

**FUERZA EJERCIDA AL REALIZAR EL GESTO DE APREHENSIÓN EN
HERRAMIENTAS MANUALES DE CORTE DE FLORES**

PABLO ANDRÉS ARENAS MORANTES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2018

**FUERZA EJERCIDA AL REALIZAR EL GESTO DE APREHENSIÓN EN
HERRAMIENTAS MANUALES DE CORTE DE FLORES**

PABLO ANDRÉS ARENAS MORANTES

Trabajo de Grado para Optar el título de Diseñador Industrial

Directora

D.I. MARÍA FERNANDA MARADEI GARCÍA

Doctora en Ingeniería Línea Ergonomía

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2018

*A mi madre mi motor de vida,
mi familia y amigos quienes
me apoyaron y acompañaron
en este proceso.*

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	17
1.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1 REVISIÓN SOBRE EL SÍNDROME DEL CONDUCTO CARPIANO.	20
2.2 REVISIÓN SOBRE LA SINTOMATOLOGÍA EN EL SECTOR FLORICULTOR	23
2.3 REVISIÓN DEL MERCADO ACTUAL	25
2.4 ANTECEDENTES DE LA SITUACIÓN DE ESTUDIO	28
2.5 HERRAMIENTA DE ESTUDIO DISEÑADA POR EL GRUPO “GEPS”	32
3. METODOLOGÍA	35
3.1 ETAPA 1. REDISEÑO	35
3.1.1 Fase 1. Proceso creativo.	35
3.1.2 Fase 2. Permisos	35
3.1.3 Fase 3. Prototipo funcional.	35
3.2 ETAPA 2. RECOLECCIÓN DE DATOS.....	35
3.2.1 Fase 4. Pruebas de la herramienta de corte propuesta.	35
3.3 ETAPA 3. ANÁLISIS Y DOCUMENTACIÓN.....	36
3.3.1 Fase 5. Análisis e interpretación de datos.	36
3.3.2 Fase 6. Documentación.	36
4. ETAPA DE REDISEÑO	37
4.1 CUCHILLAS Y PIEZAS METÁLICAS.	37
4.2 INTERVENCIÓN FORMAL DEL MANGO DE LA HERRAMIENTA	40

4.2.1 intervención del mago.....	41
4.2.2 Ensamblaje de las piezas.	43
4.2.3 Peso de la herramienta.....	45
4.2.4 Seguro	47
4.3 MODELADO 3D.....	48
4.4 ANÁLISIS POR COMPONENTES	49
4.4.1 DFA Y DFM.....	50
4.4.2 Caracterización	52
4.4.3 Eficiencia del diseño	53
4.4.4 Optimización según el método Lucas.	55
5. VERIFICACIONES.....	61
5.1 SELECCIÓN DEL ÁNGULO DE CORTE.....	61
5.1.1 Características de la prueba.	61
5.1.2 Resultados de la prueba de verificación de ángulos.....	63
5.2 ANÁLISIS CAE	65
5.3 EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN DE CORTE.....	68
5.3.1 Características de la prueba.	68
5.3.2 Resultados de la prueba de verificación función de corte.....	70
6. PRUEBA DE VALIDACIÓN.....	77
6.1 CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO DE VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA.....	77
6.1.1 Participantes.	77
6.1.2 Criterio de selección de los participantes.....	77
6.1.3 Entorno.	78
6.1.4 Instrumentos o técnicas de recopilación de datos	78
6.2 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA.....	80
6.2.1 Objetivo.....	80
6.2.2 Variables controladas.	80
6.2.3 Variables independientes y dependientes.....	81
6.2.4 Materiales y métodos.....	82

6.2.5 Duración de la prueba.....	83
7. RESULTADOS.....	84
8. CONCLUSIONES	87
9. RECOMENDACIONES.....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	92
ANEXOS.....	97

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tijera de poda Chimikamasa PS8. PLUS-R	26
Figura 2. Tijera de corte Classic Gardenna	27
Figura 3. Herramienta de corte de flores desarrollada por el "CEE" de la Universidad Javeriana	28
Figura 4. Ubicación de cada uno de los dedos en una herramienta de 1er orden. Los dedos con mayor fuerza están más cerca del fulcro.	30
Figura 5. Fuerza de aprehensión máxima y mínima ejercida por los dedos índice, corazón y anular.	31
Figura 6. Herramienta ergonómica diseñada por el grupo GEPS registro de patente No. 160923.	32
Figura 7. Elementos del sistema de la herramienta del grupo "GEPS"	33
Figura 8. Ángulos aplicados a las cuchillas de la herramienta, observadas desde la vista superior (cuchilla móvil) y la vista lateral (cuchilla fija)	39
Figura 9. Representación formal de la herramienta diseñada, antes (Herramienta A) y después de la intervención (Herramienta B).....	41
Figura 10. Dimensiones de la mano (según la Norma DIN 33.402 segunda parte)	42
Figura 11. Forma inicial de los mangos superior e inferior de la herramienta diseñada por el grupo "GEPS"	44
Figura 12. Detalles de la intervención realizada en los mangos	45
Figura 13. Mango superior e inferior antes y después de la intervención	46
.....	46
Figura 14. Detalle de los seguros	48
Figura 15. Representación formal final del prototipo de la herramienta	49

Figura 16. Piezas y componentes del prototipo	52
Figura 17. Diagrama de eficiencia funcional según el método Lucas	54
Figura 18. Prototipo de prueba.	60
Figura 19. Participantes de la prueba de verificación	63
Figura 20. Análisis CAE del comportamiento de la herramienta	66
Figura 21. Análisis CAE del mango inferior	67
Figura 22. Posición brazo y elementos de la prueba (Flor, Hta A y Hta B)	70
Figura 23. Agarre correcto e incorrecto de las herramientas durante la prueba. ...	71
Figura 24. Relación de las herramientas en función de los gestos de aprehensión y eficacia.....	72
Figura 25. Comparación del funcionamiento de las herramientas en función, cortes fallidos y agarre incorrecto de la herramienta anterior (HTA A) y la actual (HTA B).	73
Figura 26. Comparación de Desempeño y herramientas A y B	74
Figura 27. Porcentaje de aceptación de la Herramienta propuesta.	76
Figura 28. Sistema de guantes de presión	79
Figura 29. Mapeo de presión en el software FSA 4.1	80
Figura 30. Distribución de los sensores según la palma de la mano	82
Figura 31. Comparación de las medianas en función del factor HTA y la presión de aprehensión (N) ejercida al cortar la flor.	86
Figura 32. Elementos de sistema propuesto de la herramienta	89
Figura 33. Análisis estático y DCL de cada uno de los elementos que conforman la herramienta actual.	90

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Nombre de las piezas de la Herramienta	34
Tabla 2. Dimensiones usadas para el rediseño del mango	43
Tabla 3. Recomendaciones del DFM y DFA contempladas en el rediseño de los mangos de la herramienta	51
Tabla 4. Materiales y procesos de los componentes de la Herramienta.....	53
Tabla 5. Componentes esenciales (A) y no esenciales (B).....	54
Tabla 6. Análisis de manipulación y alimentación.....	56
Tabla 7. Análisis de manipulación y alimentación.....	58
Tabla 8. Dimensiones antropométricas de las participantes de la prueba	62
Tabla 9. Registro de la presión ejercida por la mano al ejercer el gesto de aprehensión sobre la herramienta, según el ángulo de afilado de la cuchilla [N/cm ²].	63
Tabla 10. Registro de la fuerza de aprehensión durante el gesto, según el ángulo de afilado de la cuchilla.....	65
Tabla 11. Resultados auto reporte de satisfacción.	75
Tabla 12. Características de la variable independiente “Herramienta de corte”	81
Tabla 13. Protocolo para el procedimiento de la prueba.....	82
Tabla 14. Comparación de la presión (P) ejercida y el área (A) activada por la mano durante el gesto de aprehensión.....	85

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Propiedades físicas de los mangos.....	97
ANEXO B. Planos Técnicos.....	100
ANEXO C. Escalas de calificación del análisis de alimentación y ajuste según el método LUKAS.	104
ANEXO D. Autoreporte de satisfacción	107
ANEXO E. Consentimiento informado de la prueba de validación.....	108
ANEXO F. Identificación del factor crítico	110

RESUMEN

TÍTULO: FUERZA EJERCIDA AL REALIZAR EL GESTO DE APREHENSIÓN EN HERRAMIENTAS MANUALES DE CORTE DE FLORES*

AUTOR: PABLO ANDRÉS ARENAS MORANTES**

PALABRAS CLAVE: Síndrome del conducto carpiano (SCC); Floricultura; Herramienta de Corte; Trastornos musculoesqueléticos (TME).

Descripción.

Este trabajo busca evaluar la fuerza ejercida al realizar el gesto de aprehensión durante el uso de la herramienta de corte de flores diseñada por el grupo GEPS, con usuarios reales y en un contexto de uso real, en comparación con varias herramientas del mercado. La herramienta GEPS procura disminuir el riesgo de carga, asociado con la posibilidad de aparición de enfermedades como el síndrome del conducto carpiano. Esta enfermedad afecta a un gran porcentaje de la población, con una mayor incidencia en las mujeres dedicadas a la labor floricultora.

Para el desarrollo del proyecto se siguió una metodología de tres etapas que responden en primera instancia a la intervención formal de los mangos y de los aspectos técnicos identificados previamente en la herramienta, para concebir un prototipo funcional que permita ser sometido a pruebas de corte. En la segunda etapa se compara la fuerza ejercida por la herramienta diseñada por el grupo GEPS antes y después de la intervención realizada en la etapa anterior. Finalmente, la etapa de comparación entre la herramienta de corte propuesta y tres herramientas de corte de flores del mercado actual.

El proyecto propone nuevas mejoras en el diseño de la herramienta que permita reducir los esfuerzos en el gesto de aprehensión.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Directora: D.I. María Fernanda Maradei García, Doctora en Ingeniería Línea Ergonomía

ABSTRACT

TITLE: FORCE EXERCISED WHEN PERFORMING THE APPREHENSION GESTURE IN MANUAL CUTTING FLOWER TOOLS*

AUTHOR: PABLO ANDRÉS ARENAS MORANTES**

KEY WORDS: Carpal duct syndrome (SCC); Floriculture; Cutting tool; Musculoskeletal disorders (MSD).

Description

This work aims to evaluate the force exerted when making the gesture of apprehension during the use of a flower cutting tool designed by the group GEPS. This was done with real users and in a real context in comparison with several tools on the market. The GEPS tool seeks to reduce the burden of risk associated with the possibility of the onset of diseases such as carpal duct syndrome. This disease affects a large percentage of the population with a higher incidence in women engaged in floricultural work.

For the development of this project, a three-step methodology was followed in order to respond to different aspects. First, the formal intervention of the handles and the technical aspects previously identified in the tool to conceive a functional prototype that enables cutting tests. In the second stage, the force exerted by the tool designed by the GEPS group before and after the intervention carried out in the previous stage was compared. Finally, the comparison stage between the proposed cutting tool and the three flower cutting tools from the current market.

This project proposes new improvements in the design of a tool that allows to reduce the efforts in the gesture of apprehension.

* Degree work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Industrial Design. Director: D.I. María Fernanda Maradei García, PhD in Engineering Ergonomics Line

INTRODUCCIÓN

En Colombia el sector floricultor ocupa el segundo lugar en exportaciones agrícolas no tradicionales del país, con más de 300 cultivos ubicados en la Sabana de Bogotá, Cundinamarca, Antioquia y la región Centro Occidente del país¹. En este importante sector para la economía de Colombia, hay una prevalencia puntual de síntomas asociados a enfermedades como el síndrome del conducto carpiano (SCC); para el 2005 el 32% de la población padecía de esta patología².

La evidencia científica muestra que ésta patología está asociada a factores de riesgo de fuerza, postura y repetición³. Con base en esto, el grupo de investigación GEPS diseñó una herramienta que reduce el esfuerzo necesario para realizar el gesto de aprehensión y conservar la postura neutral de la muñeca; lo que permitió controlar así dos de los tres factores que influyen en la aparición del SCC. Sin embargo, se han identificado aspectos técnico funcionales en el diseño de la herramienta que afectan el corte, relacionados con: la ausencia de un tratamiento térmico del material, falta de un proceso tecnificado de los ángulos de las cuchillas y la indebida posición geométrica de las piezas para realizar la función de corte.

Teniendo en cuenta lo anterior se plantea el presente proyecto que busca rediseñar los aspectos identificados previamente en la herramienta, con el propósito de mejorar su funcionamiento, posteriormente evaluar con usuarios

¹ ASOCOLFLORES. Las flores colombianas se toman San Valentín. 2017. Disponible en: <http://asocolflores.net.co/comunicaciones/noticias/las-flores-colombianas-se-toman-san-valentin/104/1>

² MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, 1. Guía de atención basada en la evidencia para desórdenes musculoesqueléticos (DME) (GATISO-DME). Ministerio de la Protección Social. 2006

³ LUNA, J. Protocolos de intervención para la prevención de los desórdenes musculoesqueléticos de miembro superior y espalda en actividad de manufactura. 2011

reales y en contexto real la fuerza ejercida al realizar el gesto de aprehensión durante el uso de la herramienta de corte de flores diseñada por el grupo GEPS comparado con herramientas del mercado.

El presente trabajo se desarrolló siguiendo una metodología de tres etapas que responden en primera instancia a la intervención formal de los mangos y de los aspectos técnicos identificados previamente en la herramienta, para concebir un prototipo funcional que permita ser sometido a pruebas de corte. En la segunda etapa se compara la fuerza ejercida por la herramienta diseñada por el grupo GEPS antes y después de la intervención realizada en la etapa anterior. Finalmente, la etapa de comparación entre la herramienta de corte propuesta y tres herramientas de corte de flores del mercado actual.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia, uno de los padecimientos más incidentes en el sector de la floricultura es el síndrome del conducto carpiano que afecta alrededor de un 32,6% de la población que ejerce esta labor⁴, dicho desorden musculoesquelético es producto de los movimientos repetitivos y desgastantes de las manos, que al combinarse con la aplicación de fuerza, generan trastornos y lesiones que pueden perjudicar los demás miembros superiores. Los estudios muestran que el 85% de esta actividad se realiza manualmente con diferentes herramientas y el 80% de los trabajadores utiliza tijeras como su principal herramienta para la realización del corte⁵.

Lamentablemente las herramientas de corte utilizadas en el área de corte de flores en Colombia, poseen grandes diámetros de apertura. El estudio realizado por Quintana y Saavedra (2006) dio como resultado que actividades como el corte de tallos de flores requiere esfuerzos de hasta 16.6 Kg-f, equivalente a un 183% del esfuerzo recomendado⁶. Igualmente, las normas AFNOR X-35 establecen una relación entre la fuerza de aprensión y la frecuencia horaria, por ejemplo, para una repetición de 240 por hora, la fuerza máxima debe ser igual a 2 Kg-f, por encima de este valor el riesgo de aparición de patología se incrementa.

Teniendo en cuenta lo anterior, el grupo de investigación “GEPS” diseñó una herramienta manual de corte de flores con registro de patente NC 2016/0002349 que disminuye la fuerza de aprehensión ejercida por la mano durante el uso de la herramienta. Sin embargo, aunque las pruebas experimentales mostraron que

⁴ MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, Op. Cit.

⁵ PIÑEDA, A. E. El Túnel Carpiano : Riesgo ergonómico en trabajadoras de cultivo de flores. Ingeniería, Matemáticas Y Ciencias de La Información, 1, 15–24. 2014

⁶ SAAVEDRA, L., & QUINTANA, L. Análisis dinamométrico en herramientas de corte de rosas. 2009

dicha reducción se consigue, la herramienta presenta fallas técnico funcionales referentes a la ausencia de procesos mecánicos en las piezas metálicas como el tratamiento térmico del material, el rectificado de las superficies, el mecanizado de los ángulos idóneos para una herramienta de corte. Por tanto se pretende intervenirla para realizar un nuevo diseño, pero conservando sus características de diseño mecánico. Asimismo, se requiere nuevas pruebas experimentales con usuarios directos de la herramienta y en condiciones reales de la misma, es decir mujeres trabajadoras en el área de corte en floristerías de Bucaramanga.

