de estándares de calidad propuesto por los clientes y representa una menor inversión para la compañía, adicionalmente mantiene características del caucho natural como su versatilidad, baja densidad y un comportamiento estable al mezclarse con colorantes.

Uno de los retos de las empresas que realizan productos por inyección es la rebaba o burr (en inglés), ya que ésta es un residuo posterior a la inyección del material y daña el resultado estético de la pieza. En muchos casos, la rebaba no afecta el desempeño del producto final; este exceso de material es una falla producida por el incorrecto cierre hermético entre las dos partes del molde. Esta deficiencia es producida por el desgaste de los moldes, su diseño o por su proceso de mecanizado, como resultado el material sobresale por las uniones. La rebaba debe ser retirada por operarios de forma manual.

Quitar la rebaba y dar el acabado requerido por los estándares del cliente puede representar hasta el 30% del costo del producto terminado (Gillespie, 2006), es por esto que se utilizan diferentes métodos para la remoción de la rebaba, cada uno de estos con una ventaja competitiva, ya sea por costo de implementación, tiempo de mecanizado o calidad en la remoción de la rebaba. Algunos de los métodos son:

1. Remoción de la rebaba con la herramienta quitacutículas:

El operario utiliza un quitacutículas, el cual normalmente es utilizado en la “manicura”, dicha herramienta cuenta con una cuchilla en forma de “Y” que se posiciona sobre la rebaba la cual se retira pasando la herramienta por todo el contorno de la suela. El quitacutículas tiene un precio en el mercado de 2300 COP por unidad, adicionalmente es necesario afilar la cuchilla cada 2 horas y tiene una vida útil de 2 días. Este es el método utilizado por la empresa (Europlast S.A.S.), que tiene implicaciones como el esfuerzo visual, motriz que ejerce presión sobre el nervio carpiano por la posición de agarre de la pinza, aunque no se requiera hacer mucha fuerza para realizar el corte mientras esté afilada la cuchilla, motivo por el cual se hace tan frecuente tener que recurrir a afilar la cuchilla, (según lo visto en Europlast S.A.S.). Un quitacutícula convencional tiene un peso de 350 g y una longitud de 11 cm. (First Instruments, 2018)

2. Remoción de la rebaba con la herramienta bisturí:

Este método es el más común por su bajo costo y disponibilidad en el mercado, tiene poca calidad en los terminados ya que se requiere de una alta precisión mano-ojo del operario en la cual no dañe la suela mientras desliza la cuchilla por el contorno de la suela, además se debe tener en cuenta el riesgo activo que encuentra el operario ya que aumenta la probabilidad de tener un accidente laboral leve, dependiendo del operario y la herramienta utiliza. Se puede utilizar una cuchilla de bisturí o un bisturí completo, por lo que los costos varían, pero una cuchilla de bisturí tiene una duración de 4 días sin necesidad de ser afilada y tiene un costo promedio de 2800 COP por unidad. (STANLEY, 2019)

3. Se conoce que en la industria de inyección de productos plásticos se retira la rebaba con cuchillas de aluminio conseguidas en el mercado y el mango es un palo mecanizado manualmente por los operarios al que se le hace una abertura para poder colocar la cuchilla y es amarrado con caucho o remachado para que la cuchilla no se mueva, este es el producto más económico, sin embargo el costo y la duración no están establecidos ya que la cuchilla y el mango son elegidos por cada empresa sin ningún criterio de compra conocido o específico.

4. Existen diferentes herramientas como cuchillas para quitar la rebaba que se pueden conseguir en Amazon, Ebay o AliExpress, sin embargo el ángulo de entrada de la cuchilla no se adapta a los ángulos de las piezas inyectadas y el costo de un juego de 10 cuchillas aproximado es de 10-12 USD por kit más gastos de envío, por lo que las empresas en Colombia no optan por esta opción ya que es costosa, y tiene un tiempo de espera asociado a la distancia desde donde se encuentra la fábrica de estos productos, normalmente localizados en Asia, tiempo de espera que la empresa no desea tomar por la alta demanda de la herramienta en el proceso.

Objetivos

Diseñar una herramienta para perfilar suelas inyectadas con un agarre más cómodo y una cuchilla más duradera.

- Identificar el material apropiado para la cuchilla de corte.
- Diseñar el prototipo del mango de agarre a través de una herramienta CAD.
- Comprobar el funcionamiento de la solución.

Desarrollo de los objetivos

Para realizar el desarrollo de este trabajo se realizó una investigación en dos partes, corresponde a la división de las partes de la herramienta que se está investigando. Así encontramos una primera parte basada en la elección de la forma y material de la cuchilla, finalmente una segunda enfocada en el diseño y elección del material utilizado para el mango.



Ilustración 8 Partes de la herramienta

Objetivo 1: Identificar el material apropiado para la cuchilla de corte

Actualmente Europlast utiliza un elemento que no fue diseñado para la tarea de corte de rebaba de suelas inyectadas en TR, esta herramienta le permite realizar un corte continuo y fluido para remover la rebaba con una alta precisión, ya que el diseño de la cuchilla de acero inoxidable AISI 316L, permite que la rebaba se posicione en medio de los laterales y no se retire material adicional de la pieza. Al no ser diseñada para esta tarea la cuchilla del quitacutícula debe ser afilada con regularidad. La vida útil de esta herramienta es de dos días de trabajo, durante estos dos días los operarios deben afilar la herramienta para conseguir el acabado requerido por la marca.

Se escoge la técnica QFD para el análisis de la cuchilla ya que permite abordar problemas de comparación y decisión que son relevantes en el proceso de diseño y manufactura de un producto. Adicionalmente, es utilizado para interpretar opiniones del usuario esto con el fin de satisfacer sus necesidades en una mayor proporción.

Se desarrolla la metodología del despliegue del QFD en las siguientes fases;

1. *QUÉ* quiere o necesita el usuario.
2. Análisis de los *QUÉS*
3. *CÓMO* implementar
4. Relación de los *CÓMOs*
5. Relación entre *QUÉ Y CÓMO*
6. Análisis de los *CÓMOS*

Encontrando la siguiente información:

Fase 1. QUÉ quiere o necesita el usuario.

Bajo costo: La herramienta actual que se utiliza para el acabado y perfilado de las suelas inyectadas, tiene un costo de 1500 COP al mayoreo. La empresa Europlast adquiere una gran cantidad unidades al mes.

Duración del filo: La herramienta actual pierde el filo de la cuchilla cada 2 horas, por lo que necesita ser afilada constantemente.

Precisión: Europlast cuenta con una gran larga trayectoria fabricando suelas inyectadas, donde ha llegado a la conclusión que la cuchilla en forma de “Y” es la que entrega un mejor acabado, frente a otros tipos de cuchilla que dañen la precisión de la actividad.

Vida útil: La herramienta actual tiene una vida útil de 2 días en promedio, periodo en el cual es afilado constantemente hasta que el material presenta diferentes tipos de desgaste y no puede ser afilado nuevamente.

Facilidad de reemplazo: La herramienta actual es más conocida como “quitacuticula” y es usada en la manicura por lo que es una herramienta que se consigue en el comercio con una gran facilidad.

La siguiente información fue proporcionada por Europlast en la visita de reconocimiento del área de trabajo y los usuarios de las herramientas.

Fase 2. Análisis de los QUÉs

Se solicita a Miguel Ángel Rodríguez (gerente de ventas) que proporcione una calificación de entre 1 y 5 (1=no es importante, 5= muy importante) para determinar la importancia de las necesidades del usuario.

QUÉ	Prioridad
Bajo Costo	5
Duración del filo	2
Precisión	5
Vida útil	4
Facilidad de reemplazo	3

Tabla 1 Calificación de las necesidades de los usuarios

Teniendo en cuenta los resultados, se procede a revisar la situación actual de la herramienta respecto a los QUÉs dando una calificación entre 1 a 5 para cada requerimiento del usuario siendo 1=muy mala situación y 5=muy buena. Posterior a esto, se propone una calificación de cumplimiento para el desarrollo de la nueva propuesta. Para determinar ratio o la relación cuantificada entre la mejora que se divide el valor de la situación actual de cada QUÉ con el valor objetivo del cumplimiento de la propuesta mejorada. (Akao, 1993)

Lo siguiente es proponer un “argumento de venta”, una puntuación a los QUÉs desde la perspectiva del equipo que desarrolla la propuesta. La puntuación es un valor entre 1 y 1,5 (1=mal argumento, 1.5=buen argumento). Teniendo en cuenta la perspectiva del cliente y de los desarrolladores se procede a realizar la ponderación de los QUÉs analizados.