En consecuencia, este proyecto busca realizar en una primera instancia el rediseño de algunos aspectos técnicos de la herramienta mencionados previamente, para luego proceder a validarla en trabajadores directos que realizan el corte de flores como parte de su actividad laboral. El proyecto va encaminado a responder la pregunta de diseño: ¿En qué porcentaje se disminuye la fuerza ejercida al realizar el gesto de aprehensión con la herramienta de corte de flores propuesta en el presente trabajo, en comparación con otras herramientas del mercado?

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar con usuarios reales en contexto real la fuerza ejercida al realizar el gesto de aprehensión durante el uso de la herramienta de corte de flores diseñada por el grupo GEPS comparado con herramientas del mercado.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Concebir una herramienta manual de corte de flores que considere mejorar los aspectos técnicos formales identificados previamente como aquellos que están afectando el funcionamiento de la herramienta actual diseñada por el grupo GEPS.
- Evaluar la eficacia del corte de la herramienta en términos del cumplimiento y del grado de cumplimiento de la función principal, en comparación con la herramienta actual diseñada por el grupo GEPS.
- Comparar la herramienta diseñada por el grupo GEPS con otras herramientas del mercado, en términos de fuerza ejercida durante el gesto de aprehensión.

2. MARCO TEÓRICO

A continuación, se realiza una breve descripción de los temas más relevantes para el desarrollo del proyecto, los cuales permiten comprender el problema planteado. En primer lugar, se hace una revisión del síndrome del conducto carpiano (SCC), características, patologías e incidencia en la población colombiana. En segunda instancia se profundiza la ocurrencia de ésta patología en el área de interés para éste estudio: la floricultura. Posteriormente se exponen algunas de las herramientas usadas en el sector floricultor y el mercado actual del país. Finalmente se muestran los antecedentes, estudios y pruebas preliminares de la situación de estudio abordada.

2.1 REVISIÓN SOBRE EL SÍNDROME DEL CONDUCTO CARPIANO.

Los desórdenes musculo esqueléticos (DME) comprenden una variedad de lesiones o trastornos en los cuales se ven implicados los músculos, nervios, tendones, ligamentos y articulaciones, asimismo se presentan con mayor frecuencia en miembros superiores. A lo largo del tiempo, la comunidad científica ha determinado que este tipo de lesiones son producto de la presencia de tres factores, entre los cuales se encuentran el mal manejo de las cargas, los ciclos de movimientos realizados en periodos de tiempo, y el uso de posturas penosas en el área de trabajo⁷, aumentando la gravedad del trastorno a medida que estos factores se combinan unos con otros. Del mismo modo, pueden influir demás elementos presentes en el espacio de trabajo, como la exposición a vibraciones,

⁷ LUNA, Op. Cit.

las variaciones de temperatura e incluso la presión ocasionada por tiempos regulados para las labores.

Respecto a lo anterior, se han realizado estudios por el ministerio de salud y protección social colombiano en el cual aseguran que para el año 2005 el síndrome del conducto carpiano (SCC) se consolidaba como la primera causa de enfermedades laborales en el país, ésta patología pasó de representar el 27% de todos los diagnósticos en el 2001, a representar el 32% de los diagnósticos realizados durante el año 2004⁸, por lo que se observa un continuo incremento de la cifra de casos. A su vez, según Fasecolda, en 2013 se registraron 10246 enfermedades laborales, de las cuales las lesiones musculo esqueléticas representan cerca del 90%, mientras que según los registros del 2004 la DME alcanzaba el 82% de diagnósticos, lo que significa que en un periodo de 8 años, el porcentaje de enfermedades derivadas de trastornos musculo esqueléticos ha aumentado progresivamente⁹.

Ahora bien, El SCC es uno de los padecimientos que hace parte del grupo de los desórdenes musculo esqueléticos, este tipo en específico consiste en una lesión que afecta a la mano y a la muñeca, y se deriva de la compresión del nervio medio en el túnel carpiano, formado por el retináculo flexor y los huesos del carpo¹⁰. Esta patología es considerada como la enfermedad profesional que se diagnostica con mayor frecuencia en el país.

Del mismo modo, respecto a la categorización de la población, el SCC es más frecuente en el sexo femenino en una relación de 7:1 con respecto a los hombres, el rango de edad en el cual suele manifestarse comprende desde los 35 años en

⁸ MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, Op. Cit.

⁹ Prevencionar. Enfermedades más comunes en los trabajadores Colombianos. 2015. Disponible en: <http://prevencionar.com.co/2015/10/07/enfermedades-mas-comunes-en-los-trabajadores-colombianos/>

¹⁰ AEFI. El Síndrome del Túnel de Carpo. 2015. Disponible en: <http://www.aefi.net/Fisioterapiaysalud/Sindrometuneldecarpo.aspx#laboral>

adelante¹¹, a pesar de que existen casos en los cuales se dan en una edad más temprana, la presencia del padecimiento se encuentra atado a la labor que realiza el trabajador. Las cifras en Colombia registran que cerca de 55 de cada 100 mil trabajadores son diagnosticados con enfermedades de este tipo¹².

El SCC se categoriza en dos tipos, el agudo y el crónico, el primero se deriva de efectos secundarios ocasionados por trastornos o lesiones pasadas en los huesos o articulaciones que conducen a la afectación del túnel carpiano, mientras que el segundo caso, hace referencia al padecimiento del SCC como el desencadenante de otros malestares transmitidos a lo largo de los demás miembros del tren superior del cuerpo. Respecto al segundo caso, este se ve influenciado según la vulnerabilidad a componentes externos en los cuales se encuentre el usuario, se registra incluso que las personas que realizan labores que incluyen movimientos repetitivos y persistentes tienen 5 veces mayor probabilidad a presentar SCC¹³.

La presencia del SCC es progresiva, lo que significa que comúnmente la aparición de sus síntomas no se da de manera inmediata, es un proceso paulatino que va apareciendo a medida que el trabajador reincide en los movimientos desencadenantes¹⁴. Los síntomas son el hormigueo, sensación de adormecimiento, hinchazón de la muñeca y dolores nocturnos en las manos, que dificultan o impiden el sueño y pérdida de destreza manual. También puede darse en actividades diurnas donde la mano se reseca y aumenta de temperatura por el

¹¹ PALENCIA SÁNCHEZ, F., GARCIA, O., & RIAÑO CASALLAS, M. I. Carga de la Enfermedad Atribuible al Síndrome de Túnel del Carpo en la Población Trabajadora Colombiana: Una Aproximación a los Costos Indirectos de una Enfermedad. *Value in Health Regional Issues*, 2(3), 381–386. 2013. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.vhri.2013.10.003>

¹² QUERVAIN, T. De. Las patologías por movimientos y esfuerzos de repetición: Informe para un daño anunciado ., 1–8. 1999

¹³ Ibid.

¹⁴ PALENCIA SÁNCHEZ, GARCIA, & RIAÑO CASALLAS, Op. Cit.

desequilibrio vasomotor. Por tanto, es considerada una enfermedad incapacitante, debido a que disminuye o anula la fuerza y la habilidad manual¹⁵.

2.2 REVISIÓN SOBRE LA SINTOMATOLOGÍA EN EL SECTOR FLORICULTOR

En lo que la floricultura respecta, Colombia ha consolidado este sector como uno de los medios de ingresos más importantes en cuanto a exportación, siendo el segundo exportador mundial de flores más importante representando cerca de un 80% de producción exportada. En el 2014 ésta actividad registraba alrededor de los 1374 millones de dólares en ventas correspondientes a las 222566 toneladas de flores producidas para 90 países¹⁶. En consecuencia, para 2017 se convierte en una de las áreas de la agricultura colombiana que más empleos formales genera; cerca de 130 mil contratos registrados, donde 36% son ocupados por hombres y 64% por mujeres¹⁷.

Así mismo, en Colombia existen 6016 hectáreas sembradas que requieren en promedio una mano de obra de 16 trabajadores por hectárea¹⁸ para suplir la creciente demanda de flores; en la semana de san Valentín, del 10 al 18 de febrero de 2017, se alcanzó los 225 millones de tallos¹⁹. Estos registros permiten inferir la cantidad de tiempo de trabajo que requiere dicho sector.

¹⁵ QUERVAIN, Op. Cit.

¹⁶ ASOCOLFLORES. Flor y cultura colombiana. Revista de La Asociación Colombiana de Exportadores de Flores, 6, 4. 2015

¹⁷ ASOCOLFLORES. 2017. Op. Cit.

¹⁸ VALERO, E. A., & REYES, K. C. de responsabilidad social corporativa del sector floricultor Markets for several decades 3UCH link with globalisation has placed sector entrepreneurs within a scenario which has led to frequent questioning and discussion concerning work and environmental. Innovar, 16, 73–90. 2006

¹⁹ ASOCOLFLORES. 2017. Op. Cit.

A pesar del éxito económico que constituye la producción y exportación de flores, esta área representa una de las actividades económicas más afectadas por el SCC, con un 32,6% de los casos, además estudios realizados por la Entidad Promotora de Salud Coomeva muestran que de 23000 trabajadores del sector se reportaron 661 casos, donde el 76% de éstos correspondieron a mujeres. Del mismo modo, la labor ejercida en el área floricultora se categoriza como una tarea repetitiva y de largo periodo de tiempo de trabajo, que genera una enfermedad multifactorial puesto que se origina tanto del excesivo movimiento de las manos, como de los largos periodos en que se realizan intervalos de pie y en cuclillas, añadiendo la aplicación de fuerza empleada²⁰.

Basándonos en los datos anteriores, el número de flores producido en la semana pico y número de trabajos registrados, se podría inferir que un operario realiza en promedio 247* operaciones de corte por día. Lo que indica que el factor repetitivo es uno de los más importantes a tener en cuenta en el padecimiento de dicha patología²¹. Sin embargo, como lo muestran las normas AFNOR X-35, la repetición está asociada a la fuerza, es decir que si esta última se mantiene en los niveles permitidos el factor de riesgo se mitiga (para 240 repeticiones debe estar por debajo de 2 Kg-f).

²⁰ PIÑEDA, Op. Cit.

* 247 operaciones Estimadas por día: Éste dato se calculó teniendo en cuenta el número de flores producido en la semana pico (225 millones) el cual se dividió entre el producto entre el número de trabajos registrados para el 2017: 130.000 (asumiendo que todos realicen operaciones de corte) y los 7 días de la semana.

²¹ GARCÍA, G., GÓMEZ, A., & GONZALEZ, E. Revisión y actualización Síndrome del túnel del carpo. *Morfología*, 3, 11–23. 2009

2.3 REVISIÓN DEL MERCADO ACTUAL

Ahora bien, en el análisis de lo existente se identifica que en el mercado actual existen herramientas para corte de flores de tipo manual; estas herramientas consisten en una palanca de primer orden, donde el Fulcro (punto de apoyo) se encuentra entre la potencia (punto donde se aplica la fuerza) y la resistencia. Este tipo de palancas aportan ganancia mecánica al aumentar una mínima fuerza aplicada en la potencia hasta la resistencia.

Las Tijeras para poda y corte de rosas CHIKAMASA - PS8-PLUS-R están diseñadas especialmente para el corte profesional de rosas, tiene un peso de 205 gr y posee ajuste preciso a la mano, las cuchillas están fabricadas de Acero al carbono de alta calidad. Del mismo modo la herramienta utiliza materiales de recubrimiento para dar una mejor protección y durabilidad a la herramienta, para esto, la cuchilla superior está recubierta con revestimiento de Flúor para protegerla de los residuos de la sabia de las plantas y la cuchilla inferior utiliza un recubrimiento electrolítico de níquel, mientras que las asas de la tijera están cubiertas de una resina elastómera. El esfuerzo de la mano durante el corte es minimizado por el efecto multiplicador de fuerza del mango y el juego de amortiguadores que absorben el impacto al final del corte. Como característica adicional la herramienta cuenta con un mecanismo de ajuste de la tuerca principal que impide que se desajusten las cuchillas²².

²² ACINDAR. Productos para la Industria. Miami. 2011. Disponible en: <http://www.acindar.com.ar/pdf/catalogo-industria-2011.pdf>

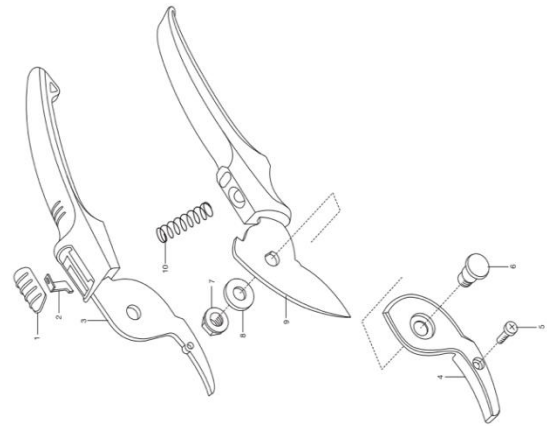
Figura 1. Tijera de poda Chimikamasa PS8. PLUS-R



Fuente: Flower Farm Depot. Disponible en: <http://www.flowerfarmdepot.com/>

La tijera para podar Classic GARDENA diseñada por la empresa *GARDENA*. Posee una forma que busca adaptarse a la forma de la mano empleando empuñaduras a partir de las normas ergonómicas. Las cuchillas de corte inclinado tienen un revestimiento antiadherente y un afilado de precisión. Las dos posiciones de agarre permiten un corte potente y rápido. Con el cierre de seguridad con una sola mano, las tijeras se pueden bloquear fácilmente y guardar con seguridad. Cortan ramas de un diámetro máximo de 18 mm.

Figura 2. Tijera de corte Classic Gardenna



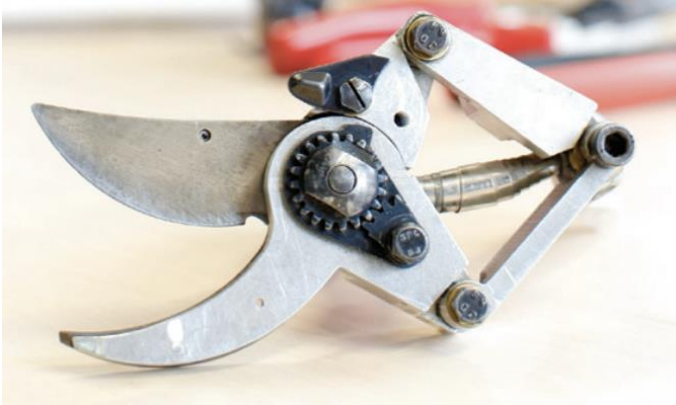
Fuente: Gardena. Disponible: <http://www.gardena.com/agr/>

Además de las formas tradicionales, se encontró que la universidad Javeriana intervino en el factor postural y de esfuerzos. El Centro de Estudios de Ergonomía (CEE) de ésta universidad fue el encargado del desarrollo de esta patente:

La invención se basa en un nuevo concepto en el que los elementos de corte se encuentran en el plano horizontal de la herramienta, mientras que los mangos que permiten sostenerla están en el plano vertical. Esto permite al trabajador mantener la muñeca recta al momento de cortar, disminuyendo así posibles lesiones y haciendo más productiva la labor²³.

²³ CEE, C. de E. de E. Universidad Javeriana obtiene nueva patente. Que Hay de Nuevo, 15. 2013

Figura 3. Herramienta de corte de flores desarrollada por el "CEE" de la Universidad Javeriana



Fuente: CEE, C. de E. de E. Universidad Javeriana obtiene nueva patente. Que Hay de Nuevo, 15. 2013

A pesar de que es posible encontrar en el mercado local gran variedad de herramientas que a través del diseño han abordado factores posturales con el fin de disminuir la incidencia del Síndrome del Conducto Carpiano, no se encuentran hasta el momento estudios que indiquen que el factor de la fuerza haya sido considerado.

2.4 ANTECEDENTES DE LA SITUACIÓN DE ESTUDIO

En un estudio previo realizado por el Grupo de investigación (GEPS), se analizó la relación entre la apertura de la herramienta y la fuerza máxima que ejerce cada dedo durante el gesto de aprehensión, así como también la relación entre la distancia a la cual se encuentra cada dedo respecto al fulcro en el desarrollo de ésta misma fuerza. Estos planteamientos permitieron comprender la dinámica del corte, con el ánimo de establecer criterios de diseño que ayuden a reducir la

incidencia del síndrome del túnel carpiano en operarios que realicen tareas repetitivas de corte manual²⁴.