QUÉ	Prioridad	Cumplimiento Herramienta Actual	Cumplimiento Propuesta Mejorada	Ratio de mejora	Argumento de venta	Ponderación	%
Bajo Costo	5	5	3	1,67	1,5	37,50	41,90
Duración del filo	2	1	5	0,20	1	1,00	0,01
Precisión	5	4	4	1	1,5	24,00	26,82
Vida útil	4	3	4	0,75	1,5	13,50	15,08
Facilidad de reemplazo	3	3	4	0,75	1,5	13,50	15,08
					Total	89,50	100%

Tabla 2 Ponderación de los QUÉs

Análisis de los resultados:

Siguiendo la metodología del QFD elegimos los 3 QUÉs con mayor relevancia en la solución, como se evidencia en la Tabla 1 el QUÉ más relevante es el bajo costo con un 41,90%, seguido por la precisión con un 26,81% por la precisión de la herramienta y por último con un 15,08% la vida útil de la misma, estos son los parámetros que se van a priorizar en la elección de materiales para el diseño de cuchilla que cumpla con los requerimientos.

Fase 3. CÓMO implementar

Mantener la forma: Dentro de las diferentes opciones de cuchilla que se encuentran en el mercado y la que se usa en este momento, se evidencia que solo la cuchilla actual de forma “Y” de 21,7mm de largo y 4,6mm de ancho, logra retirar la rebaba sin afectar el producto, cortando más material del necesario o necesitando más de una pasada para retirar la rebaba, por lo cual se debe diseñar un prototipo basado en esta cuchilla.

Aumento de precio por unidad, baja cantidad de unidades necesarias: En el escenario actual se encuentra una cuchilla unida fijamente al mango, es por esto que la vida útil del mango se limita a la vida útil de la cuchilla, por lo tanto al final del ciclo productivo de la cuchilla el mango se encuentra en buenas condiciones de operatividad, pero es desechado al no poder ser separado de la cuchilla actual y unido a una nueva, es por esto que se creará un diseño donde la cuchilla sea removible al final su ciclo de vida útil, dando paso a una nueva cuchilla. Aunque el precio unitario de la propuesta es más alto que el costo unitario de la herramienta actual, el precio se amortiza en la duración de este, ya que reemplazará el uso de varias herramientas actuales con una sola herramienta propuesta.

Cambio material: Para lograr disminuir el precio del prototipo y la amortización del precio con el reemplazo de varias unidades actuales por una sola unidad de la propuesta, es necesario que además la cuchilla tenga una mayor duración que la cuchilla actual, para que aumente la relación costo beneficio de la herramienta, así que se debe hacer un cambio de material de la cuchilla por un metal que resista más al desgaste sufrido al cortar TR.

Fase 4. Relación de los CÓMOs

En una matriz triangular se proponen las posibles relaciones entre los CÓMOs si existen, sean positivas o negativas.

Análisis de la relación de los COMOs:

Los COMOs de aumento de precio con disminución de número de unidades compradas y cambio de material se relacionan de manera inversamente proporcional, es por esto que al reemplazar el material actual por uno con mayor duración aumentará el precio por unidad, pero se deberán comprar menos unidades. La relación entre mantener la forma y los otros COMOs es neutra ya que la forma es una variable independiente a el material o al precio de la solución.

5. Relación de los QUÉs y los CÓMOs

Se debe crear una relación entre los requerimientos del cliente y las posibles soluciones propuestas, realizando una clasificación entre 0 y 9 entre cada QUÉ y cada CÓMO (siendo 0=sin relación, 1=baja relación, 3=media relación, 9=alta relación). Obteniendo los siguientes resultados.

	Aumento de precio de disminución de compra	Mantener Forma	Cambio material	Total
Bajo Costo	9	1	9	19
Precisión	1	9	6	16
Vida útil	9	1	9	19
Total	19	11	24	54

6. Análisis del QFD

Viendo el resultado de la Tabla 4 se concluye a través de la puntuación final de la relación entre los QUÉs y los COMOs con una puntuación de 24 puntos, se debe cambiar el material de la cuchilla para aumentar la vida útil de la herramienta de corte, el cambio de material está directamente relacionado con el bajo costo de la solución que tiene 19 puntos, por lo tanto la nueva cuchilla debe tener una duración igual o superior a la herramienta actual, además debe mantener la misma forma de la cuchilla actual.

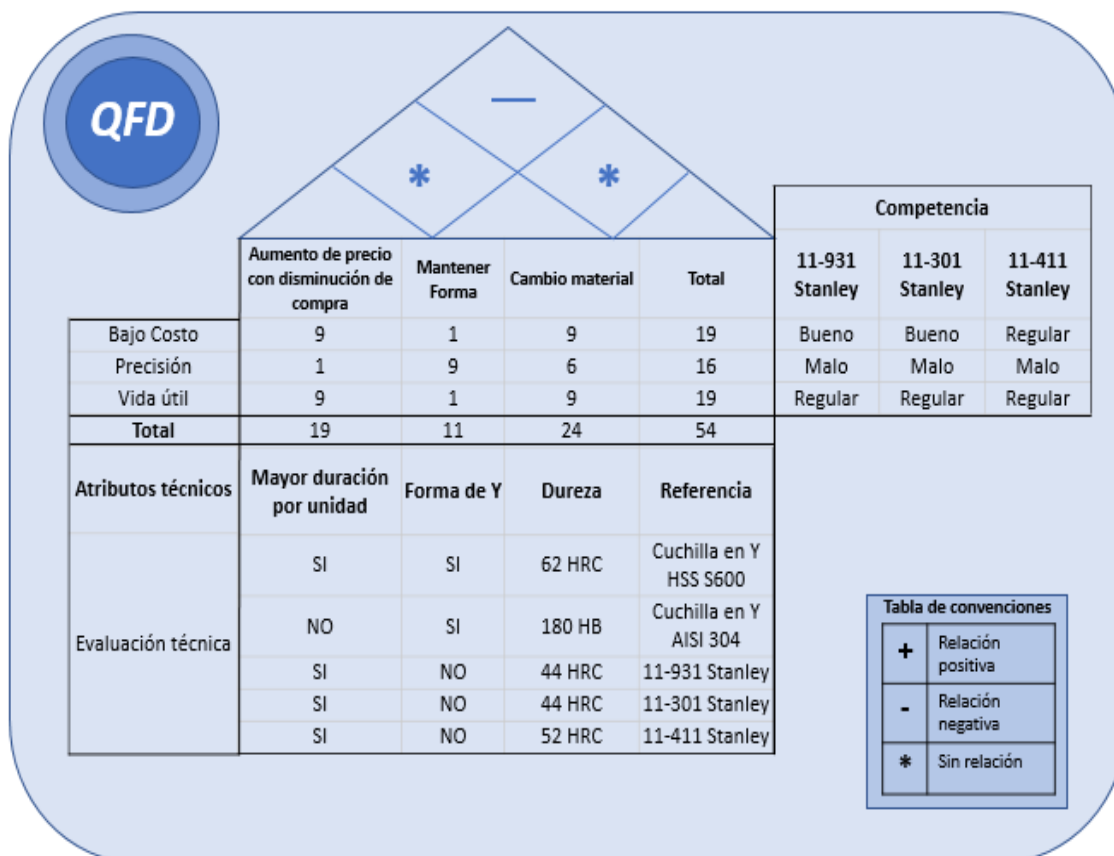


Ilustración 9 QFD

Para cumplir con el requerimiento de cambio de material se debe partir del análisis del material de la suela que será sometido al proceso de corte de rebaba, el material utilizado para la fabricación de suelas por inyección en EUROPLAST que será evaluado es conocido comúnmente como TPR (Thermoplastic Rubber) o simplemente TR, es un copolímero en bloque de estireno butadieno (SBS), este cuenta con las siguientes propiedades:

- Temperatura de funcionamiento -50 a 70°C
- Débil a los agentes atmosféricos
- Buena resistencia a la abrasión
- Fácil procesabilidad
- Fácil ensamblaje
- Algunos grados especiales tienen una alta resistencia a la abrasión
- Dureza Shore D30 hasta shore D40
- 100% reciclable (Mexpolimeros, 2020)