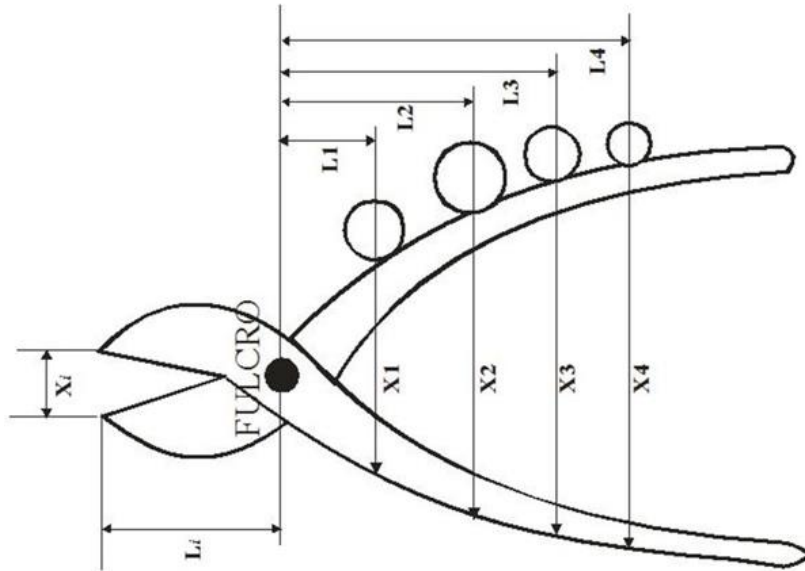
Dichos estudios evidenciaron que los dedos ejercen su fuerza máxima de aprehensión cuando los valores del diámetro son iguales para todos²⁵. Sin embargo, éste no es el caso de las herramientas usadas en el corte de flores, debido a su configuración formal de palancas de primer orden (ver figura 4); cada dedo realiza su fuerza máxima de aprehensión en diferentes instantes de tiempo, desaprovechando la capacidad biomecánica para generar fuerza durante el gesto de aprehensión²⁶. Estos hallazgos permitieron diseñar una nueva herramienta de corte con registro de patente NC 2016/0002349, que reduce el esfuerzo durante el corte de flores al considerar en el diseño tanto la ventaja mecánica como la ventaja biomecánica.

²⁴ MARADEI, M. F., ESPINEL, F., & GALINDO, Z. Manual tool grip span and grip force during flower cutting. *Archivos de Prevencion de Riesgos Laborales*, 17(4), 190–195. 2014. Disponible en: <https://doi.org/10.12961/aprl.2014.17.4.03>

²⁵ MARADEI GARCÍA, M. F., VALENCIA, A., & ESPINEL, F. Estudio sobre la influencia del diámetro de apertura en la fuerza ejercida por cada dedo, 18(6), 935–945. 2016

²⁶ Ibid.

Figura 4. Ubicación de cada uno de los dedos en una herramienta de 1er orden. Los dedos con mayor fuerza están más cerca del fulcro.



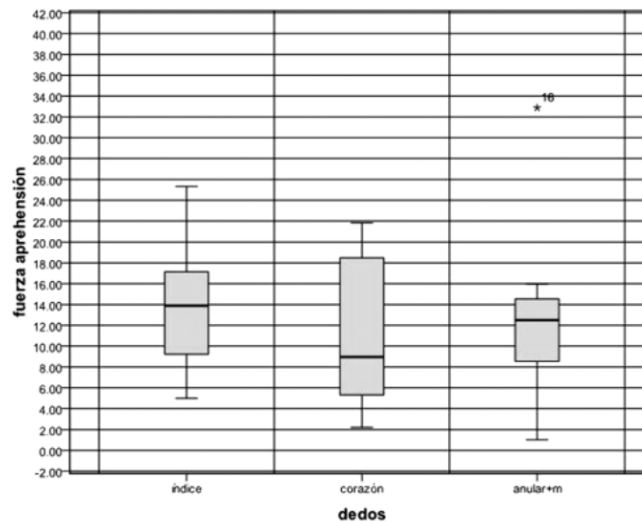
Fuente: MARADEI, M. F., ESPINEL, F., & GALINDO, Z. Manual tool grip span and grip force during flower cutting. Archivos de Prevencion de Riesgos Laborales, 17(4), 190–195. 2014. Disponible en: <https://doi.org/10.12961/apr.2014.17.4.03>

Para este estudio se utilizó una herramienta manual de corte tradicional, comúnmente utilizada en el sector floricultor colombiano (tijera) de longitud de asas 15 cm y diámetros máximo y mínimo de apertura 14 y 5 cm respectivamente. Con esta herramienta se midió la fuerza que ejercía cada dedo mientras realizaba el gesto de aprehensión, a su vez, se registró los valores de los picos máximos de la fuerza ejercida durante este movimiento.

En la figura 5 se evidencia que la fuerza máxima de aprehensión empleada para el corte de una flor, es diferente en cada uno de los dedos. A partir de esto, se pudo demostrar que el dedo índice es el que mayor fuerza ejerce 13,9 N, seguido del

dedo medio 11,55 N y finalmente el dedo anular junto el meñique** emplean 13,2 N. Sin embargo, según el análisis de varianza (ANOVA univariante)²⁷ realizado en el estudio, se corroboró que las diferencias entre la fuerza máxima ejercida de cada dedo ($p=0,868$) no son significativas, de igual manera, este resultado se confirma por el dato estadístico de Levene ($p=0,810$)²⁸.

Figura 5. Fuerza de aprehensión máxima y mínima ejercida por los dedos índice, corazón y anular.



Fuente: MARADEI, M. F., ESPINEL, F., & GALINDO, Z. Manual tool grip span and grip force during flower cutting. Archivos de Prevencion de Riesgos Laborales, 17(4), 190–195. 2014. Disponible en: <https://doi.org/10.12961/aprl.2014.17.4.03>

Por medio de los datos anteriores se pudo calcular el diámetro de apertura medio, teniendo en cuenta el pico máximo de la fuerza durante el gesto de aprehensión. Además se evidenció que es posible generar fuerza con una apertura menor en

** Se estableció estudiar los dedos anular y meñique, como una sola unidad debido a que son considerados dedos de control y no de fuerza

²⁷ MARTÍN-ALVAREZ, P. J. Capítulo 15 Análisis de varianza factorial El procedimiento Modelo lineal general: Prácticas de Tratamiento Estadístico de Datos Con El Programa SPSS Para Windows: Aplicaciones En El Área de Ciencia Y Tecnología de Alimentos, 1–36. 2006

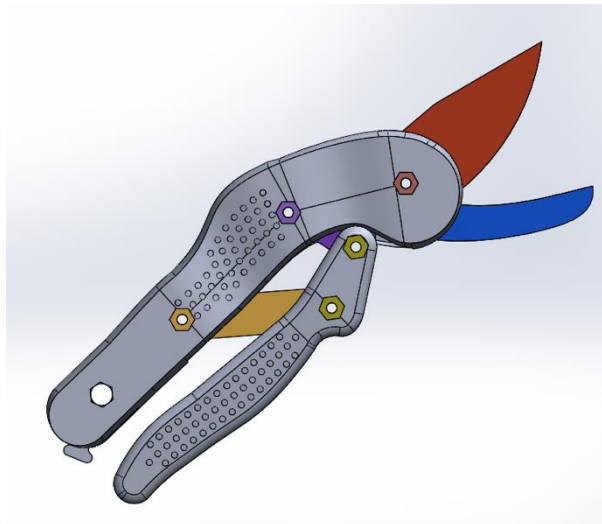
²⁸ MARADEI, ESPINEL, & GALINDO, 2014. Op. Cit.

comparación con el dedo medio; lo que probablemente se deba a que este último dedo es más largo que el dedo índice; aspecto que fue considerado en la etapa de diseño de la herramienta²⁹.

2.5 HERRAMIENTA DE ESTUDIO DISEÑADA POR EL GRUPO “GEPS”

El objetivo principal de la herramienta diseñada consiste en un mecanismo que conserva el diámetro de aprehensión de la mano y disminuye la fuerza ejercida por ella al realizar el movimiento de corte. Además, permite que los dedos conserven la curvatura descrita por las articulaciones metacarpo – falángicas de los dedos meñique, anular, medio e índice. La herramienta se basa en un sistema de cuatro barras (sistema de fuerza infinita) que permite aumentar la ventaja mecánica de la herramienta.

Figura 6. Herramienta ergonómica diseñada por el grupo GEPS registro de patente No. 160923.

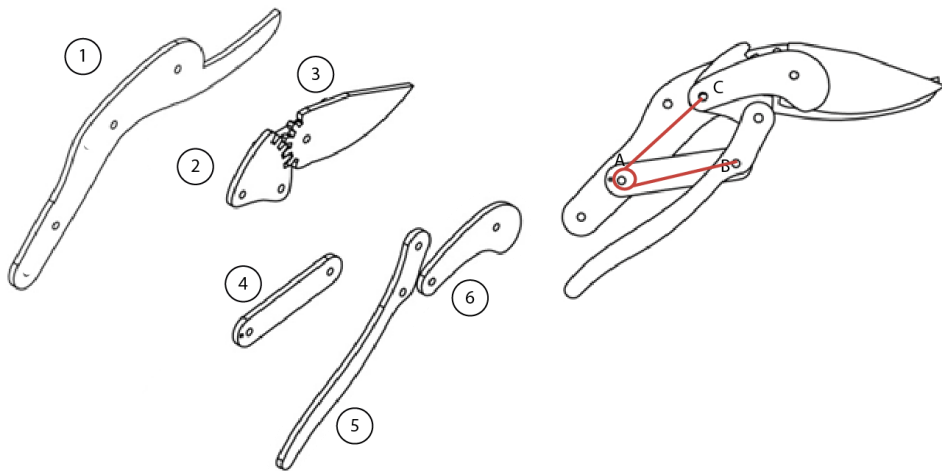


²⁹ *Ibíd.*

Fue diseñada con el fin de ejecutar el corte usando una sola mano y transmitir movimiento. En la figura 7 se muestran los elementos del sistema conformado por una primera palanca que en uno de sus extremos tiene una primera cuchilla, una segunda palanca que se une a través de una articulación de orificio a un elemento de transmisión de movimiento, el cual se encuentra acoplado a un elemento de corte por medio de dos engranajes, donde la primera palanca y la segunda palanca se unen por medio de un elemento de unión.³⁰

Para el retorno a su posición inicial se incorpora un resorte de torsión ubicado en el eje fijo C de la pieza de transmisión y el punto A de la primera palanca, o el elemento de transmisión de movimiento y la segunda palanca. Así, el movimiento de la segunda palanca trasmite la fuerza al elemento de transmisión de movimiento y este trasmite el movimiento al elemento de corte³¹.

Figura 7. Elementos del sistema de la herramienta del grupo "GEPS"



³⁰ MARADEI, M. F. Herramienta Corte de Flores - Texto Patente. Colombia. 2015

³¹ *Ibíd.*

Tabla 1. Nombre de las piezas de la Herramienta

PIEZAS HERRAMIENTA	
Pieza	Nombre
1	Palanca fija
2	Elemento de transmisión de movimiento
3	Elemento de corte
4	Elemento de unión
5	Segunda palanca
6	Elemento de sujeción
7	Resorte

Se debe resaltar que el grupo de investigación “GEPS” realizó pruebas experimentales con la herramienta diseñada, la cual mostró algunos problemas técnicos relacionados con la función de corte. Se detectó que la herramienta debía ser rediseñada respecto a las superficies de contacto entre las cuchillas debido a que éstas debían ser uniformes y paralelas; por otra parte, el material de la herramienta se encontraba sin refuerzo aplicado, por lo que era primordial realizarle un tratamiento térmico de templado del material con el fin de mejorar las propiedades mecánicas. Finalmente, los ángulos de corte de las cuchillas pueden ser mejorados para realizar un corte, puesto que la inclinación del ángulo variaba; ángulos diferentes y no uniformes.

La intervención de los problemas técnicos detectados en la prueba experimental se describen con más detalle en el capítulo 4 (Etapa de rediseño).

3. METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló siguiendo una metodología propuesta con tres etapas que responden a cada uno de los objetivos específicos planteados.

3.1 ETAPA 1. REDISEÑO

3.1.1 Fase 1. Proceso creativo. Contempla el rediseño de los aspectos técnicos formales detectados en la prueba piloto. Digitalización y simulación en paquetes CAD-CAE que permita evaluar el rediseño realizado en la herramienta. Formulación de los protocolos para la ejecución de la prueba.

3.1.2 Fase 2. Permisos. Contempla la gestión de documentos, alianzas y convenios con empresas dedicadas al corte de flores, donde se llevarán a cabo las pruebas experimentales.

3.1.3 Fase 3. Prototipo funcional. Contempla la fabricación de la herramienta de corte funcional de prueba (o prototipo de prueba) con las características formales, estructurales, técnicas y mecánicas del producto final.

3.2 ETAPA 2. RECOLECCIÓN DE DATOS

3.2.1 Fase 4. Pruebas de la herramienta de corte propuesta. Desarrollo del protocolo ejecución de la prueba con base en la pregunta de diseño, reclutamiento

de los participantes, realización de la prueba experimental, análisis estadístico de los datos.

3.3 ETAPA 3. ANÁLISIS Y DOCUMENTACIÓN

3.3.1 Fase 5. Análisis e interpretación de datos. Comprende el procesamiento de los datos recolectados en la fase anterior.

3.3.2 Fase 6. Documentación. Elaboración de informes

4. ETAPA DE REDISEÑO

El presente trabajo se desarrolló como una segunda fase del proceso de diseño de una herramienta de corte de flores diseñada por el grupo de investigación “GEPS”. En la primera fase se desarrolló un prototipo funcional que posteriormente fue sometido a una prueba experimental de verificación en el laboratorio “Human Factor” de la escuela de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander.

En la prueba experimental se detectaron algunos problemas técnicos y formales en la herramienta relacionados con la función de corte. A continuación, se presentan los aspectos identificados y la forma en como fueron intervenidos.

4.1 CUCHILLAS Y PIEZAS METÁLICAS.

Aspectos mal diseñados de la herramienta pueden afectar el funcionamiento de la misma, además afectan el rendimiento y la calidad del trabajo realizado³². En una primer indagación con un experto del sector técnico mecánico, el Ing. Carlos Robledo (Gerente de aceros especiales en Böhler Colombia S.A) el 21 de marzo de 2017, se logró identificar que los principales aspectos que afectan la función de corte de la herramienta son: la falta de tratamiento térmico del material, superficies de contacto no uniformes y paralelas y la ausencia de un proceso tecnificado en la asignación de los ángulos de corte de las cuchillas.

³² EDWARDS, R. Cutting Tools, 159–280. 1993

El proceso para corregir los problemas técnicos identificados durante la prueba de verificación experimental se realizó en tres etapas. La primera etapa consistió en aplicar un tratamiento térmico a las piezas metálicas, el cual consiste en someter las piezas a una serie de operaciones de calentamiento y enfriamiento con el fin de aumentar la dureza, resistencia, tenacidad y maquinabilidad del material³³. Para el caso particular de la herramienta diseñada, éste proceso se realiza para soportar el rozamiento superficial de las piezas, especialmente el ejercido entre las cuchillas. El proceso realizado en las piezas de esta herramienta se denomina temple, que consiste en calentar el metal a temperaturas entre los 750°C y 1300°C, una vez alcanzada, se mantiene ésta temperatura por un tiempo determinado con el fin de homogenizarla en todo el volumen de la pieza. Finalmente se enfría el material sumergiéndolo en un medio de temple; aire, agua o aceite, para conseguir un material de estructura super-saturada de carbono³⁴. En conclusión, las piezas fueron sometidas a una temperatura de 1050°C durante el proceso de temple y finalmente con el fin de equilibrar la dureza y la fragilidad del metal posterior al temple, se aplicaron tres procesos de revenido a 200°C cada uno durante dos horas.