La ficha técnica del material nos muestra que el nuevo material de la cuchilla debe tener una buena resistencia a la abrasión y a la dureza Shore D30 hasta Shore D40 del TR (Mexpolimeros, 2020), una cuchilla en un material con mayor dureza va a lograr que se reduzca el número de afiladas y aumente la vida útil de la cuchilla antes de ser reemplazada. En la industria es posible encontrar diferentes tipos de cuchillas dependiendo de su aplicación ya sean cuchillas para corte de maderas, metales o plásticos. Uno de los principales fabricantes es la empresa STANLEY que por más de 160 años se ha dedicado a la fabricación de herramientas eléctricas, manuales y accesorios. Dentro de su portafolio cuenta con una variedad de herramientas manuales para realizar cortes, cuenta con catorce referencias de cuchillos y cuchillas con especificaciones para diferentes tareas (STANLEY, 2019). En la industria es posible encontrar diferentes tipos de cuchillas dependiendo de su aplicación ya sean cuchillas para corte de maderas, metales o plásticos. El principal material utilizado es el acero rápido, por su alta resistencia al desgaste. Se procede a identificar las diferentes cuchillas disponibles mostradas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Se propone cambiar el material de la cuchilla, para esto se procede a analizar la situación actual del material utilizado y las opciones disponibles en el mercado. El principal problema de la cuchilla actual es su vida útil, ya que la cuchilla presenta daño del filo cada 120 minutos, el tipo de desgaste es conocido como desgaste del flanco, en la propuesta no se contempla un cambio en el ángulo de ataque de la cuchilla ya que la forma actualmente usada permite un movimiento fluido y seguro sobre la suela; se propone cambiar el material por uno que aumente la vida útil de la cuchilla, dentro de las opciones contempladas se encuentra el acero al carbono, acero de alta velocidad, carburo cementado, cermet y carburo recubierto.



Ilustración 10 Opciones de cuchillas multipropósito de reemplazo en el mercado ferretero nacional.

Se propone cambiar el material de la cuchilla, para esto se procede a analizar la situación actual del material utilizado y las opciones disponibles en el mercado. El principal problema de la cuchilla actual es su vida útil, ya que la cuchilla presenta daño del filo cada 120 minutos y es afilada nuevamente hasta que cumple 960 minutos de uso y posteriormente es desechada. El tipo de desgaste es conocido como desgaste del flanco, en la propuesta no se contempla un cambio en el ángulo de ataque de la cuchilla ya que la forma actualmente usada permite un movimiento fluido y seguro sobre la suela; se propone cambiar el material por uno que aumente la vida útil de la cuchilla, dentro de las opciones contempladas se encuentra el acero al carbono, acero de alta velocidad, carburo cementado, cermet y carburo recubierto.

El material de las suelas es el thermoplastic rubber (TR) el cual se caracteriza por tener una dureza shore media de D35 equivalente a 21 HRC. Se busca un material con una dureza superior a la del AISI 316L (material de la cuchilla actual) que tiene una dureza 8 HRC. Dentro de las opciones del mercado están los acero al carbono y un acero de alta velocidad, los aceros al carbono tienen una dureza entre los 60 y 61 HRC y los aceros rápidos entre 60 y 67HRC (Servicio Nacional De Aprendizaje (SENA), 1995), Al tener mayor dureza se elige un acero rápido para la cuchilla, adicional se descartan opciones con mayor dureza ya que incrementarían el costo. Se solicitó la asesoría de la empresa

Hermafil de Colombia para determinar el acero rápido que se debería usar para esta tarea; Hermafil es una empresa ubicada en el barrio Ricaurte de Bogotá, dedicados a la fabricación y afilado de todo tipo de herramientas industriales. La empresa propone utilizar el acero rápido s600 con dureza 62 HRC.

Es importante mencionar que la dureza del TR es de 21 HRC vs la de la cuchilla en AISI 316L, siendo la dureza del TR superior a de la herramienta actual en un 38%, es por esto que el material de la cuchilla debe ser remplazado por uno que tenga dureza superior a 21 HRC. Comparando las durezas entre el acero al carbón y el acero rápido, se encuentra que el acero rápido tiene una dureza superior lo que se traduce en mayor durabilidad a la cuchilla. Se procede a realizar el análisis para determinar los días que duraría el material realizando la tarea.

Se plantea la ecuación de Taylor sobre la vida útil de una herramienta de corte para conocer una aproximación de la duración de la cuchilla para conocer cuántos quitacútículas reemplazaría una cuchilla de HSS s600:

$$\text{Ecuación de Taylor } C = vt^n$$

Ecuación 1 Ecuación de Taylor para la vida de la herramienta

v = Velocidad de corte (m/min)
t = Vida útil de la herramienta(min)

Los parámetros C y n son adimensionales que se hallan de manera experimental y son determinados en función del avance, la profundidad, materiales de pieza y herramienta. En la ecuación n indica la pendiente de la curva y C indica el punto de corte con el eje de velocidad. La letra C representa la velocidad de corte para una vida de 1 minuto si las unidades empleadas son m/min y min.

El valor de n representa al material de la herramienta mientras que C corresponde al material de trabajo y al resto de condiciones de corte (Barrera, 2015). Existen variables orientativas para C y n que se encuentran en la Tabla 3; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, aunque hay más variables que afectan la duración de la cuchilla, como la profundidad del corte y la temperatura a la que se corta las consideramos despreciables ya que la profundidad de corte es variable dependiendo de la cantidad de rebaba que queda en cada suela, la cual al ser un desperfecto en el proceso productivo no es controlable. La temperatura al momento de realizar el corte es a temperatura ambiente al igual que el de la suela, es importante mencionar que la profundidad del corte no supera más de un milímetro y la cuchilla no presente cambios en su temperatura al cortar.

Material de herramienta	n	C(m/min)	
		Materiales fáciles de mecanizar	Acero suave, no endurecido
Acero para herramienta al carbono	0,1	70	20
Acero de alta velocidad	0,125	120	70
Carburo comentado	0,25	900	500
Cermet	0,25		600
Carburo recubierto	0,25		700
Cerámico	0,6		3000

(*) Cálculos realizados para un avance de 0,25 mm/rev y profundidad de 2,5mm.

Tabla 3 Valores orientativos para C y n. (Barrera, 2015)

Las variables C y n son tomadas de la tabla para materiales fáciles de mecanizar y acero de alta velocidad, C=120 m/min y n=0,125, para hallar la velocidad de corte se toman los videos grabados en Europlast donde se grabó la actividad de corte de la rebaba y mediante la edición de video se contó el número de cuadros que se capturan por segundo donde el operario se encuentra retirando la rebaba, esto tiene como resultado 0,011min, la distancia usada para el cálculo es el lado exterior de la suela de talla 39 entre el tacón y la punta de la suela, la distancia entre estos 2 puntos es de 0,3m con esto la división entre la distancia y el tiempo da como resultado la velocidad de corte de 27,27m/min, que se remplaza en la ecuación junto a las otra variables de las que ya se tienen los datos, solo queda despejar la t, de la ecuación de Taylor, tendríamos al duración teórica de la cuchilla, así:

$$120 = 27,27t^{0,125}$$

$$t = 140.595 \text{ min}$$

Se determina que la nueva cuchilla tendría una vida útil antes de deformarse y necesitar ser afilada de 140.595 minutos, alrededor de 292 días teniendo en cuenta que la jornada de trabajo es de 8 horas diarias. El costo de la cuchilla propuesta es de 40.000 COP Ver Anexo 1, mientras que el valor unitario de la herramienta actual es de \$1.500 COP, es decir, se aumenta el precio de la herramienta, pero se disminuye la cantidad de herramientas a comparar. Un año tiene alrededor de 244 días laborales, teniendo en cuenta que la herramienta actual debe ser remplazada cada dos días se requieren 122 quitacútículas al año por cada operario, esto se traduce en un costo de 186.000 COP al año, mientras que la cuchilla propuesta tiene un precio 40.000 COP sin tener en cuenta el costo del mango y tiene una duración superior a los días laborales del año; es un ahorro de 146.000COP que representa el 78,5% en cada herramienta por operario.

Objetivo 2: Diseñar el prototipo del mango de agarre a través de una herramienta CAD.

Tras definir el diseño y el material para la cuchilla se procede a realizar el análisis para el posible material del mango. Es importante resaltar que el mango fue diseñado a través de (SolidWorks) y posteriormente se propone la impresión 3D del mismo. Este proyecto está delimitado por los equipos y materiales disponibles en el laboratorio de la Pontificia Universidad Javeriana. El Centro Tecnológico de Automatización Industrial (CTAI) de la universidad, cuenta con diversos espacios para la formación en investigación, incluyendo salas especializadas y equipos de investigación especializada y para el desarrollo de modelos en impresión 3D cuenta con 3 máquinas la Fused form STD, la Fortus 380MC y la impresora Connex Stratasys, (Pontificia Universidad Javeriana, 2019).