En la segunda etapa, para dar solución a las superficies irregulares las piezas fueron sometidas a un proceso mecanizado llamado rectificado, en el que se eliminan impurezas y sobre espesores para asegurar que las superficies de cada una de las piezas sean paralelas y uniformes³⁵. Finalmente, en la tercera etapa se mecaniza y tecnifica el filo de la cuchilla con el propósito de generar los ángulos idóneos para una herramienta de corte que según la literatura se encuentran en un rango de 5° a 8° para los ángulos de alivio y ángulos de ataque entre 12° y 15°. Sin embargo los ángulos anteriores son propuestos dependiendo del material a cortar, es decir, para materiales duros el ángulo de ataque de la cuchilla de la

³³ Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Tratamientos térmicos. 2008

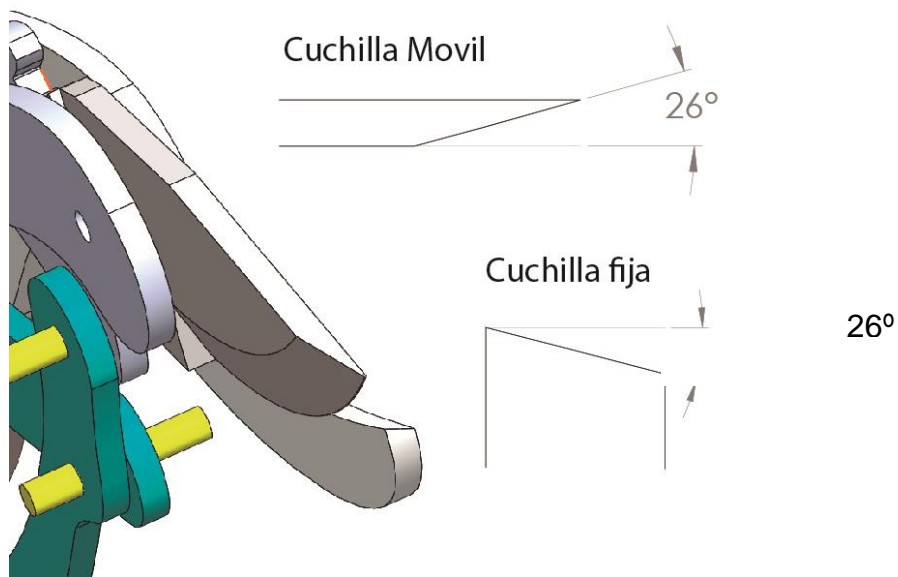
³⁴ VELASCO, F. Tratamientos Térmicos. Tecnología Industrial II, 1–5. 2010

³⁵ Mecánica, G. T. Rectificado 1.-, 1–17. 2014

herramienta debe permanecer en el rango de 12° a 15° , pero para materiales blandos normalmente son usados anglos de 15° a 30° ³⁶.

La configuración inicial de las cuchillas presentaba un ángulo de ataque de 15° aproximadamente, sin embargo, teniendo en cuenta la literatura y considerando la densidad ($1,19 \text{ g/cm}^3$) y el diámetro ($0,5 - 0,9 \text{ cm}$) del tallo de la rosa se diseñó la cuchilla de ataque con un ángulo de corte de 26° . En el capítulo 5, se realiza la comparación en términos de la fuerza de aprehensión ejercida por la mano cuando el ángulo de ataque de la cuchilla es 15° y 26° .

Figura 8. Ángulos aplicados a las cuchillas de la herramienta, observadas desde la vista superior (cuchilla móvil) y la vista lateral (cuchilla fija)



³⁶ EDWARDS, Op. Cit.

4.2 INTERVENCIÓN FORMAL DEL MANGO DE LA HERRAMIENTA

La configuración formal depende que el usuario determine el uso correcto del objeto durante su interacción con él³⁷. Por lo tanto, se afirma que la forma se puede intervenir y analizar desde la ergonomía debido a la relación entre el hombre y el objeto³⁸.

Los mangos de la herramienta propuesta por el grupo de investigación “GEPS”, se presentaban de la siguiente manera:

- El mango superior como un elemento completo en el que se insertaban las piezas metálicas y posteriormente se realizaba el ajuste de éstas. Por lo tanto, para acceder a una de las piezas se debía desarmar todo el conjunto.
- Un mango inferior, conformado por dos componentes unidos entre sí por pines rectangulares, sin embargo no presentan elementos de ajuste y sujeción.
- Un elemento ubicado en el mango superior cuya función principal era restringir la apertura de la herramienta producida por el resorte. Éste encajaba en una ranura ubicada en el mango inferior, no obstante se observó interferencia en entre el seguro y la ranura para el correcto encaje.
- Exceso de material en la configuración formal de los mangos

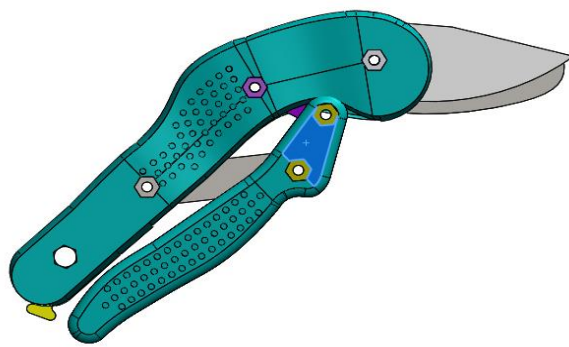
Con base en lo anterior, la intervención formal se realizó teniendo en cuenta los siguientes aspectos: Dimensiones y coherencia formal entre las partes, el ensamble, el diseño del seguro y la reducción del material de los mangos. En la

³⁷ OVIEDO, G. L. Antecedentes y contexto histórico del concepto percepción. *Revista de Estudios Sociales*, (18), 89–96. 2004

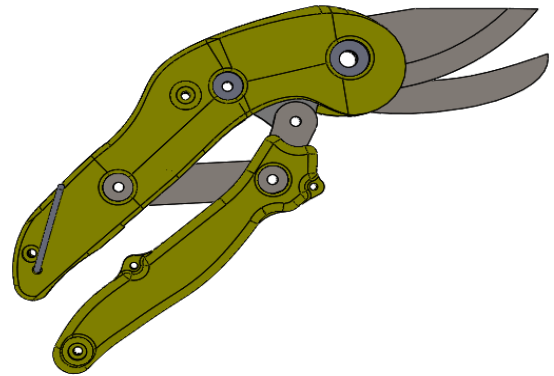
³⁸ BUTI, L. B. Ergonomic Product Design. *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*. 2006

figura 9 se muestra el modelado de la forma de la herramienta realizado antes y después de la intervención.

Figura 9. Representación formal de la herramienta diseñada, antes (Herramienta A) y después de la intervención (Herramienta B).



HERRAMIENTA A



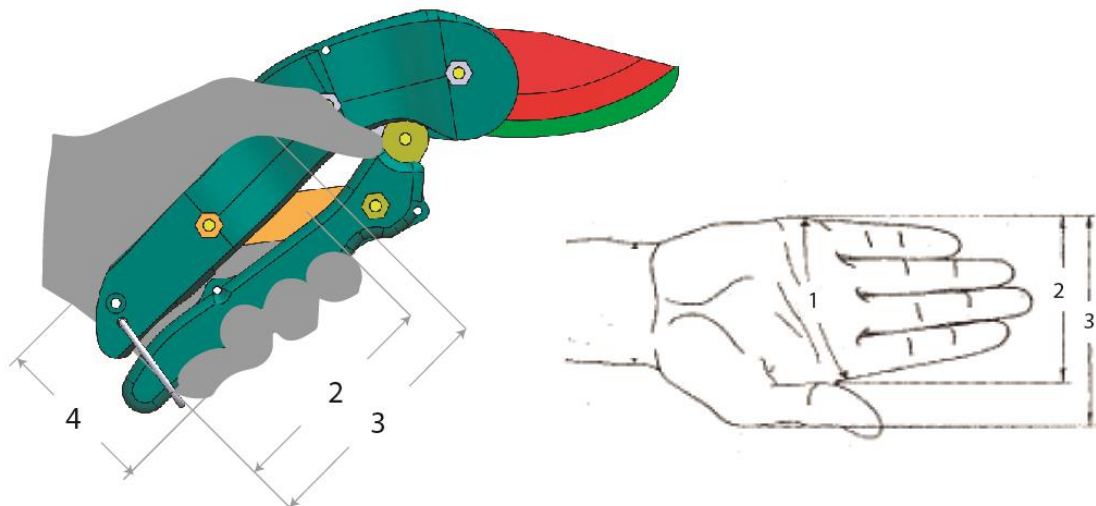
HERRAMIENTA B

4.2.1 intervención del mago. De acuerdo a la forma es conveniente aclarar que se conservó la configuración base de los elementos, modificando aristas, caras y superficies para darle mayor relación y semejanza entre el mango superior y el inferior, esto con el fin de integrar las partes que conforman el conjunto. Es fundamental incorporar la antropometría con el fin de hacer que la herramienta se ajuste a la población floricultora y se disminuya el riesgo de padecer enfermedades musculo esqueléticas como es el caso del síndrome de conducto carpiano (SCC).

En la figura 10 se relacionan las dimensiones antropométricas de la mano que se tuvieron en cuenta para dimensionar el mango de las asas. En la tabla 2 se observan las medidas correspondientes a las mujeres de un percentil 5 según la

norma según la Norma DIN 33.402 segunda parte³⁹. Se determinó el percentil 5 para garantizar que la herramienta se adapte a un mayor grupo de personas⁴⁰. En el diseño de la herramienta se mantuvo el diámetro mínimo y máximo de aprehensión homogéneo para todos los dedos, tal como se explica en el estudio de la relación entre la apertura de la herramienta manual de corte de flores y la fuerza ejercida por cada dedo de la mano operante durante el gesto de aprehensión⁴¹.

Figura 10. Dimensiones de la mano (según la Norma DIN 33.402 segunda parte)



³⁹ Consultora, E. Ergonomía - Ergonomía aplicada a las Herramientas - 01º Parte. Retrieved September 23, 2017, 2002. Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=64>

⁴⁰ COLOVIC, G. Ergonomic Conditions of Work. In Ergonomics in the Garment Industry (pp. 61–103). 2014

⁴¹ MARADEI, ESPINEL, & GALINDO, 2014. Op. Cit.

Tabla 2. Dimensiones usadas para el rediseño del mango

Dimensiones			
#		p5 (cm)	
1	Perímetro de la mano	17.6	Norma DIN 33.402 (Consultora, 2002)
2	Ancho de la mano excluyendo el pulgar	7.2	
3	Ancho de la mano incluyendo el pulgar	8.2	
4	Largo de la mano	15	
5	Diámetro mínimo de aprehensión	5	
6	Diámetro máximo de aprehensión	8.2	

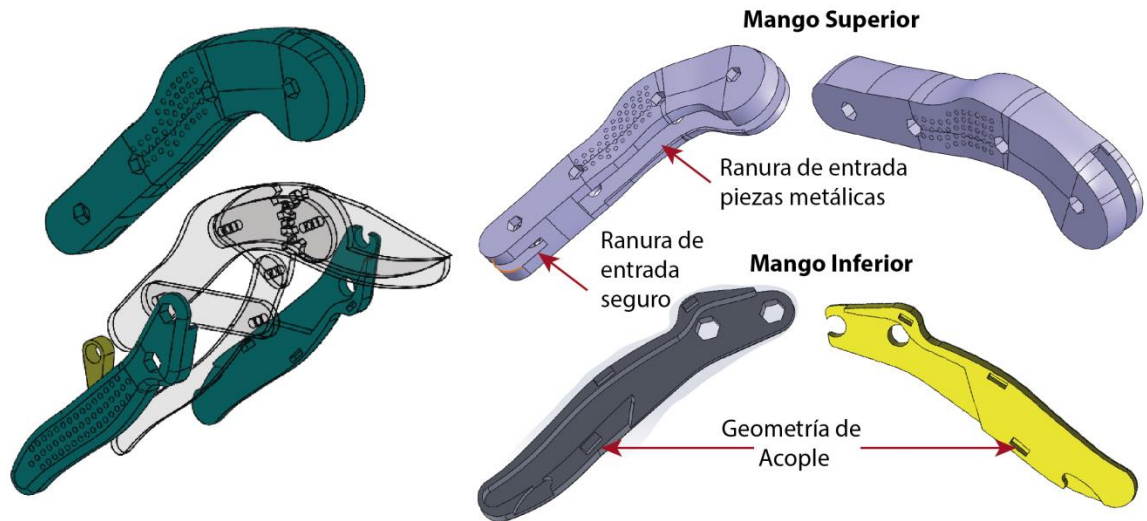
4.2.2 Ensamblaje de las piezas. En la herramienta propuesta, se debe asegurar el ensamble y acople entre sus componentes, es decir el usuario debe poder unir y separar fácil y rápidamente las piezas del mango al momento de realizar operaciones de mantenimiento y limpieza de los componentes internos de la herramienta. Teniendo en cuenta esto, se identificó que en la herramienta A el mango superior dificultaba el acceso a las piezas metálicas de la herramienta, es decir, para acceder a una de ellas se debía desarmar todo el conjunto. Adicionalmente se observó que la geometría de acople que une los dos componentes que conforman el mango inferior no brindaba sujeción suficiente al realizar la fuerza de aprehensión, según la literatura esto significa que al ejercer la fuerza de entrada en los mangos se produce una fuerza radial a través de la pieza que se concentra en los puntos de unión, generando un punto crítico y puede conducir a una falla temprana⁴².

En la figura 11 se observa la configuración formal inicial de los mangos superior e inferior de la herramienta diseñada por el grupo de investigación “GEPS”, antes de la intervención realizada en el presente trabajo. El mango superior como un elemento único donde las piezas metálicas son insertadas y el mango inferior

⁴² CALISTRAT, M. M. Mechanical Shaft Couplings, II, 565–579. 1983

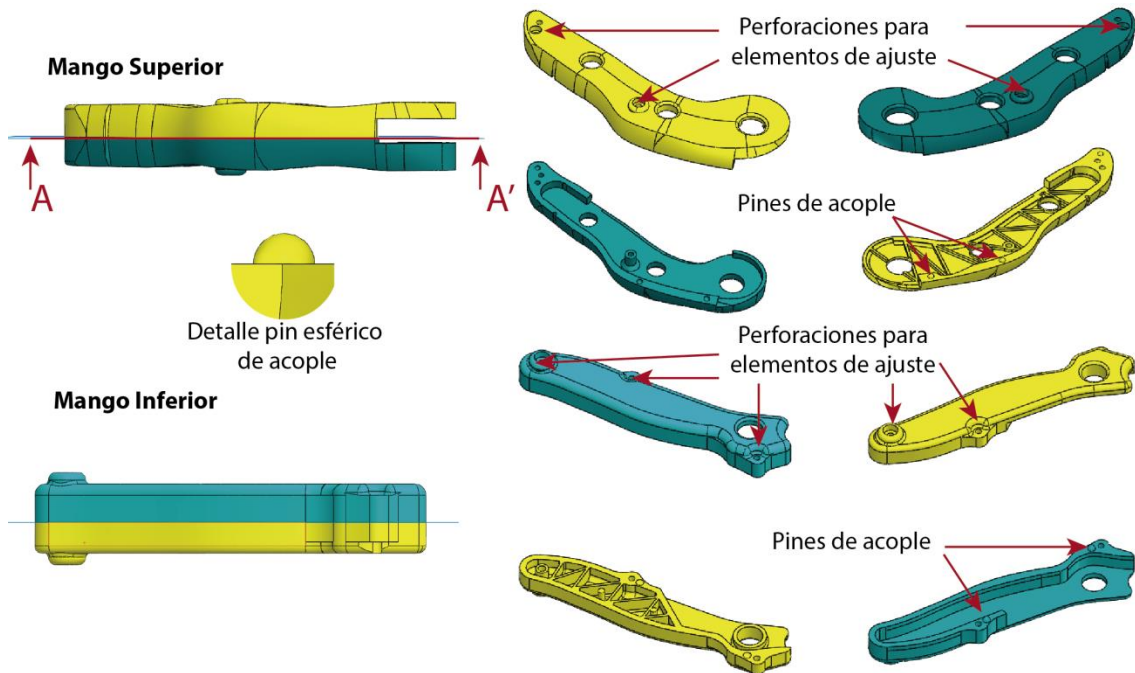
como un elemento de dos componentes que se unen entre si por medio de dos acoples de forma rectangular.

Figura 11. Forma inicial de los mangos superior e inferior de la herramienta diseñada por el grupo “GEPS”



Para solucionar el problema de acceso a los componentes internos del mango superior, se realizó un corte longitudinal (corte A-A') que lo divide en dos piezas que encajan entre sí. Por otra parte, para asegurar el acople de las piezas del mango superior como de las piezas que forman el mango inferior, se adicionan dos pines esféricos de 3 mm de diámetro y se realizan perforaciones de 3 mm de diámetro que atraviesan los componentes con el fin de insertar elementos de ajuste que mantengan unidas y aseguradas todas las partes del conjunto. En la figura 12 es posible observar en detalle las operaciones descritas y aplicadas en el mango superior e inferior.

Figura 12. Detalles de la intervención realizada en los mangos



4.2.3 Peso de la herramienta. Este factor determina la rapidez con la que el músculo experimenta fatiga. Según el diseño de herramientas se recomienda un peso máximo de 2.3 kg para herramientas operadas a una sola mano y para herramientas de larga duración o tareas repetitivas el peso máximo permitido es de 1.8 kg⁴³. Teniendo en cuenta lo anterior se reduce material de las asas creando operaciones de vaciado para eliminar material innecesario y se crean estructuras de soporte internas donde descansa la pieza interna. También se identificó configuración geométrica que podía ser eliminada sin afectar el funcionamiento de la herramienta, como la textura de agarre que fue remplazada por un recubrimiento de caucho antideslizante.

⁴³ BOTNEY, R., PRIVITERA, M. B., & DESIGN, M. 16 Hand Tool Design, 645–714. 2004.

La herramienta actual mostraba un peso inicial de 2,6 kg y un volumen de 98.4 cm³ según el análisis de propiedades físicas suministrado por el análisis CAE (Anexo A Propiedades físicas). Mientras que por su parte la herramienta propuesta presentaba valores de 1,8 kg y 86,4 cm³ para el peso y el volumen respectivamente. De lo anterior se puede concluir que la intervención realizada en los mangos permitió disminuir un 30% en el peso total de la herramienta. Así mismo, se puede observar que el peso de la herramienta intervenida corresponde al valor máximo permitido para herramientas de repetición.

Finalmente en la figura 13 se muestra el cambio formal del mango superior e inferior antes y después de la intervención realizada en este proyecto. Se puede observar la geometría y elementos modificados con el fin de disminuir el peso y mejorar el ensamble de sus componentes.

Figura 13. Mango superior e inferior antes y después de la intervención



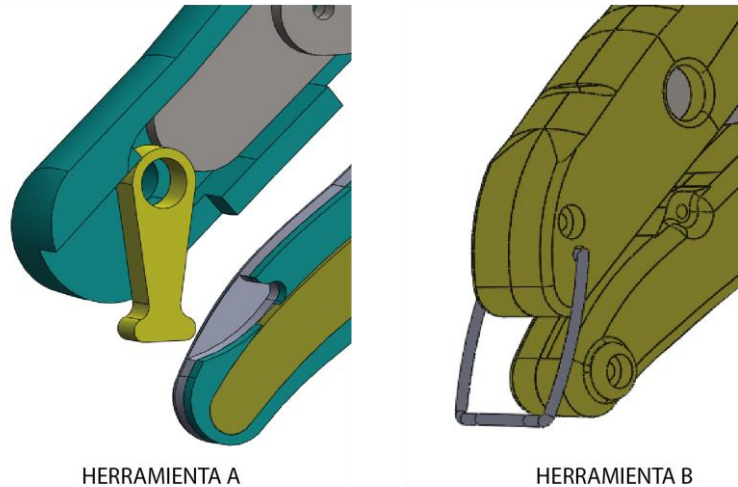
4.2.4 Seguro. Este elemento fue incluido anteriormente con el fin de restringir el movimiento de apertura producido por el resorte, considerando que las herramientas manuales deben ser seguras tanto para el usuario como para las personas que se encuentran a su alrededor, por tal motivo en herramientas de corte es necesario incluir un seguro que movimientos involuntarios⁴⁴.

Inicialmente la pieza de seguridad incluida era un elemento ubicado en el extremo inferior del mango superior y unido a él a través de un elemento de sujeción. Este seguro encajaba en una ranura ubicada en el lomo del mango inferior. Se observó que para que este sistema de encaje funcionara correctamente habría que aumentar el grosor de las paredes externas de la pieza de encaje, lo que implicaría aumentar el material, por lo tanto, aumentaba el peso de la herramienta. Como solución a este problema se propone un elemento externo de sujeción tipo abrazadera de acero estirado en frío de diámetro constante (2mm), que se instala en el borde inferior del mango superior y sujeta por debajo el mango inferior.

La figura 14 muestra en detalle el seguro propuesto en la herramienta diseñada por el grupo de investigación “GEPS” (Herramienta A) y el propuesto en el presente trabajo (Herramienta B).

⁴⁴ BOTNEY, R., PRIVITERA, M. B., & DESIGN, M. 16 Hand Tool Design, 645–714. 2004.

Figura 14. Detalle de los seguros



4.3 MODELADO 3D

El modelado 3D en el proceso de diseño permite tener la representación formal del producto a diseñar, así mismo evaluar y modificar aspectos formales antes de su producción, generar planos técnicos de sus elementos y realizar simulaciones del comportamiento de las piezas en condiciones reales⁴⁵.

En ese orden de ideas el modelado 3D permitió en esta fase modificar las geometrías previas de los componentes y los planos de producción (Anexo B Planos técnicos), los archivos necesarios para el prototipado 3D y un análisis CAE del comportamiento de la herramienta presentado en el siguiente capítulo de verificaciones.

⁴⁵ CHANDRASEGARAN, S. K., RAMANI, K., SRIRAM, R. D., HORVÁTH, I., BERNARD, A., HARIK, R. F., & GAO, W. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. *Computer-Aided Design*, 45(2), 204–228. 2013. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2012.08.006>



Figura 15. Representación formal final del prototipo de la herramienta

4.4 ANÁLISIS POR COMPONENTES

En esta fase se evaluaron los componentes de la herramienta propuesta con el propósito de generar un prototipo cuyas características formales y funcionales se asemejen al producto final. Para esto se siguió el método Luca, el cual propone identificar las piezas principales y secundarias del conjunto y evaluar la eficiencia integrando las recomendaciones del diseño para la manufactura (DFM) y el diseño para el ensamble (DFA) y así optimizar cada uno de los componentes que forman parte de la herramienta⁴⁶.

El método Lucas consiste principalmente en la evaluación de la dificultad de ensamble de cada uno de los componentes del prototipo, en el presente trabajo esta evaluación se divide en dos etapas de análisis que corresponden a la

⁴⁶ HERNÁNDEZ, J. C. Proceso de industrialización local de prototipos funcionales. Universidad EAFIT. 2014

eficiencia del diseño y la optimización de las piezas, las cuales serán descritas a continuación. Sin embargo, se recurre en primera instancia entender las recomendaciones del diseño para la manufactura, el diseño para el ensamble y realizar la caracterización de los elementos que conformarán el prototipo⁴⁷.

4.4.1 DFA Y DFM. Durante el proceso de diseño del producto es necesario considerar que el ensamblaje de las piezas sea fácil y rápido, con esto lo que se busca es generar piezas de fácil manipulación que permitan ser orientadas, insertadas, sujetadas y posicionadas rápidamente y con el menor número de operaciones posibles⁴⁸.

Como se mencionó anteriormente se identificó que en la herramienta diseñada por el grupo “GEPS”, el mango superior debía ser ensamblado simultáneamente con las piezas metálicas de la herramienta, presentando dificultad para acceder a ellas durante el ensamble y para el mantenimiento era necesario desarmar todo el conjunto. Por otra parte la geometría de acople en el mango inferior no aseguraba la sujeción de éste sobre la pieza interna que recubría (segunda palanca).

Para solucionar lo anterior el método Lucas propone aplicar las recomendaciones del diseño para la manufactura (DFM) y el diseño para el ensamble (DFA) como herramientas de evaluación para garantizar la facilidad de la producción de las piezas que forman parte de la herramienta propuesta. El objetivo del DFM es optimizar el proceso de fabricación, integrando la forma y la función; así mismo ayuda a simplificar y optimizar el flujo de trabajo⁴⁹. Por su parte, el DFA contempla la reducción del número de componentes a ensamblar y la geometría de las

⁴⁷ SARADUADI, I. I. Universidad nacional autónoma de México. 2010

⁴⁸ Ibid.

⁴⁹ SELVARAJ, P., RADHAKRISHNAN, P., & ADITHAN, M. An integrated approach to design for manufacturing and assembly based on reduction of product development time and cost. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42(1–2), 13–29. 2009. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00170-008-1580-8>

piezas para garantizar la unión entre ellas sin afectar su funcionalidad o estética general⁵⁰.

En la tabla 3 se muestran los principios generales de diseño que el DFA y DFM recomiendan tener en cuenta desde el inicio del proceso de diseño de un producto, con el fin de identificar las áreas problemáticas del diseño y garantizar el fácil ensamble de las piezas.

Tabla 3. Recomendaciones del DFM y DFA contempladas en el rediseño de los mangos de la herramienta

DISEÑO PARA EL ENSAMBLE (DFA)	DISEÑO PARA LA MANUFACTURA (DFM)
<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar el número de partes. • Estimular el ensamble modular. • Usar materiales y componentes estándar. • Evitar que el trabajador deba tomar decisiones o realizar ajustes. • Diseñar partes a prueba de errores. • Asegurar la accesibilidad y la visibilidad de las piezas. • Facilitar el acceso de las herramientas. • Si los tornillos son necesarios, unificar los tipos y formas de la punta. • Diseñar partes que encajen juntas o que se unan a presión. • Las partes deben ser uniformes, de alta calidad y tener tolerancias estrechas para • Evitar partes frágiles, flexibles, abrasivas, resbaladizas, pequeñas, cortantes, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar el número total de partes. • Estandarizar componentes. • Estandarizar características de diseño (diámetros de agujeros, tipos de roscas, radios de dobléz, etc). • Mantener diseños funcionales y simples. • Diseñar partes que sean fáciles de fabricar (sin sacrificar funcionalidad). • Evitar tolerancias excesivas. • Minimizar las operaciones secundarias y terciarias. • Evitar especificaciones generales en los planos, como "pulir esta superficie". • Las dimensiones deben utilizar el menor número de superficies o puntos de referencia. • El diseño debe procurar el menor peso con el cumplimiento de los requerimientos de resistencia y rigidez.

⁵⁰ BOOKER, K. G. S. and J. D. Process Selection: from design to manufacture. Universidad EAFIT. 2014

DISEÑO PARA EL ENSAMBLE (DFA)	DISEÑO PARA LA MANUFACTURA (DFM)
<ul style="list-style-type: none"> • Usar partes con la suficiente rigidez y resistencia que puedan alimentarse automáticamente a la línea de montaje. • Diseño de sujeciones. • Diseño de partes para manipulación e introducción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar redondeos y chaflanes “generosos” en piezas moldeadas, formadas y maquinadas.

Fuente: Adaptado de BROOKER, K. G. S. and J. D. Process Selection: from design to manufacture. Universidad EAFIT. 2014

4.4.2 Caracterización. Con el fin de identificar las fallas que se puedan presentar en las piezas durante el proceso de manufactura fue importante identificar y agrupar los elementos que conformarían el prototipo (ver figura 16), asignar los procesos, seleccionar los materiales y otorgar las características relacionadas a cada una de las piezas, tal y como se muestran en la tabla 4.

Figura 16. Piezas y componentes del prototipo

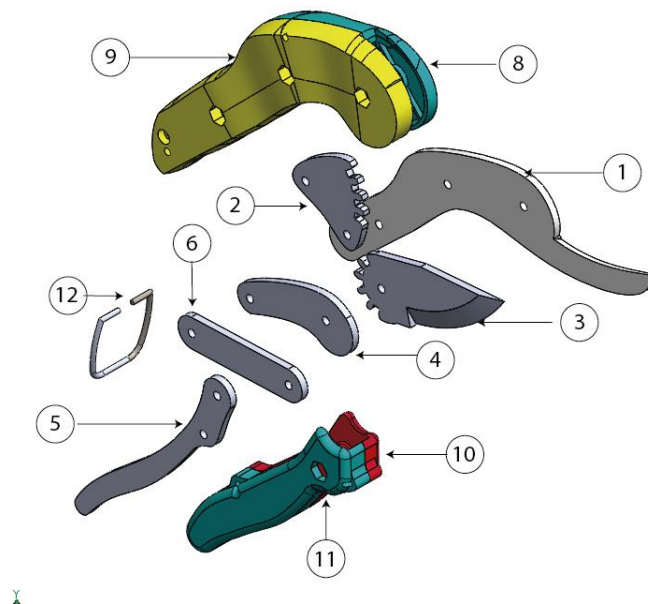


Tabla 4. Materiales y procesos de los componentes de la Herramienta

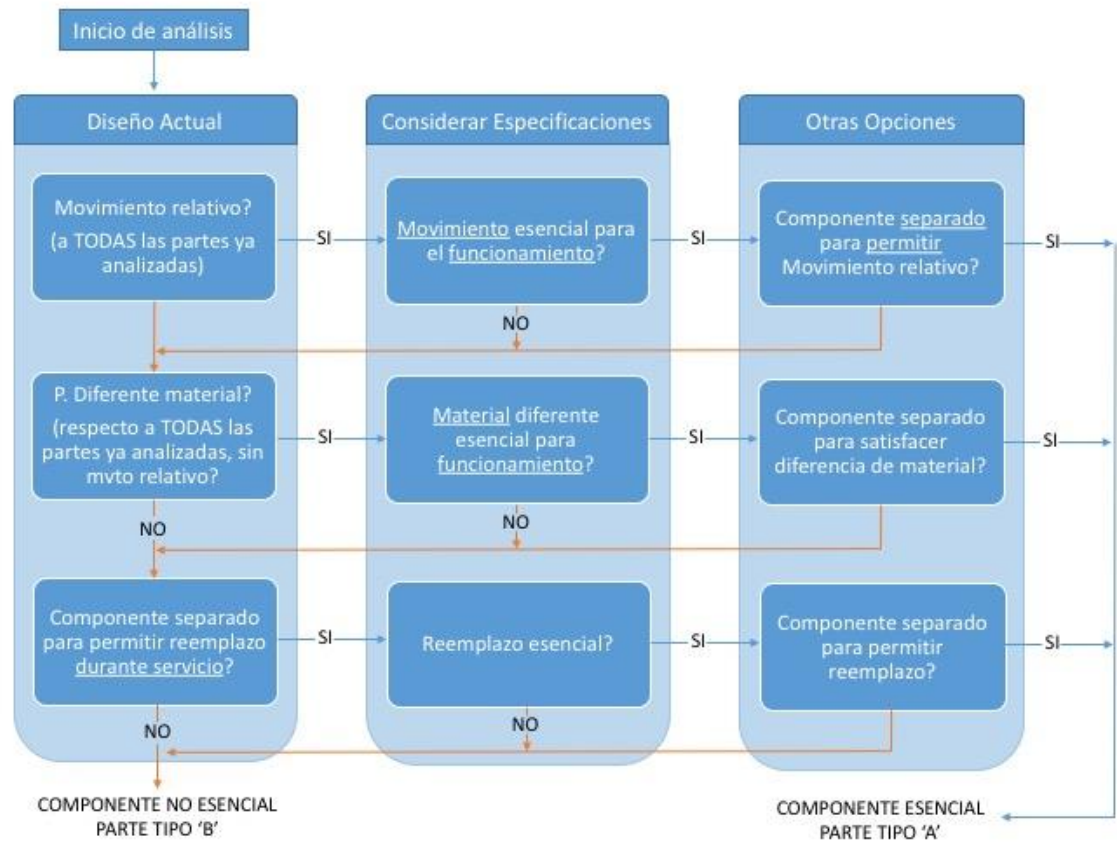
Componentes				
#	Nombre pieza	Cantidad	Material	Procesos
1	Palanca fija	1	Acero K 105	Corte chorro de agua Rectificado y formado Afilado Ensamble manual
2	Elemento de transmisión de movimiento	1		
3	Elemento de corte	1		
4	Elemento de unión	1		
5	Segunda palanca	1		
6	Elemento de sujeción	1		
7	Resorte	1	Acero A227 Estirado en frío	Maquinado manual
8	Mango superior A	1	PLA	Prototipado rápido Base Pintura de caucho
9	Mango superior B	1		
10	Mango Inferior A	1		
11	Mango Inferior B	1		
12	Seguro	1	Acero A227 Estirado en frío	Maquinado manual

4.4.3 Eficiencia del diseño. Una vez se han identificado los componentes que conforman la herramienta de estudio, el DFA del método Lucas plantea clasificar los componentes en esenciales (A) que corresponde a aquellas piezas que son indispensables para que el producto funcione correctamente y no esenciales (B) es decir aquellos elemento cuya ausencia no afecta la función del producto, para esta clasificación se incluyen todas las piezas que conforman la herramienta, es decir las piezas metálicas que forman el mecanismo, los mangos, el seguro y el resorte.