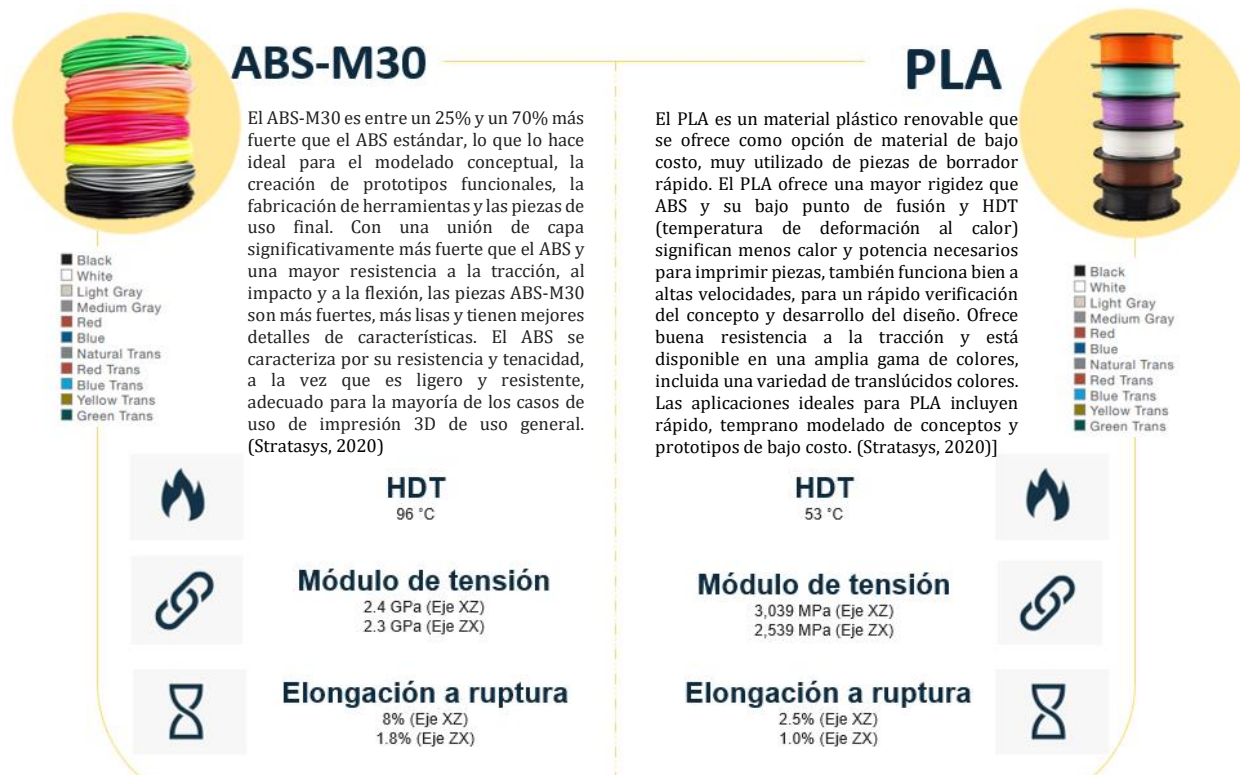


Ilustración 12 Comparativo filamentos para impresión

Se descarta el uso de la impresora Connex Stratasys ya que el precio de los materiales y sus características, también la precisión de la máquina se encuentra por encima de los requerimientos del proceso. Se procede a realizar el análisis del material PLA en la máquina Fused form STD que se caracteriza por ser una equipo de bajo costo y pequeñas dimensiones a comparación a otras máquinas en el mercado, específicamente tiene 51cm x 42cm x 52 cm y un peso de 20kg, (FusedForm STD, 2020), su resolución es de 20 micras altura de capa lo que la hace ideal para modelos de dimensiones pequeñas. Por otro lado, la máquina Fortus 380MC (FusedForm STD, 2020) es más especializada ya que puede imprimir los mismos materiales de la Fused pero ofrece un software y condiciones de impresión avanzadas, permite la producción de piezas complejas de altos requerimientos que pueden integrar

hardware, circuitos y otros materiales no termoplásticos. En el CTAI es utilizada para realizar impresiones 3D en el material ABS-M30. Teniendo en cuenta la impresora Fused form STD y los materiales disponibles, se procede a comparar los beneficios, costos y comportamiento de ambos materiales para realizar una elección.



Ilustración 13 Comparativa precio por gramo

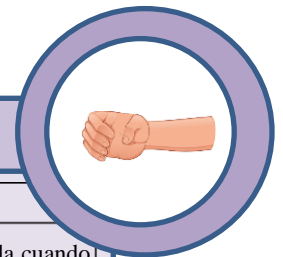
Las diferencias más relevante entre el PLA y el ABS-M30 son las propiedades que adquiere el material después de ser impreso. En el contexto de uso de la herramienta, el usuarios se encuentra en un lugar cerrado a temperatura ambiente, por esto se prioriza las necesidades de resistencia a la ruptura y el módulo de tensión del material, debido a las fuerzas a las que será sometido estas dos características representan mayor durabilidad del mango. El indicador HDT en la Ilustración 12 indica que el ABS-M30 requiere

una mayor temperatura para presentar deformaciones, por lo tanto también consume más energía en la impresión incrementando los costos del mango. En el módulo de tensión se evidencia una gran resistencia a la tensión por parte del ABS, muy superior al PLA, finalmente la elongación a ruptura nos habla del porcentaje de deformación donde el material se rompe, también es superior para el ABS, sin embargo las características del PLA cumplen con los criterios requeridos para el prototipo, ya que estará expuesto a fuerzas no superiores a 3,039 MPA, además el PLA cuenta con un costo de impresión por gramo 26 veces más bajo que el ABS, un criterio que lo favorece ampliamente.

Requerimientos

La herramienta debe contar con unos requerimientos básicos planteados, donde se busca tener una aproximación teórica al diseño final, estas pautas van a regir el diseño de la herramienta. Los requerimientos se encuentran enfocados en la interactividad de la herramienta con el entorno y el trabajador, para que su uso sea el más eficiente posible y garantice la realización precisa de la operación de corte de la rebaba.

REQUERIMIENTOS DE USO



criterio	Determinante	Parámetro
Mantenimiento	Los cuidados que el usuario deberá brindar o tener con el producto. (Rodríguez, 1983)	Permitirle al usuario hacer un cambio seguro de la cuchilla cuando lo requiera. Fácil limpieza del mango con artículos convencionales de limpieza. Permitir que la cuchilla sea afilada cuando lo requiera.
Seguridad	Prevenir riesgos. El producto no debe entrañar riesgos para el usuario. (Rodríguez, 1983)	Agarre seguro para el usuario, que le permita maniobrar la herramienta con facilidad. El ensamblaje debe mantener sus uniones mientras está en uso activo y no genere riesgo de corte en el manejo cotidiano.
Practicidad	La funcionalidad en la relación producto-usuario. (Rodríguez, 1983)	Permitirle al usuario una interacción de uso con la herramienta mediante un agarre que no rompa ángulos de confort durante el movimiento de corte.
Reparación	La posibilidad del usuario de obtener refacciones compatibles en el mercado para corregir la anomalía sufrida por el producto. (Rodríguez, 1983)	<ul style="list-style-type: none"> - Manual de uso a través de gráficos, para el intercambio de cuchillas. (Anexo 2, 3, 4, 5) - Se hará entrega de planos de la cuchilla y proveedores donde se puede fabricar.