Para la clasificación de los componentes se recurrió al diagrama de eficiencia funcional propuesto por el metodo Lucas (figura 17⁵¹), en él se toman en consideración el movimiento de la pieza en relacion con las demás, el material y la separación entre ellas. El resultado de esta clasificación se observa en la tabla 5.

⁵¹ HERNANDEZ, 2014. Op. Cit.

Figura 17. Diagrama de eficiencia funcional según el método Lucas



Fuente: HERNÁNDEZ, J. C. Proceso de industrialización local de prototipos funcionales. Universidad EAFIT. 2014

Tabla 5. Componentes esenciales (A) y no esenciales (B)

#	Nombre pieza	Tipo de componente (A/B)
1	Palanca fija	A
2	Elemento de transmisión de movimiento	A
3	Elemento de corte	A
4	Elemento de unión	A
5	Segunda palanca	A
6	Elemento de sujeción	A
7	Resorte	A
8	mango superior A	A
9	Mango superior B	A

#	Nombre pieza	Tipo de componente (A/B)
10	Mango Inferior A	A
11	Mango Inferior B	A
12	Seguro	B

Teniendo en cuenta lo anterior, se establecen 11 componentes esenciales de los 12 elementos que conforman la herramienta. Estos elementos, son considerados en la ecuación de eficiencia establecida por LUCAS donde se busca identificar el porcentaje de piezas indispensables del diseño, la teoría establece que para ser considerado como un diseño optimo el valor resultante debe ser igual o mayor al 60%⁵². Por lo tanto para calcular este porcentaje de eficiencia (E) es necesario incluir los componentes esenciales (A) y no esenciales (B) en la siguiente ecuación.

$$E = A \times 100 / (A + B)$$

$$E = 11 \times 100 / (11 + 1)$$

$$E = 83,3$$

Lo anterior indica que la eficiencia en la herramienta propuesta corresponde al 83%, es decir 10 de los 12 componentes de la herramienta son indispensables para que el prototipo funcione correctamente.

4.4.4 Optimización según el método Lucas. El método de Lucas propone una metodología de evaluación que califique la dificultad de ensamble de los componentes del producto, basándose en el análisis funcional, la alimentación y el ajuste de las piezas. Es decir, en esta metodología se evalúa cada componente del ensamble asignando un valor específico a cada uno según la escala

⁵² HERNANDEZ, 2014. Op. Cit.

⁵² BOOKER, J. D. 2014. Op. Cit.

presentada en las tablas propuestas⁵³. Por lo tanto, el objetivo de esta etapa es analizar la manipulación de las piezas y las operaciones adicionales durante el ajuste con el fin de facilitar el ensamble del conjunto.

En el análisis de alimentación se analiza la manipulación y el tiempo de inserción de las piezas, para este análisis se consideran las características de cada una de ellas para asignar los valores de penalización (ver tablas de alimentación Anexo C) correspondientes al tamaño, el peso, la dificultad de manipulación y la orientación de las partes, la suma de las penalizaciones se denomina “índice de alimentación” (Hi) el cual debe ser menor o igual a 1.5 de lo contrario es necesario recurrir al rediseño de la pieza.

En la tabla 6 se presenta el análisis de manipulación y alimentación de cada uno de los elementos de la herramienta diseñada por el grupo de investigación “GEPS”, después de la intervención realizada en el presente trabajo. Para el análisis se consideran los siguientes factores: el peso y tamaño de la pieza (A), las dificultades de manipulación (B) y la orientación (C y D), cuyos valores son otorgados según las tablas de calificación del Anexo C. Se observa que las piezas intervenidas en el estudio presentan un índice de de alimentación por debajo de la puntuación máxima permitida.

Tabla 6. Análisis de manipulación y alimentación

#	Nombre de la pieza	Análisis de manipulación y alimentación				Hi
		A	B	C	D	
1	Palanca fija	1	0	0,1	0	1,1
2	Elemento de transmisión de movimiento	1	0	0,1	0	1,1

⁵³ SARADUADI, Op. Cit.

#	Nombre de la pieza	Análisis de manipulación y alimentación				Hi
		A	B	C	D	
3	Elemento de corte	1	0,3	0,1	0	1,4
4	Elemento de unión	1	0	0,1	0	1,1
5	Segunda palanca	1	0	0,1	0	1,1
6	Elemento de sujeción	1	0	0	0	1
7	Resorte	1	0	0	0,2	1,2
8	Mango superior A	1	0	0	0,2	1,2
9	Mango superior B	1	0	0	0,2	1,2
10	Mango Inferior A	1	0	0	0,2	1,2
11	Mango Inferior B	1	0	0	0,2	1,2
12	Seguro	1	0	0	0	1

Por otra parte, los índices de alimentación de cada pieza son utilizados para hallar la "Razón de alimentación" (H), cuyo valor debe ser inferior a 2.5 y en caso de ser superior es necesario recurrir al rediseño del conjunto. Este valor se determina con la ecuación:

$$\text{Razon de alimentacion} = \frac{\text{Sumatoria Indice de alimentacion}}{\text{Numero de componentes esenciales}}$$

$$H = \frac{13,8}{11} = 1,25$$

Según los resultados obtenidos, la razón de alimentación del conjunto equivale a 1,25 lo que significa que la intervención realizada en los mangos permite una óptima manipulación e inserción de las piezas en el prototipo.

De igual manera, en el análisis de ajuste se consideran las operaciones que pueden dificultar el ensamble de las piezas, calificándolas según la cantidad de tiempo requerido para ejecutar la operación, esto con el fin de obtener el "índice

de ajuste” (Gi) que al igual que el índice de alimentación se debe mantener igual o menor a 1.5⁵⁴.

En la tabla 7 se presentan los valores del análisis de de ajuste e inserción de cada una de las piezas de la herramienta penalizados según los valores de las tablas correspondientes (ver tablas de análisis de ajuste Anexo C) .Para este análisis los factores que se tienen en cuenta corresponden a: la posición de ajuste (A), dirección (B), el tipo de proceso: simple, múltiple o simultaneo (C), la restricción para acceder al ajuste (D), la alineación de los componentes durante el ensamble (E) y la resistencia de inserción (F). De igual forma que en el análisis de manipulación se observa que las piezas intervenidas presentan un valor menor a 1.5

Tabla 7. Análisis de manipulación y alimentación

#	Nombre de la pieza	Análisis de ajuste e inserción						Gi
		A	B	C	D	E	F	
1	Palanca fija	1	0	0	0	0,7	0	1,7
2	Elemento de transmisión de movimiento	2	0	0	0	0,7	0	2,7
3	Elemento de corte	2	0	0	0	0,7	0	2,7
4	Elemento de unión	2	0	0	0	0,7	0	2,7
5	Segunda palanca	2	0	0	0	0,7	0	2,7
6	Elemento de sujeción	2	0	0	0	0,7	0	2,7
7	Resorte	2	0	0	1,5	0,7	0	4,2

⁵⁴ HERNÁNDEZ, 2014. Op. Cit.

#	Nombre de la pieza	Análisis de ajuste e inserción						Gi
		A	B	C	D	E	F	
8	mango superior A	1	0	0	0	0	0	1
9	Mango superior B	1	0	0	0	0	0	1
10	Mango Inferior A	1	0	0	0	0	0	1
11	Mango Inferior B	1	0	0	0	0	0	1
12	Seguro	1	0	0	0	0	0	1

Así mismo, estos índices de ajuste son usados para obtener una razón de ajuste que debe ser igual o menor a 2,5, de lo contrario es necesario rediseñar el conjunto. El cálculo de la razón se realiza mediante la ecuación:

$$Razon\ de\ ajuste = \frac{Sumatoria\ Indice\ de\ ajuste}{Número\ de\ componentes\ esenciales}$$

$$G = \frac{24,11}{11} = 2,20$$

El resultado de la razón de ajuste del conjunto es 2,20, estando por debajo del máximo permitido por la escala de evaluación del método.

En resumen, gracias al análisis de alimentación y de ajuste, además de considerar las recomendaciones del diseño para el ensamble y la manufactura, se pudo evaluar los componentes que formaran el prototipo y determinar la facilidad de ensamble de las piezas durante el ensamblaje. Dicho de otra forma, la herramienta propuesta en el presente trabajo está conformada por 12 piezas de las cuales 11 de ellas son indispensables para que el prototipo funcione correctamente y las modificaciones realizadas en los mangos permiten una óptima manipulación e inserción de todas las piezas del conjunto.

Finalmente se presenta el prototipo de prueba concebido que será utilizado en la siguiente fase de verificación y posteriormente será comparado con 3 herramientas del mercado actual para generar los datos de fuerza pertinentes al objetivo general del presente trabajo.

Figura 18. Prototipo de prueba.



5. VERIFICACIONES

En esta etapa se registran las evaluaciones a las que se sometió el prototipo de la herramienta con el fin de corroborar los atributos intervenidos en la etapa anterior. A continuación, se presentan los resultados.

5.1 SELECCIÓN DEL ÁNGULO DE CORTE

Como se mencionó anteriormente, la literatura sugiere para el diseño de herramientas de corte cuchillas con ángulos de ataque de 12 a 15° para materiales duros y un rango de 15 a 30° para materiales blandos⁵⁵. Con base a esto y considerando la densidad (1,19 g/cm³) y el diámetro (0,5 – 0,9 cm) del tallo de la rosa se diseñó la cuchilla de ataque con un ángulo de corte de 26°.

Sin embargo, para comprobar si el ángulo de ataque influye en la fuerza ejercida por el usuario, la herramienta diseñada se sometió a una prueba piloto donde se comparó la fuerza de aprehensión ejercida por la mano cuando el ángulo de ataque de la cuchilla es 15° y cuando es 26°.

5.1.1 Características de la prueba.

- Participantes: para el desarrollo de esta prueba se contó con la participación de 3 mujeres en edades entre los 25 y 30 años. Una de ellas trabajadora de floristería de la ciudad Bucaramanga (P1). Las participantes de la prueba no presentaban molestias o enfermedades músculo esqueléticas en la mano y

⁵⁵ EDWARDS, Óp. Cit.

contaban con dimensiones antropométricas similares (ver tabla 8).

Tabla 8. Dimensiones antropométricas de las participantes de la prueba

Dimensiones	Participante		
	P1	P2	P3
Largo de la mano	15,5	15	15
Ancho de la mano incluyendo el pulgar	8	8,2	8
Mano dominante	Derecha	Derecha	Derecha

- Variables controladas: De acuerdo a la observación de la postura de la participante 1 (trabajadora del sector) se determinó que la posición de la mano con que las participantes 2 y 3 realicen el corte debe estar en posición neutral, ángulo de flexión del brazo de 90° y el tipo de flor (rosa).
- Variables independientes: Los ángulos de la cuchilla de corte con 2 variaciones (15° y 26°)
- Variable dependiente: La fuerza ejercida por cada dedo.
- Descripción de la prueba: Para el desarrollo de la prueba se utilizó el mismo tipo de flor (rosa) procurando que el diámetro del tallo fuera el mismo (0,7 cm) y las mismas condiciones de frescura. El participante se ubica en posición de bipedestación con un ángulo de flexión del brazo de 90°, realizando 8 cortes con cada variante asignada (cuchilla 15° y 26°). Se pidió a la participante P1 que realizara la prueba posicionando la flor según su actividad diaria de corte, de allí se pudo determinar que la posición del tallo durante las pruebas debe ser horizontal.

Figura 19. Participantes de la prueba de verificación



5.1.2 Resultados de la prueba de verificación de ángulos. En la tabla 9 se muestran los datos obtenidos por participante durante la prueba de verificación, éstos representan la presión que ejerce la mano sobre la herramienta de estudio durante el gesto de aprehensión. Se puede observar que el dedo anular ejecuta mayor presión durante el uso de la herramienta y su punto de mayor concentración se encuentra en la falange media del dedo (sensor 11) siendo 18,91 N/cm² la presión máxima registrada con la cuchilla de 15° y 16,64 N/cm² con la cuchilla de 26°. Se observa que el pulgar no ejerce presión significativa durante el gesto de aprehensión.

Tabla 9. Registro de la presión ejercida por la mano al ejercer el gesto de aprehensión sobre la herramienta, según el ángulo de afile de la cuchilla [N/cm²].

	Angulo 15			Angulo 26				Angulo 15			Angulo 26		
Sensor	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Dedo	P1	P2	P3	P1	P2	P3
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Pulgar	0,00	0,06	0,08	0,00	0,15	0,01
2	0,00	0,11	0,30	0,00	0,27	0,03							
3	0,00	0,12	0,00	0,00	0,32	0,00							
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							

Sensor	Angulo 15			Angulo 26			Dedo	Angulo 15			Angulo 26		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3		P1	P2	P3	P1	P2	P3
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Índice	0,85	0,99	0,98	0,20	0,25	1,49
6	4,24	4,94	4,75	0,38	1,25	7,46							
7	0,00	0,00	0,15	0,61	0,00	0,00							
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
10	6,99	7,60	1,85	3,25	5,57	4,43	Medio	6,83	4,89	4,12	4,86	5,63	5,47
11	18,91	11,56	12,52	15,23	16,64	15,77							
12	1,43	0,39	2,11	0,95	0,29	1,66							
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	corazón	3,29	2,25	1,72	1,24	1,21	1,38
15	8,44	8,08	0,58	2,70	3,27	0,64							
16	3,25	0,07	2,75	1,11	0,93	1,91							
17	1,48	0,84	3,55	1,14	0,62	2,97	meñique	1,72	0,99	0,77	0,79	0,74	0,08
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
19	0,01	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00							
20	3,94	2,10	0,77	2,88	1,25	0,34							
21	2,91	1,87	2,32	0,28	1,48	0,00	palma	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
22	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01							
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							

En la tabla 10 se registra la fuerza ejercida por cada participante según el ángulo de afilado de la cuchilla, teniendo en cuenta la presión ejercida y el área abarcada por la mano durante la ejecución del corte, se evidenció que la cuchilla con ángulo de 26° se ejerce menor fuerza, por tal motivo para la ejecución de las pruebas se eligió la configuración de la cuchilla de ataque propuesta en el presente trabajo.

Tabla 10. Registro de la fuerza de aprehensión durante el gesto, según el ángulo de afilado de la cuchilla

	<i>Fuerza [N]</i>	
	Angulo 15	Angulo 26
P1	3,987	2,024
P2	2,452	2,826
P3	2,523	2,847
PROM	3,220	2,566

5.2 ANÁLISIS CAE

El análisis asistido por computador CAE, permite verificar virtualmente como se puede comportar el producto en condiciones reales de uso, para analizar, predecir y prevenir fallas que puedan presentarse antes de enviar el producto a manufactura⁵⁶.

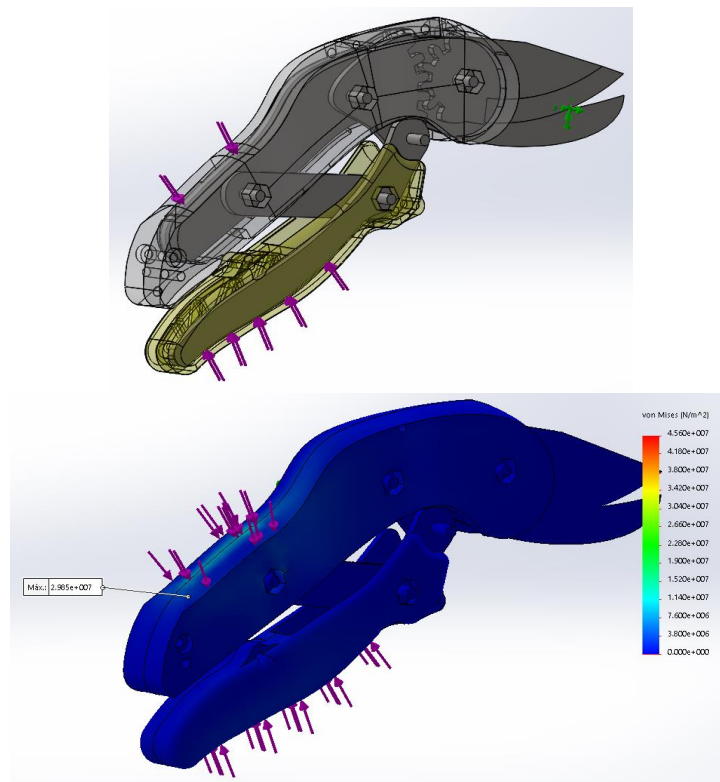
Este análisis se realizó a la herramienta propuesta considerando los parámetros del material de cada una de las piezas que la conforman y las fuerzas que actúan sobre ellas durante la manipulación de la misma. Para el análisis se establecen datos extremos que permitan realizar la evaluación en condiciones críticas, por tanto se establece usar una fuerza de aprehensión máxima de 27 Kgf (265 N) según lo indican Quintana y Saavedra en su análisis comparativo con herramientas de corte de rosas⁵⁷, de igual forma se considera una fuerza de 0,478 Kgf (5 N) como la necesaria para comprimir el resorte. Adicionalmente se tiene en cuenta la densidad de la rosa 1,19 g/cm² (Gonzales, Daza & Caballero, 2016) la fuerza de salida en la cuchilla 111 Kgf (1088 N) y las propiedades mecánicas del material de las piezas metálicas y los mangos.

⁵⁶ CHANDRASEGARAN, RAMANI, SRIRAM, HORVÁTH, BERNARD, HARIK, & GAO, Op. Cit.

⁵⁷ SAAVEDRA, & QUINTANA, Op. Cit.

Además de las fuerzas que actúan en el conjunto es pertinente establecer las relaciones de geometría entre los componentes y establecer cuáles serán los elementos fijos del conjunto, los puntos de contacto entre las piezas y un punto de apoyo en el material de corte, lo anterior para brindar a la simulación el mayor número características de una situación real. Es por esto que se determinó la palanca fija como elemento de soporte, el punto donde el tallo de la rosa hace contacto con las cuchillas se establece como apoyo fijo y finalmente se ubica la fuerza de entrada de 265 N en la zona de contacto de la mano en los mangos (ver figura 20).

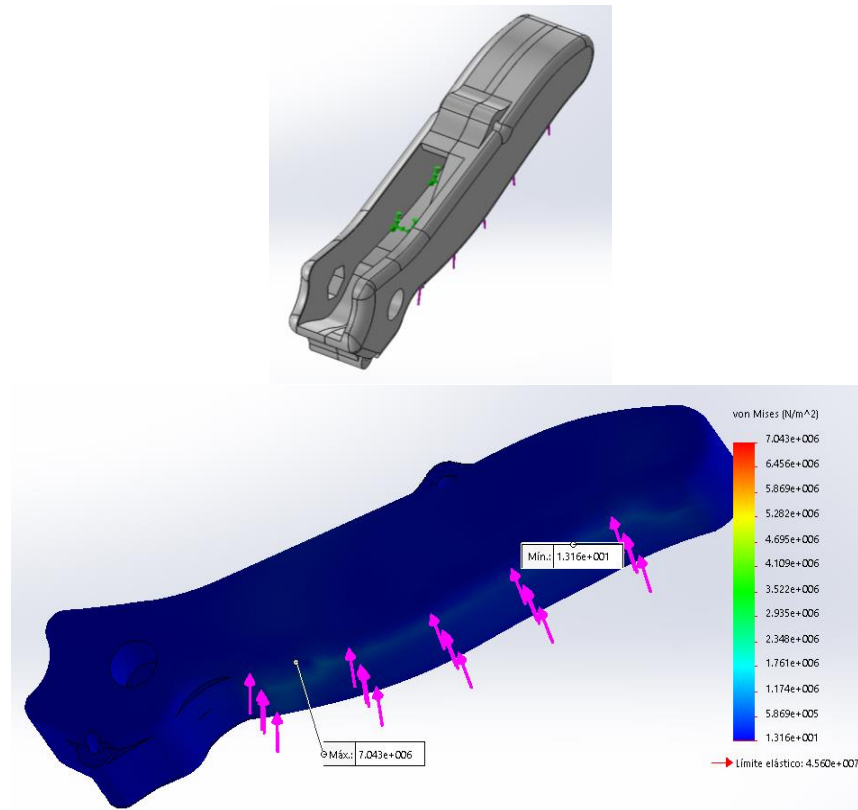
Figura 20. Análisis CAE del comportamiento de la herramienta



El análisis muestra por medio de la configuración de colores las zonas de falla de las piezas, usando el color rojo para señalar las zonas críticas y que representan fallas inminentes en los elementos, en color verde las regiones que presentaran fallas por desgaste y con azul las zonas con desempeño adecuado. Estas franjas son determinadas por el factor de seguridad que corresponden a la relación entre la resistencia real y la resistencia requerida del material.

Adicionalmente, se analizó el comportamiento del asa inferior como elemento independiente sometiéndolo a la fuerza de aprehensión 265 N y se estudia el comportamiento del material y sus efectos de “compresión” tomando como zona fija la parte interna del plástico y como zona de esfuerzo el área

Figura 21. Análisis CAE del mango inferior



Este análisis muestra que el material de las piezas, presentarían un desempeño adecuado y cumplen con un factor de seguridad de:

$$\text{Factor de seguridad gral} = \frac{4.56e7}{2.985e7} = 1.527$$

$$\text{Factor de seguridad mango inferior} = \frac{4.56e7}{7.043e6} 6.38$$

5.3 EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN DE CORTE

Para evaluar el grado de cumplimiento de la función principal de la herramienta después de la intervención realizada en el presente trabajo, se realizó una prueba de verificación en laboratorio cuyo objetivo principal fue comparar el desempeño de la herramienta diseñada por el grupo GEPS antes y después de la intervención realizada. Con el fin de dar respuesta al segundo objetivo específico, que corresponde a evaluar la eficacia del corte de la propuesta inicial (HTA A) y la presentada en este documento (HTA B), además se evaluó la satisfacción de los participantes durante el uso de las herramientas en el desarrollo la prueba.

A continuación, se presentan las características de la prueba realizada y los resultados de la misma.

5.3.1 Características de la prueba.

- **Participantes:** La prueba se desarrolló con 10 mujeres de edades entre los 20 y 50 años. Las participantes de la prueba no presentaban molestias o enfermedades músculo esqueléticas en la mano y contaban con dimensiones antropométricas similares: ancho de la mano entre 9 cm y 10 cm y largo de la

mano entre 15 y 17 cm.

- Variables controladas: se determinó que la posición del brazo debe permanecer en posición neutral, es decir, se debe formar un ángulo de flexión de 90°.
- Variables Independientes y dependientes: se establece la herramientas de corte diseñada por el grupo de investigación GEPS antes (HTA A) y después de la intervención (HTA B) como variables independientes y la eficacia del corte como variable dependiente.
- Descripción de la prueba: la prueba se realizó en el “Laboratorio Human Factor” de la Escuela de Diseño Industrial, y para garantizar la fiabilidad de los datos se utilizó el mismo tipo de flor (Rosas) procurando homogeneidad en el diámetro del tallo (0,7 cm) y manteniendo las condiciones de frescura, es decir, comprándolas el mismo día y antes de iniciar la prueba sumergir cada uno de los tallos en agua durante dos horas. La participante se ubica en posición de bipedestación formando un ángulo de flexión de brazo de 90° con la mano derecha y sujetando el tallo en posición horizontal con la mano izquierda, posteriormente, realiza 10 cortes consecutivos con cada herramienta (HTA A y HTA B) con un descanso de 3 minutos entre cada una. Al final de cada prueba las participantes diligenciaron el formato de Auto reporte de satisfacción (Anexo D).

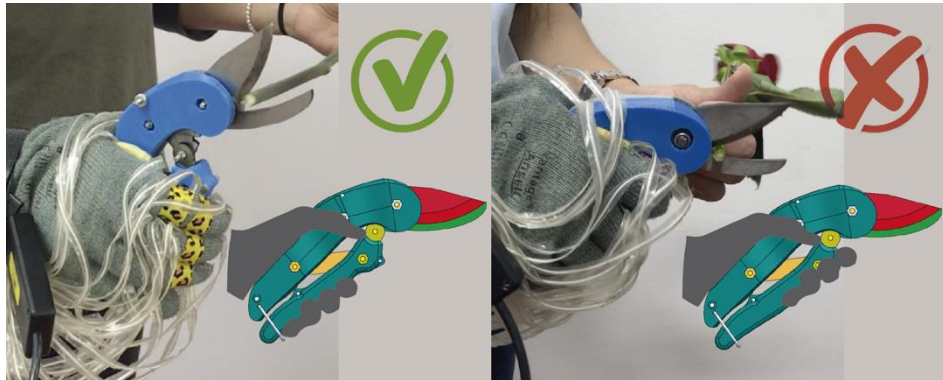
Figura 22. Posición brazo y elementos de la prueba (Flor, Hta A y Hta B)



5.3.2 Resultados de la prueba de verificación función de corte. A continuación, se presentan los resultados relacionados con la función de corte, el desempeño de las herramientas y el auto reporte de satisfacción aplicado a las participantes en el que se evaluó la percepción de los usuarios de las herramientas A y B durante su manipulación en el desarrollo de la prueba.

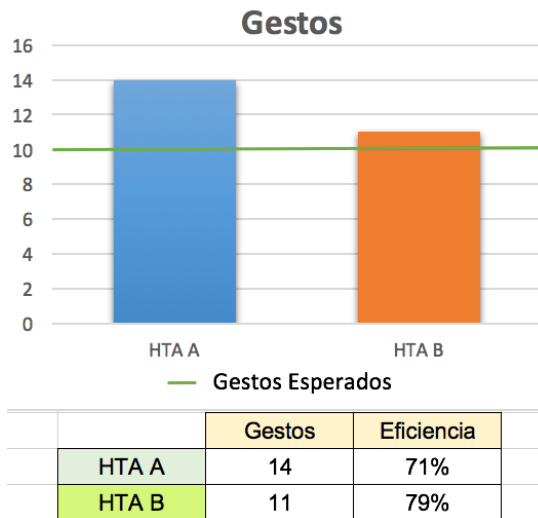
Función de corte: Para evaluar la función de corte se comparó el número de gestos de aprehensión realizados por el participante para generar 10 cortes, los errores durante la manipulación relacionados con el agarre incorrecto de la herramienta, es decir el desplazamiento de la posición de los dedos índice, medio, anular y meñique en el mango inferior (ver Figura 23) y finalmente los cortes fallidos considerándose como el gesto de aprehensión que no logró atravesar por completo el tallo.

Figura 23. Agarre correcto e incorrecto de las herramientas durante la prueba.



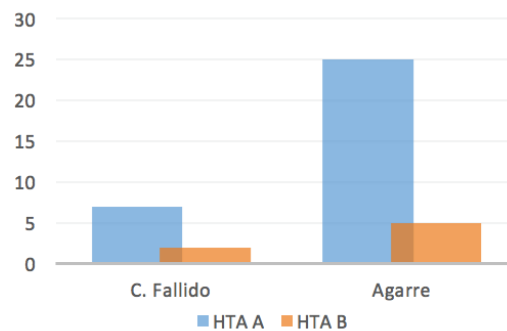
Con respecto a la prueba, se esperaba que para realizar 10 cortes se ejercieran 10 gestos de aprehensión, los cuales iban a ser comparados con los resultados obtenidos al utilizar cada una de las herramientas. Durante la prueba experimental se registró un máximo de 14 gestos de aprehensión con la HTA A y 11 gestos con la HTA B. Considerando lo anterior, se calculó el cumplimiento de la función de los cortes esperados, lo cual de acuerdo con la literatura, es un factor que determina la eficacia. Esta se puede definir mediante la relación de los resultados alcanzados (RA) y los resultados esperados (RE, su relación se muestra en la figura 24 y evidencia que con la HTA B se obtuvo un menor número de gestos de aprehensión en relación con los esperados.

Figura 24. Relación de las herramientas en función de los gestos de aprehensión y eficacia.



Por otra parte, haciendo referencia a los errores en el agarre de las herramientas, en la figura 25 se muestra que la herramienta A presentó un total de 25 errores, mientras que la herramienta B presentó un total de 5, además se presentaron 7 y 2 cortes fallidos con las herramientas A y B respectivamente.

Figura 25. Comparación del funcionamiento de las herramientas en función, cortes fallidos y agarre incorrecto de la herramienta anterior (HTA A) y la actual (HTA B).



	C. Fallido	Agarre
HTA A	7	25
HTA B	2	5

Se identificó que para las participantes fue mas sencilla la manipulación de la herramienta intervenida en este proyecto (HTA B) respecto a la herramienta inicial (HTA A), lo cual se observa en los resultados del auto reporte realizado al finalizar cada prueba y que se describen mas adelante (ver tabla 11).

Desempeño y percepción: Para evaluar el desempeño y con el fin identificar el grado de satisfacción por parte de las participantes, se recurrió a un auto reporte para medir la aceptación o el desacuerdo del participante respecto a un ítem específico. Para las respuestas se usó una escala de Likert, con afirmaciones que van desde lo desfavorable a lo favorable⁵⁸. El método Likert se caracteriza por tomar en cuenta la calificación que el participante asigna a cada parámetro,

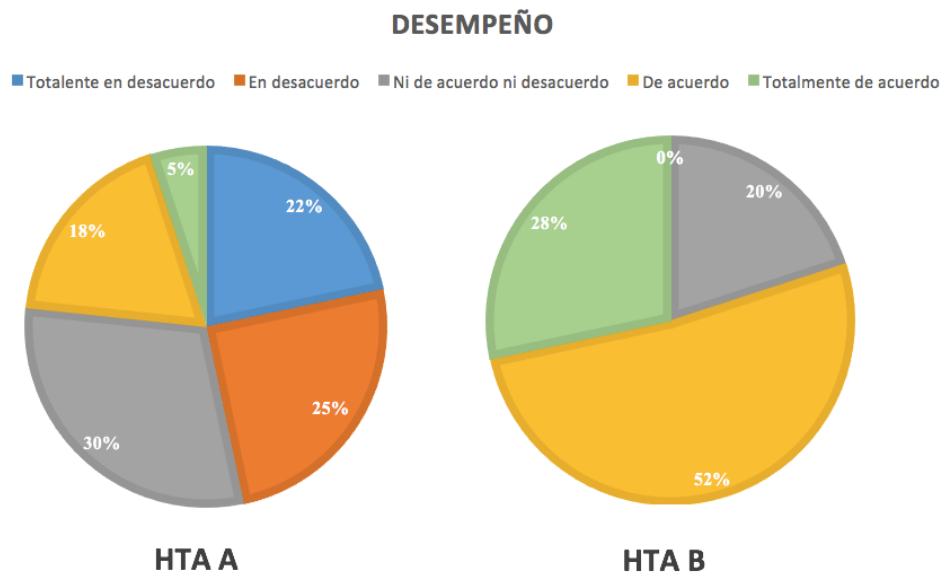
⁵⁸ OSPINA, B. E., SANDOVAL, J., ARISTIZÁBAL, C., & RAMÍREZ, M. C. La escala de Likert en la valoración de los conocimientos y actitudes de los profesionales de enfermería en el cuidado de la salud. *Investigación Educación Enfermería*, 23(1), 14–29. 2005. Disponible en: <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&ved=0CFQQFjAI&url=http://www.scielo.org.co/pdf/iee/v23n1/v23n1a02.pdf&ei=j7tvVd7gDsKdgt-14OYBw&usg=AFQjCNFOjXVktotsBD4X8S9eC6Wl93GfKg&bvm=bv.94911696,d.cWc>

mediante afirmaciones que tienen valores de uno a cinco, donde 1 es totalmente en desacuerdo y 5 es totalmente de acuerdo (Guil Bozal, 2006).

Las afirmaciones: “totalmente en desacuerdo, en desacuerdo, ni de acuerdo ni en desacuerdo, de acuerdo y totalmente de acuerdo”, son usadas para calificar los aspectos de desempeño evaluados:

1. El agarre de la herramienta durante el corte
2. El peso de la herramienta
3. El tamaño de la herramienta
4. La percepción de fuerza ejercida durante el corte
5. Dolores musculares durante la manipulación de la herramienta
6. La facilidad de operación de la herramienta

Figura 26. Comparación de Desempeño y herramientas A y B



En los resultados mostrados en la figura 26 los participantes manifestaron que la herramienta propuesta (Hta B) se ajusta a los parámetros con un 80%, en comparación a la herramienta inicial diseñada por el grupo GEPS cuyo porcentaje

se ajusta en un 23%. Por otra parte, se pudo calificar cada aspecto teniendo en cuenta la sumatoria del número de participantes que seleccionaron cada afirmación relacionada con su opinión respecto al uso de la herramienta, multiplicado por la puntuación establecida para cada una de ellas, lo cual se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 11. Resultados auto reporte de satisfacción.