Tabla 5 Requerimientos de uso

REQUERIMIENTOS DE FUNCIÓN



Criterio	Determinante	Parámetro
Cortar	Función principal del diseño. (Rodríguez, 1983)	El mango debe permitir transferir la fuerza del usuario hacia la cuchilla en dirección a la rebaba para suavizar el esfuerzo al cortar.
Confiabilidad	La confianza manifestada por el usuario en el funcionamiento de un producto. (Rodríguez, 1983)	Evitar accidentes como cortes en las manos y daño en el producto final, además mantener el filo por un periodo prolongado y mantener el ensamblaje durante la operación.
Resistencia	Los esfuerzos que soporta el producto sean estos de compresión, tensión al choque. (Rodríguez, 1983)	Debe resistir a las siguientes fuerzas: FUERZA A: presión ejercida sobre el mango por el dedo índice del usuario 11lbF (Lizeth Muñoz Jashimoto, 2009) FUERZA B: fuerza que ejerce la rebaba sobre la cuchilla. Ilustración 14.
Acabado	Que sea atractivo a la vista para generar en el usuario una sensación positiva. (Rodríguez, 1983)	Acabado final limpio, suave al tacto y agradable a la vista

Tabla 6 Requerimientos de función

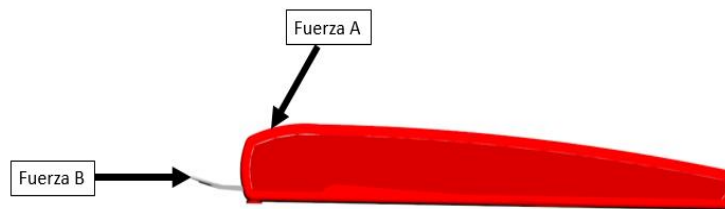


Ilustración 14 Dirección de las fuerzas

REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES



Criterio	Determinante	Parámetro
Componentes	La cantidad de componentes, partes y elementos de que consta el producto. (Rodríguez, 1983)	Un máximo de 3 piezas: - El mango de agarre. - Cuchilla de corte. Método de sujeción de la cuchilla al mango.
Unión	El sistema de integración que emplearán los distintos componentes, partes y elementos de un producto para constituirse en unidades coherentes. (Rodríguez, 1983)	El método de unión debe ser temporal y debe facilitar la remoción y cambio de la cuchilla, también debe ser fuerte para soportar la carga manual.
Estructura	Consideraciones de funcionalidad de los diferentes componentes. (Rodríguez, 1983)	Funciones de los componentes: - Mango: Generar un agarre cómodo para el usuario al cortar la rebaba. - Cuchilla: Cortar la rebaba. Unión: Mantener el ensamblaje entre la cuchilla y el mango.

REQUERIMIENTOS TÉCNICO-PRODUCTIVOS



Criterio	Determinante	Parámetro
Bienes capitales	Los útiles, herramientas, máquinas y autómatas que requiere la producción de un producto. (Rodríguez, 1983)	Será usada una Impresora 3D FORTUS 380MC para imprimir el mango.
Mano de obra	El tipo de trabajo humano específico que exige la producción de un producto. (Rodríguez, 1983)	Para producir la cuchilla se contactará a un proveedor externo, el desarrollo es artesanal.
Materia prima	Las características y especificaciones de los materiales que se emplearán en la producción del producto. (Rodríguez, 1983)	<ul style="list-style-type: none"> - ABS para el mango. - HSS S600 para la cuchilla.

Tabla 5 Requerimientos técnico-productivos

REQUERIMIENTOS AMBIENTALES



Criterio	Determinante	Parámetro
Durabilidad	Duración de dos años al mango y 1 año a la cuchilla.	Material resistente a las condiciones de uso constante y que sea biodegradable.

Tabla 6 Requerimientos ambientales

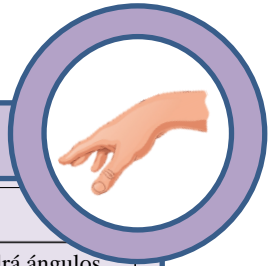
REQUERIMIENTOS SIMBÓLICO-COMUNICATIVO



Criterio	Determinante	Parámetro
Elementos indicativos	Señales de uso que informen al usuario sobre la aprehensión adecuada y puntos de apoyo para el manejo de la herramienta (uso y ubicación).	Emplear texturas y formas orgánicas. Detalles en colores contrastantes.

Ilustración 15 Requerimientos simbólico-comunicativo

REQUERIMIENTOS FORMAL ESTÉTICOS



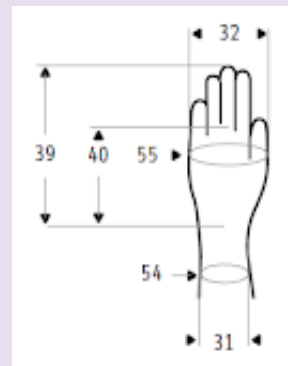
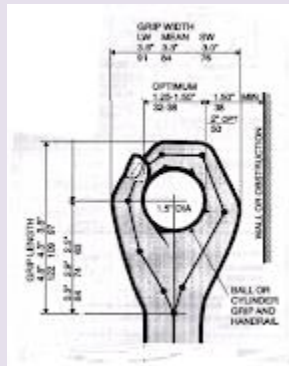
Criterio	Determinante	Parámetro
Unidad	La cualidad en la forma de un producto que hace que a las personas les agrade instintivamente. (Rodríguez, 1983)	-Simplicidad en la forma, además no tendrá ángulos rectos, ni esquinas puntiagudas. -Relación entre las partes componentes, será diseñado bajo percentiles para que se adapte a la mano del usuario. -Repetición de los elementos porción, será simétrico en la forma.
Superficie	La percepción de un producto que por la imagen de su carcasa o cubierta tendrá el usuario, relacionándose sobre todo con los conceptos de color y textura. (Rodríguez, 1983)	En filamento es opaco y puede ser de color oscuro o marfil y se puede pigmentar en la mayoría de los colores, obteniéndose partes lustrosas de acabado fino.
Color	Sensación y experiencia del usuario, ya sea calidez o frialdad. Los colores atraen la atención, son el portador de significados y provocan en el observador emociones y asociaciones.	Color que evite el cansancio a la vista, con acabados mate que no permitan la reflexión de la luz.
Forma	Adecuada a la anatomía del usuario y a la lógica de uso, manejo y control de la herramienta.	El perímetro total de la herramienta no debe superar la circunferencia generada al momento de unir el dedo índice con el pulgar.
Textura	No muy pronunciada para facilitar la limpieza. (Rodríguez, 1983)	Indicar puntos de agarre, apoyo, control de la pieza, agradables al tacto.

Tabla 7 Requerimientos formal-estéticos

REQUERIMIENTOS ERGONÓMICOS

La adecuada relación dimensional entre el producto y el usuario.

En el área de perfilado en Europlast la actividad es realizada únicamente por mujeres - Las empleadas del área están entre los 30 y 50 años - Para el dimensionamiento de la propuesta se usarán medidas antropométricas de mujeres en Colombia. -Las medidas serán expresadas en (mm). -Se usará el percentil 50 para asegurarse que una mayor cantidad de usuarios puedan tener una buena maniobrabilidad de la herramienta.



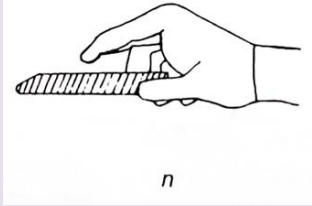
Las empuñaduras deben ajustarse al uso y al movimiento de la mano, y todas las empuñaduras deben sentirse cómodas, usar formas redondeadas y empuñaduras cilíndricas. Agarrar objetos que son demasiado grandes se siente inseguro. Un diámetro de 22-32 mm es el rango óptimo. (Department of Defense USA, 1999)

- 31. Anchura muñeca: 4.9mm
 - 32. Anchura de mano: 7.4mm
 - 39. Largura de mano: 16.6mm
 - 40. Largura palma de mano: 9.2mm
 - 54. Perímetro de la muñeca: 14.5mm
 - 55. Perímetro metacarpiano: 17.9mm
- (R. Avila Chaurand, 2007)

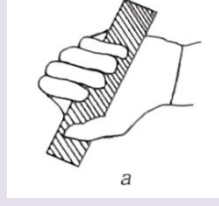
Ilustración 16 Requerimientos ergonómicos

REQUERIMIENTOS ERGONÓMICOS

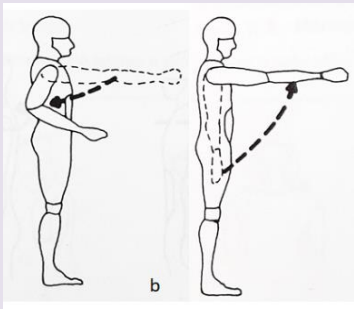
Para que la herramienta tenga una correcta aplicación de las leyes que rigen el movimiento del cuerpo, es necesario considerar la forma como se acomoda el trabajador a la herramienta, con el estudio de la acción que ejercen los aspectos físicos y mecánicos sobre el cuerpo humano al remover la rebaba.



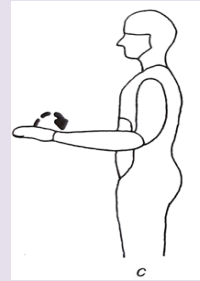
n. Empalmación: Este es el agarre ideal de la herramienta. (Estrada, 2011)



a. Prensión: Este agarre también es permitido para ciertos ángulos y movimientos para retirar la rebaba. (Estrada, 2011)



b. Proyección y retroyección: El movimiento del brazo va de atrás hacia adelante y viceversa constantemente para seguir la forma de la suela. (Estrada, 2011)



c. Pronación: el usuario tiene un movimiento del antebrazo donde sujeta la herramienta con la palma de la mano mirando al suelo. (Estrada, 2011)

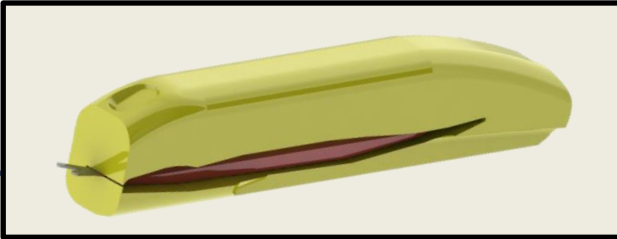
Ilustración 17 Requerimientos ergonómicos 2

Condiciones del objeto

La herramienta debe tener un peso adecuado para un uso prolongado en una jornada de trabajo de 8 horas con pausas, por lo que se tiene en cuenta que cuando una persona está sometida a una carga significa que debe ser capaz de activar su propio peso y la carga en mención; (Estrada, 2011) esta persona estará sometida una carga mayor mientras mayor es el peso soportado, por lo tanto, uno de los criterios de selección entre las alternativas es la herramienta con menor peso.

Diseño de las alternativas

Teniendo en cuenta los resultados del objetivo 1, 2 y requerimientos se procede a diseñar. Las propuestas mostradas a continuación son el producto de la unión de los criterios anteriormente mencionados, como un peso cercano a la solución actual, el diámetro de la herramienta manteniéndose entre 22 y 32mm, además de contar con un diseño acoplado a las medidas antropométricas del usuario. Se realizó un análisis comparativo de fabricación en PLA y ABS ya que cada material requiere distintas especificaciones de equipo, material de soporte y consumo eléctrico, esto genera variaciones en el precio de la impresión 3D del modelo. Las dimensiones mencionadas pueden ser vistas en detalle Ver anexos 6,7,8,9,10 y 11 en los planos de las alternativas y cuchillas. Es importante mencionar que para la alternativa 1 se utilizó de base el diseño de un bisturí STANLEY con el fin de mostrar una opción con un diseño aproximado al disponible en la industria.



ALTURA: 31 mm

ANCHO: 19 mm

LARGO: 152,42 mm

PESO: 101,39 g

MATERIAL ABS

Equipo	Valor (COP)	Cantidad
ABS M30	2,226	67,322 g
Material Soporte	1,484	6,918 g
Consumo eléctrico	522,53	30,855 kWh

Costo ABS: 176,299 COP



Cuchilla-Material AISI 316L

ALTURA: 7,33 mm

ANCHO: 8 mm

LARGO: 133,65 mm

PESO: 2 g

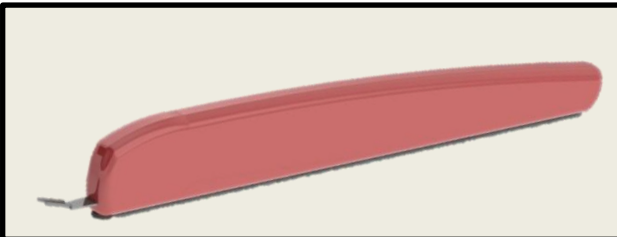
MATERIAL PLA

Equipo	Valor (COP)	Cantidad
PLA	83.00	39 g
Consumo eléctrico	522,53	0,54 kWh

Costo PLA: 3,519 COP

Descripción: El modelo cuenta con una cavidad lateral donde se posiciona el quitacutícula convencional, mejorando el agarre de la herramienta actual esto con el objetivo de reducir el estrés sobre la articulación de la muñeca.

Ilustración 18 Descripción Alternativa 1 Cotización costo ABS y PLA Anexo 12 y 13.



ALTURA: 21,58 mm

ANCHO: 8 mm

LARGO: 155,86 mm

PESO: 22,93 g

MATERIAL ABS

Equipo	Valor (COP)	Cantidad
ABS M30	2,226	23,415 g
Material Soporte	1,484	3,777 g
Consumo eléctrico	522,53	15,427 kWh

Costo ABS: 65,806 COP



Material HSS s600

ALTURA: 3,49 mm

ANCHO: 4 mm

LARGO: 22,54 mm

PESO: 0,31 g

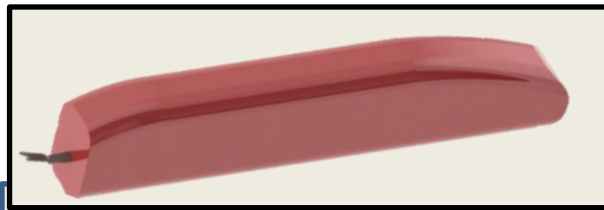
MATERIAL PLA

Equipo	Valor (COP)	Cantidad
PLA	83.00	16 g
Consumo eléctrico	522,53	0,36 kWh

Costo PLA: 1,516 COP

Descripción: El prototipo cuenta con una ranura frontal donde se posiciona la cuchilla y es asegurada desde la parte inferior con un tornillo brístol que aprieta la cuchilla.

Ilustración 19 Descripción Alternativa 2 Cotización costo ABS y PLA Anexo 12 y 13.



ALTURA: 31 mm

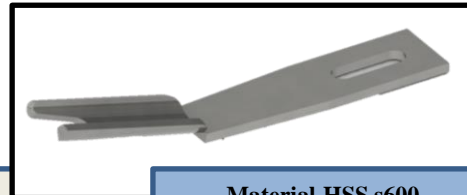
ANCHO: 19 mm

PESO: 77.24 g

MATERIAL ABS

Equipo	Valor (COP)	Cantidad
ABS M30	2,226	76,426 g
Material Soporte	1,484	6,918 g
Consumo eléctrico	522,53	30,855 kWh

Costo ABS: 196,571 COP



Material HSS s600

ALTURA: 3,49 mm

ANCHO: 4 mm

LARGO: 22,54 mm

PESO: 0,27 g

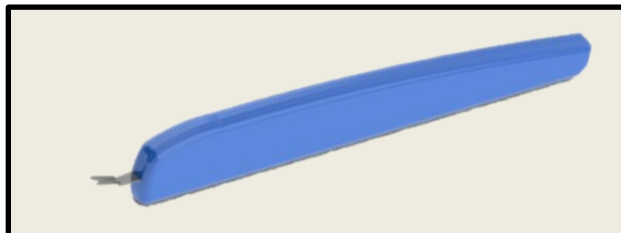
MATERIAL PLA

Equipo	Valor (COP)	Cantidad
PLA	83.00	41 g
Consumo eléctrico	522,53	0,54 kWh

Costo PLA: \$3,685

Descripción: El prototipo es una variación del bisturí profesional Stanley, en esta se creó una cabeza móvil que debe ser retirada para remover e instalar una nueva cuchilla, se desplaza la punta de manera diagonal hacia arriba empujando las dos piezas y se podrá poner la cuchilla en una ranura con la forma del agarre de la cuchilla.

Ilustración 201 Descripción Alternativa 3 Cotización costo ABS y PLA Anexo 12 v 13.



ALTURA: 21,58 mm

ANCHO: 8 mm

LARGO: 155,86 mm

PESO: 23.37 g

MATERIAL ABS

Equipo	Valor (COP)	Cantidad
ABS M30	2,226	23,415 g
Material Soporte	1,484	3,795 g
Consumo eléctrico	522,53	15,427 kWh

Costo ABS: 65,833 COP



Material HSS s600

ALTURA: 3,49 mm

ANCHO: 4 mm

LARGO: 22,54 mm

PESO: 0,27 g

MATERIAL PLA

Equipo	Valor (COP)	Cantidad
PLA	83.00	39 g
Consumo eléctrico	522,53	0,54 kWh

Costo PLA: 1.433 COP

Descripción: Este modelo se diseña a partir de las medidas antropométricas de los usuarios de EUROPLAST, cuenta con una cabeza móvil que se retira deslizando la cabeza sobre la cuchilla hacia la parte superior de la herramienta, lo que libera a la cuchilla y permite su fácil remoción y reemplazo.

Ilustración 23 Descripción Alternativa 4 Cotización costo ABS y PLA Anexo 12 y 13.

Análisis Alternativa 2

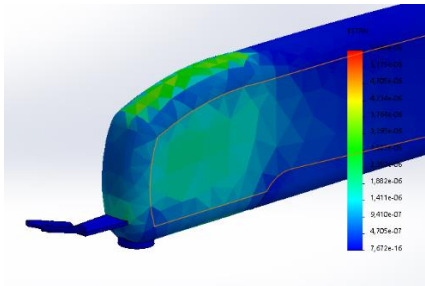


Ilustración 24 ESTRN Alternativa 2

ESTRN-Deformación unitaria

En la Ilustración 24 se puede ver las zonas donde la mano va a ejercer fuerza sobre la herramienta, las zonas que se encuentran de color verde reflejan la deformación que podría presentar la alternativa y se ve que no logra deformarse con una fuerza de aprieta de 48.9N.

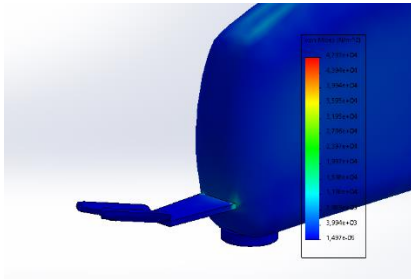


Ilustración 25 Tensión de von mises Alternativa 2

Tensión de Von Mises

En la Ilustración 25 se evidencia el punto más débil del diseño de la herramienta el cual sería la coyuntura entre la cuchilla y el borde del mango, esto debido a la fuerza que ejerce la rebaba sobre la cuchilla, sin embargo, este punto crítico no se encuentra en rojo lo que significa que no habría ruptura con la fuerza ejercida por la mano del operario y la resistencia que genera la rebaba al ser cortada.

Análisis Alternativa 4

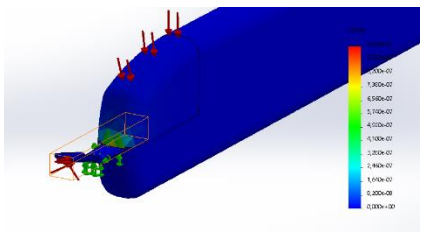


Ilustración 26 ESTRN Alternativa 4

ESTRN-Deformación unitaria

En la Ilustración 26 se evidencia la gran deformación que llegaría a tener esta alternativa ya que lo que mantiene a la cuchilla en su lugar es una parte móvil que se puede remover, se evidencia en la zona amarilla la amplia deformación que podría llegar a tener frente a una fuerza aplicada de formar prolongada sobre esta zona.

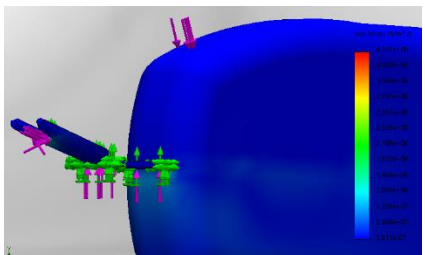


Ilustración 27 Tensión de Von mises Alternativa 4

Tensión de Von mises

En la Ilustración se evidencia un ligera desprendimiento entre la tapa y el mango, es el punto más débil de la alternativa 4, sin embargo al estar sometida a una fuerza media de 111bf la herramienta no presentaría afectaciones, sólo una fuerza superior a 11Lbf aplicada en el eje “y” de forma ascendente podría separar con facilidad la cuchilla del mango desprendiendo la tapa, ya que esta es removible.

Los análisis de fuerzas sobre las alternativas más económicas que cumplen con los requerimientos de diseño de la herramienta evidencian que soportarían las fuerzas a las que estarán sometidas en la tarea de remoción de la rebaba. Los puntos anteriormente mostrados, en la alternativa 2, demuestran los puntos donde se ejerce la fuerza al realizar la tarea, comprobando que la herramienta no sufriría rupturas, ya que el sistema de sujeción de la cuchilla a través de un tornillo refuerza y mantiene la posición de la cuchilla en el mango, contrario a la simulación de la alternativa 4 que demuestra que el punto crítico del diseño se encuentra en la forma en que se ajusta la cuchilla al mango, que aunque no muestra ruptura si evidencia una deformación considerable en el análisis de Von Mises,

adicional la simulación no muestra que la tapa, la cuchilla y el mango se separan al aplicar la fuerza de 48.9N, pero es posible que con una fuerza mayor la tapa sufra una ruptura y la cuchilla se salga de su posición.

Resultados

Con las pruebas de las simulaciones y los costos de impresión, se escoge la alternativa 2 junto con el rediseño de la cuchilla como la mejor opción para implementar en la tarea corte de rebaba en la empresa Europlast S.A.S. En la siguiente tabla comparativa de resultados se muestra la herramienta actual y el prototipo escogido, mencionando las diferencias respecto a la cuchilla, mango y dimensiones de la propuesta a implementar, seguido a la tabla se muestra una vista de cómo se vería el prototipo en la mano de un posible usuario.

Es posible ver la simulación en video de la herramienta en uso. Ver Anexo 16.


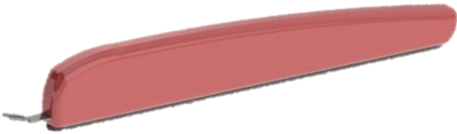

	Herramienta actual	Herramienta propuesta
		
Cuchilla	El quitacutícula tiene una cuchilla en forma de “Y” que permite posicionar la rebaba en medio de la herramienta dando un excelente resultado de corte, sin embargo, la cuchilla de la herramienta al ser de AISI 316L con una dureza de 8HRC tiene una vida útil de 960 minutos, equivalente a dos días de trabajo en turnos de 8 horas, es importante resaltar que debe afilarse cada 120 minutos de uso continuo.	Se decide mantener la forma en “Y” de la herramienta actual ya que permite mantener los estándares de calidad propuesta por Europlast pero utilizando un nuevo material. Se escoge el HSS 600s con una dureza de 62 HRC con una vida útil de 140.595 minutos equivalente a 292 días de trabajo con jornadas de 8 horas, es importante que en este tiempo no se necesitaría afilar la herramienta. 
Mango	El mango de la herramienta está diseñado para realizar el corte de la cutícula de las uñas en entornos como lo son los salones de belleza, esta echo de un plástico, color rojo traslucido. La vida útil del mango es superior a la de la cuchilla, pero al no tener la posibilidad de intercambiar la hoja de corte cuando su vida útil termina, debe desecharse en su totalidad.	Se propone la impresión en 3D en PLA del mango, este material en comparación con el ABS-M30, se caracteriza por ser de bajo costo, un indicador de HDT menor lo que significa menor temperatura requerida para imprimir, adicional este material tiene buena resistencia a la tracción y su resistencia es superior a la ejercida en la tarea de corte de rebaba.
Requerimientos	La herramienta actual tiene un diseño con las siguientes dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> - Altura: 7,33 mm - Ancho: 8 mm - Largo 133,65 mm - Peso: 2 g 	La herramienta propuesta tiene un diseño de las siguientes dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> - Altura: 21,58 mm - Ancho: 8 mm - Largo 155,56 mm - Peso: 22, 93 g

Tabla 8 Comparación herramientas



Ilustración 28 Simulación de la alternativa 2

Medición de impactos

Impacto			
Financieros	Ambientales	Sociales	Operacionales
<p>La herramienta actual tiene un costo de 1.500 COP y en un año se requieren 122 quitacutículas, esto se traduce en un costo de 186.000 COP. La estación cuenta con 6 operarios dispuestos para la tarea, es decir, en total se requieren 732 quitacutículas al año, con un costo total de 1,098.000 COP. La nueva cuchilla tendría una vida útil antes de necesitar ser afilada de 140.595 minutos alrededor de 292 días, teniendo en cuenta que la jornada de trabajo es de 8 horas diarias. El costo de la cuchilla propuesta es de 40.000 COP más el costo de la impresión del mango con un precio de 1,516 COP para un total de 41,516 COP. Al año solo se requerirán 6 herramientas con un precio total de 249,096 COP esto representa un ahorro de 73,2% en el costo de las herramientas requeridas para el perfilado.</p>	<p>Actualmente Europlast desecha 732 quitacutículas al año que representan cerca de 1,6 Kg de desechos no recuperables, con un volumen cercano a 5955cm^3 de residuos que ya no serán desechados, ya que los desperdicios anuales de la herramienta propuesta son cerca de 12 gramos de las 6 cuchillas que se desgastan en un año, debido a que el mango del prototipo no se desecha y puede ser reutilizado cambiando la cuchilla.</p>	<p>Los usuarios de la herramienta actual utilizan un agarre cuadrípode, se propone un cambio a un agarre de empalmación lo que permitirá al usuario seguir realizando la tarea con fluidez y precisión de una forma más cómoda. El prototipo seguirá siendo de color rojo, lo que le permite al usuario seguir con la adaptación visual a la herramienta actual. Adicional el prototipo cuenta con su respectivo manual ilustrado, que le permite al usuario entender de forma gráfica el uso de la herramienta.</p>	<p>En la operación actual no se tiene un tiempo estimado de la duración del afilado para la cuchilla, pero esta tarea es realizada 4 veces al día, el tiempo que les toma esta actividad, aunque es variable, será convertido en tiempo operacional.</p>

Tabla 9 Medición de impactos

Limitaciones

La aparición del COVID-19 y la emergencia sanitaria en Colombia fue la principal limitante del trabajo desarrollado, ya que el cierre de los establecimientos comerciales limitó las opciones al momento de proveedores que fabricaran la cuchilla, adicional la vida útil de la herramienta fue comprobada de forma teórica pero debido a la contingencia no fue posible hacer más pruebas con el material. El contacto con el usuario final fue limitado, es por esto por lo que se utilizó una referencia para las medidas antropométricas de la población de mujeres colombianas sin

embargo el proyecto muestra las medidas requeridas en caso de querer hacer una aproximación a las medidas antropométricas de los trabajadores de Europlast.

Conclusiones

- Después de realizar el análisis de las opciones en el mercado para la elección del material y realizar las pruebas teóricas al material HSS s600, junto con el análisis del comportamiento del material utilizado en las suelas TR (Thermo Robbet) se logró determinar que la vida útil de la cuchilla pasaría de 2 días a 294 días; esto representa para Europlast un ahorro del 73,2%, y aumentar su tiempo productivo ya el mantenimiento de la cuchilla nueva no requiere afilado cada 2 horas de uso.

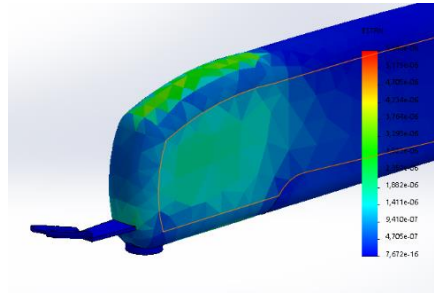


Ilustración 21 Análisis de esfuerzos alternativa 2

- El análisis de las medidas antropométricas de la población femenina colombiana y los requerimientos de diseño propuestos, permitieron llegar a una solución que proporciona al usuario un agarre ergonómico de la herramienta y que seguirá contribuyendo al esfuerzo de Europlast por mantener a sus operarios seguros. Adicionalmente el diseño del mango que permite el intercambio de cuchillas representa una disminución de los desechos generados por la herramienta actual en un 99,2%, ya que el mango es reutilizable. El resultado se ve en la Ilustración 29.

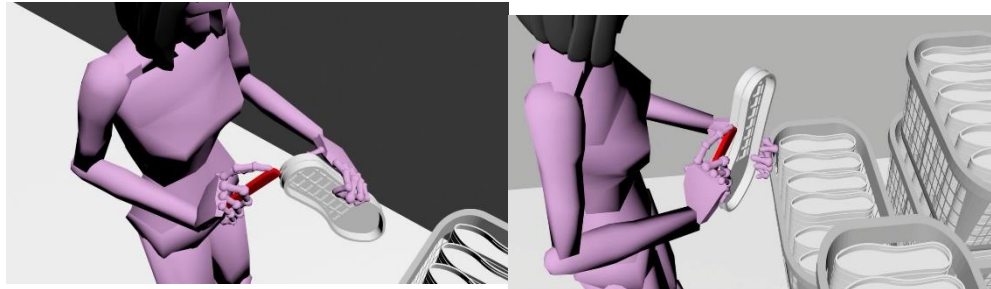


Ilustración 30 Simulación de agarre

El diseño a través de la herramienta CAD Solid Works permitió verificar el diseño, ya que el software muestra que el diseño de la alternativa escogida con los parámetros del material PLA, cuchilla en HSS s 600 y una fuerza máxima aplicada de 48,95N, el diseño resistirá la uso que demanda la tarea Ver Ilustración 21 la herramienta no demuestra deformaciones ni daños con el uso.

Recomendaciones.

Se recomienda la alternativa de realizar herramientas personalizadas para cada operario, ya que al ser 6 personas dispuesta para esta tarea, es posible con la información del trabajo recopilar las medidas antropométricas necesarias y modificar el diseño antes de imprimirlo, esto para aumentar la comodidad del usuario. También se recomienda buscar posibles proveedores para la fabricación de la cuchilla, sería posible generar un arreglo ya que se estaría presupuestando la fabricación de 6 cuchillas lo que podría generar un mejor precio por unidad. Si se cuenta con un presupuesto para el desarrollo del proyecto se recomienda explorar la opción de realizar el desarrollo del mango de la herramienta en el material ABS y utilizar una cuchilla con una aleación de acero más resistente. Se considera

importante seguir con las pruebas prácticas de la cuchilla, donde se utilizó con el usuario final y en la tarea, para lograr determinar la duración máxima de la herramienta.

Referencias

- ACICAM. (17 de 6 de 2019). *Asociación Colombiana de Industriales del Calzado, el Cuero y sus Manufacturas*. Obtenido de <https://acicam.org/download/como-va-el-sector-diciembre-2018/>
- Akao, Y. (1993). *Despliegue de Funciones de Calidad (QFD)*. Tokyo: Yōji Akao .
- AMP Moulds. (7 de Agosto de 2020). *Moldes AMP*. Obtenido de <http://www.ampmoulds.com/moldes-suelas/>
- Barrera, A. G. (2015). *Determinación de duración de herramientas de torno*. Sevilla: Dpto. Ingeniería Mecánica y Fabricación Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla.
- Dassaults systems. (18 de 07 de 2020). *SolidWorks Help*. Obtenido de http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Dialog_Box_Help/Pop-ups/Strain_Components.htm
- Department of Defense USA. (1999). *Design Criteria Standard*. Obtenido de <http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1400-1499/download.php?spec=MIL-STD-1472F.027465.pdf>
- Estrada, J. (2011). *Ergonomía 3*. Edición. Medellín: Universidad de Antioquia.
- First Instruments. (2018). *firstinstruments.com*. Obtenido de http://www.firstinstruments.com/products.php?catid=1213&catname=NAIL%20PUSHERS%20&category_page=4
- FusedForm STD. (Abril de 2020). *Fused Form*. Obtenido de <https://fusedformcorp.com/impresoras-3d/impresora-3d-doble-extrusor-ffstd/>
- Gillespie, L. K. (2006). Your Burr Technology Efforts Changed the World. *Proc. 8th Int. Deburring Surf. Finish. Conf.*, 1-37.
- H. Akiyoshi, E. H. (2014). Peak power shaving of an electric injection molding machine with supercapacitors. *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 50, pp. 1114–1120.
- L. N. López de Lacalle, J. A. (2004). *Procesos de Arranque*.
- Lizeth Muñoz Jashimoto, E. d. (2009). FUERZA MÁXIMA DE AGARRE CON MANO DOMINANTE Y NO. *XV CONGRESO INTERNACIONAL DE ERGONOMÍA SEMAC*.
- Mexpolimeros. (17 de 06 de 2020). *mexpolimeros.com*. Obtenido de <https://www.mexpolimeros.com/tr.html>
- Museo Histórico Nacional de Chile. (26 de 08 de 2019). *mhn*. Obtenido de <https://www.patrimoniocultural.gob.cl/portal/Contenido/Colecciones-digitales/2606580:Historia-del-calzado-en-latinoamerica-y-Chile>
- Pontificia Universidad Javeriana. (2019). *javeriana.edu.co*. Recuperado el Abril de 2020, de <https://www.javeriana.edu.co/blogs/ctai/>
- R. Avila Chaurand, L. P. (2007). Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana : México, Cuba, Colombia, Chile. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Rodriguez, G. (1983). *Manual de Diseño Industrial*. Naucalpan, Edo. De México: G. Gil, S.A. de C.V., México.
- Servicio Nacional De Aprendizaje (SENA). (1995). *Afilado de herramientas*. Obtenido de Repositorio Sena: http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/1170
- STANLEY. (2019). *Stanley Tools global*. Recuperado el Abril de 2020, de https://co.stanleytools.global/es/category/Hand_Tools_Knives_Blades
- Stratasys. (2020). *Stratasys*. Recuperado el Abril de 2020, de <https://www.stratasys.com/3d-printers/fortus-380mc-450mc>