		HERRAMIENTA A					HERRAMIENTA B						
		Total en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	TOTAL	Total en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	TOTAL
Puntuación		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
Aspecto de Desempeño	1	0	2	4	4	0	32	0	0	1	8	1	40
	2	0	4	4	2	0	28	0	0	4	2	4	40
	3	2	1	1	5	1	32	0	0	0	8	2	42
	4	3	6	1	0	0	18	0	0	4	4	2	38
	5	5	1	3	0	1	21	0	0	1	4	5	44
	6	3	1	5	0	1	25	0	0	2	5	3	41

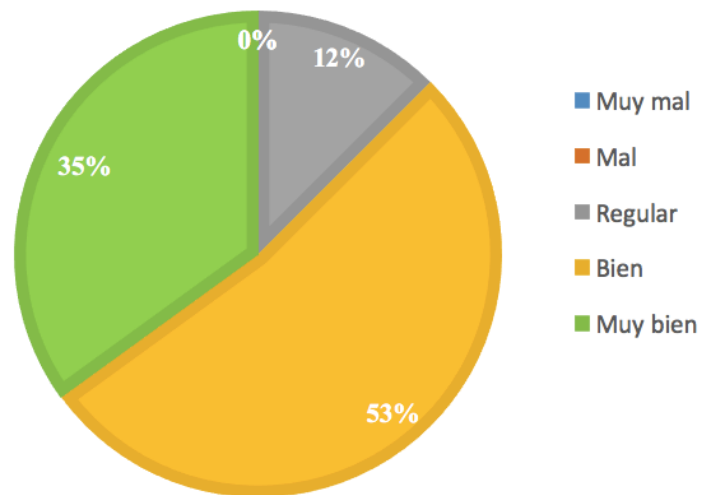
Los resultados evidencian que la herramienta propuesta fue mejor valorada en relación con la inicial, mostrando que los aspectos de desempeño donde la HTA. B se destaca se relacionan con el tamaño del mango de la herramienta y la aparición de dolores musculares al momento de ejercer el gesto de aprehensión. De esta forma las participantes manifestaron no presentar molestias en las manos durante la manipulación de la opción B, contrario a lo manifestado durante el uso de la opción A.

Por otra parte, para identificar la percepción del participante respecto a la herramienta propuesta, se establecieron criterios que el participante debía evaluar con calificativos como muy mal, mal, regular, bien y muy bien. Esta evaluación

permitió determinar la aceptación de la herramienta por parte del usuario la cual corresponde al 85%, en relación con los aspectos formales, usabilidad y manipulación (Figura 27). Los ítems establecidos para calificación fueron los siguientes:

- Impresión de la herramienta de corte propuesta antes y después de la prueba.
- Forma de uso de la herramienta de corte propuesta
- El agarre de la herramienta de corte propuesta.

Figura 27. Porcentaje de aceptación de la Herramienta propuesta.



6. PRUEBA DE VALIDACIÓN

En este capítulo se describen las características, los participantes y el procedimiento en el que se desarrolló la prueba realizada para validar la herramienta de estudio. El propósito de esta prueba consistió en obtener e Identificar la fuerza de aprehensión ejercida con la mano durante el uso de la herramienta de corte de flores propuesta y compararla con herramientas tradicionalmente usadas en el mercado. Para así dar respuesta al tercer objetivo específico y el objetivo general del presente trabajo.

6.1 CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO DE VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA.

6.1.1 Participantes. En este estudio participó el estudiante de la escuela de diseño Industrial Pablo Andrés Arenas Morantes (estudiante en proyecto de grado) y la docente PhD. María Fernanda Maradei García (Directora del Proyecto). Además, para la prueba se contó con la participación de mujeres entre los 25 y 50 años, trabajadoras que se dedican al corte de flores.

6.1.2 Criterio de selección de los participantes. La prueba se realizó a 18 mujeres entre los 25 y 50 años de edad a quienes firmaron el consentimiento informado (Anexo E Consentimiento Informado). Los criterios de inclusión que se tuvieron en cuenta para su selección fueron:

- No presentar molestias o dolores en codos, antebrazos y dedos de la mano
- No presentar quistes alrededor de la muñeca y/o ser diagnosticado de enfermedades como síndrome del manguito rotador, epicondilitis, epitrocleitis,

SCC, ganglión y dedo de gatillo

- Ancho de la mano entre 8 y 10 cm
- Longitud de la mano entre 14 a 20 cm
- Ser trabajadoras del área de corte en floristerías de la ciudad de Bucaramanga.

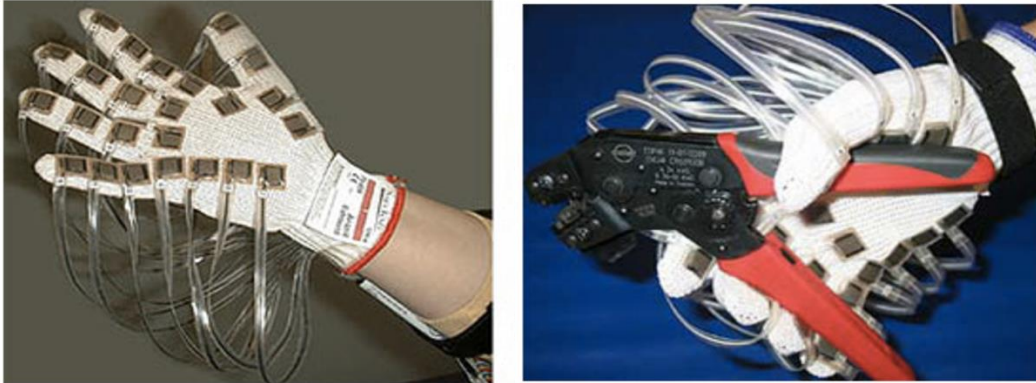
6.1.3 Entorno. En el planteamiento del problema al inicio del presente trabajo, se propuso evaluar el prototipo de prueba de la herramienta con usuarios reales en un contexto real, es decir, con personas que desarrollan su actividad laboral en el área de corte en campos de cultivos de flores. Sin embargo, a pesar de hacer los tramites organizacionales pertinentes para obtener los permisos de ingreso a los cultivos, no se logró llegar a un acuerdo. Teniendo en cuenta que los campos de cultivo de flores se encuentran en Bogotá, se decidió realizar la prueba en un entorno local, con mujeres cuya labor de corte no se desarrolla en campo sino en floristerías de la ciudad Bucaramanga.

6.1.4 Instrumentos o técnicas de recopilación de datos. Para la recopilación de datos se usó equipos de medida especializados como el guante de presión, que permitirá obtener datos normalizados. Éste guante de presión GPMS (Glove Pressure Mapping System) es un sistema que captura los datos de fuerza que ejerce la mano, consta de múltiples sensores que se ubican en el guante y se conectan por puerto USB al computador usando la interfaz de T7. El GPMS incorpora los sensores ISS en 20 y 24 configuraciones de sensores. Las ubicaciones de los sensores pueden ser fácilmente modificados por el usuario y se montan utilizando cintas de doble cara.

- *Especificaciones técnicas del equipo de medida:* Detección de área: 20 o 24 sensores de 0.25" X 0.25" (sensores adicionales pueden ser añadidos en orden especial). Tamaño del sensor: 0.25" X 0.25" Espesor: 0,36 mm (0,014"). Rango de presión calibrado: 0-100 psi (30 psi usando alta presión Cal Jig, 100

psi).

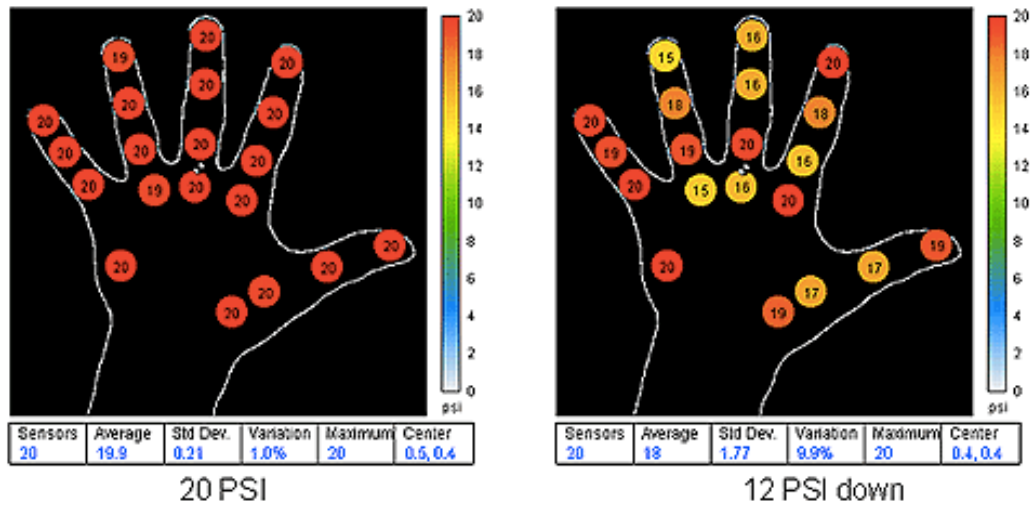
Figura 28. Sistema de guantes de presión



Fuente: Nex gen Ergonomics. Glove Pressure Mapping System. Disponible en: <http://www.nexgenergo.com/ergonomics/nexglove.html>

- Para el registro y medición de los datos obtenidos por el guante es necesario el uso del software FSA 4.1. Este software ofrece soluciones de mapeo de presión para el diseño de productos, realiza seguimiento de las estadísticas de presión en una o varias zonas, permite medir y visualizar diferentes áreas seleccionadas. Por último, ofrece múltiples escalas mmHg PSI, n / cm² kpa etc.

Figura 29. Mapeo de presión en el software FSA 4.1



Fuente: Nex gen Ergonomics. Glove Pressure Mapping System. Disponible en: <http://www.nexgenergo.com/ergonomics/nexglove.html>




6.2 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA.

6.2.1 Objetivo. Identificar la fuerza de aprehensión ejercida con la mano durante el uso de la herramienta de corte de flores propuesta (H1) en comparación con las herramientas tradicionalmente usadas en el mercado (H2, H3 y H4).

6.2.2 Variables controladas. El gesto de aprehensión para realizar el corte con las herramientas, se hizo en posición neutral de la muñeca. Por otro lado, la flexión y la altura del brazo no son factores influyentes en la fuerza que ejercen los dedos durante el uso de la herramienta, por lo tanto, estas variables no serán consideradas en la validación en campo.

6.2.3 Variables independientes y dependientes. Para esta prueba se establecen la herramienta de corte como variable independiente con cuatro variaciones (H1, H2, H3 y H4) y la fuerza ejercida por cada dedo como variables dependientes.

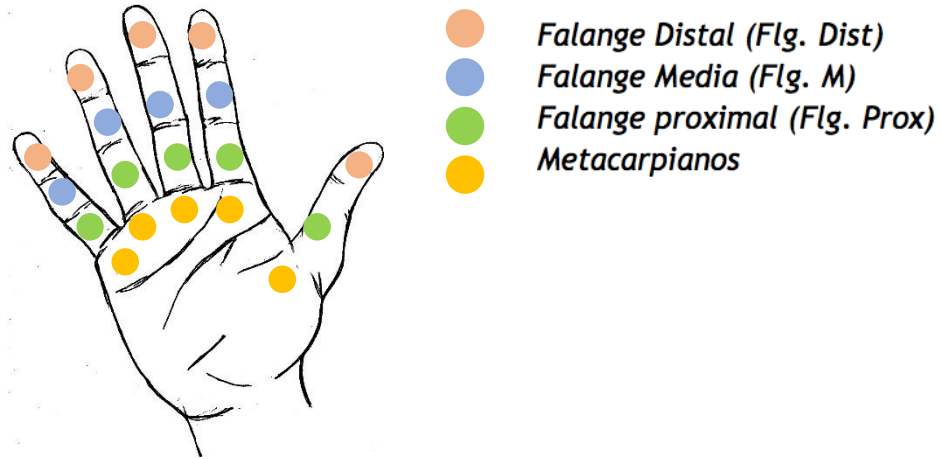
Tabla 12. Características de la variable independiente “Herramienta de corte”

<i>Herramienta</i>	<i>Características</i>	<i>Dimensiones</i>	
H1. Herramienta propuesta	Herramienta de corte tipo cizalla desarrollada en el proyecto 1808 de investigación interna de la Universidad Industrial de Santander.	Diámetro max. aprehensión: 8 cm Diámetro min. aprehensión: 5 cm Longitud asas*: 14 cm	
H2. Herramienta del mercado	Herramienta de corte tipo cizalla del mercado utilizada, generalmente, en los cultivos de flores.	Ø Max: 14 cm Ø min. 5 cm Long. Asas: 15 cm	
H3 Herramienta del mercado marca: ERGO.	Tijeras con corte bypass para ramas y tallos verdes.	Ø Max : 13,6 cm Ø min. 6 cm Long. Asas: 13,5 cm	
H4. Herramienta del mercado marca: TRAMONTINA	Tijera de corte tipo yunque con cuchilla de corte de carbón Steel SK-5 sin recubrimiento antiadherente.	Ø Max : 12,3 cm Ø min. 4 cm Long. Asas: 14 cm	
*Longitud de las asas medidas desde el fulcro			

Fuente: RODRÍGUEZ,RJ., MARADEI GARCÍA, M. F., & MARTÍNEZ, J. Proyecto de investigación 1808 programa convocatoria interna. 2016

El cálculo de fuerza ejercida depende de la distribución de 24 sensores que serán ubicados sobre las falanges de los dedos (distal, media, proximal) y sobre los metacarpianos de la mano (Figura 30).

Figura 30. Distribución de los sensores según la palma de la mano



6.2.4 Materiales y métodos. La siguiente tabla describe el paso a paso de la prueba, en ella se especifican las actividades que se aplicaron a los participantes y el tiempo requerido para cada una de ellas.

Tabla 13. Protocolo para el procedimiento de la prueba

	<i>Actividad</i>	<i>Tiempo para cada participante. (min)</i>
1	Familiarización con las herramientas H1, H2, H3 y H4.	3
2	Explicación del propósito, objetivo e instrumentos de medición	5
3	Lectura y firma del consentimiento informado.	10
4	Registro de datos: Medidas de la mano Mano dominante.	5
5	Instalación de los dispositivos de medición en la mano dominante del participante.	5
6	Entrega de las herramientas al participante en orden aleatorio (ver tabla de aleatorización).	5
7	Ejecución de la prueba (ver tabla de aleatorización)	2 por cada herramienta
8	Retirar los equipos	3

	<i>Actividad</i>	<i>Tiempo para cada participante. (min)</i>
9	Finalización de la prueba	-

6.2.5 Duración de la prueba. Se realizaron 18 pruebas que equivalen al número de participantes del experimento, cada una se desarrolló en un periodo de una jornada laboral; donde el participante realizó 10 cortes con cada herramienta, para un total de 40 cortes por participante. Las herramientas fueron entregadas en orden aleatorio con el fin de no sesgar los datos de la prueba y mejorar la fiabilidad de los resultados.

El tiempo necesario para el desarrollo de cada prueba fue de 40 minutos, sin embargo, por reglamento interno de las floristerías y disponibilidad de los participantes fue necesario realizar la actividad los días martes y jueves ya que estos días se realizaba el recibo del surtido de flores, factor favorable para el experimento, puesto que así fue posible asegurar las condiciones de frescura de los tallos, por tal motivo las 18 pruebas se realizaron en un mes de trabajo.

7. RESULTADOS

En el presente capítulo se registran los datos de la prueba descrita en el capítulo anterior, estos resultados permitieron comparar en términos de fuerza ejercida durante el gesto de aprehensión, la herramienta diseñada por el grupo GEPS con tres herramientas del mercado. En la prueba participaron 18 mujeres entre los 25 y 50 años, con las siguientes medidas antropométricas de la mano: ancho promedio de 9,5 cm, largo promedio de 16,1 cm y perímetro promedio de 22,6 cm respectivamente. Las participantes realizaron 10 repeticiones de corte por cada herramienta, para mejorar la fiabilidad de los resultados.

Por otra parte, para el procesamiento de la información suministrada por el software de medición FSA 4.1 utilizado en la prueba, se identificaron los datos correspondientes al gesto de aprehensión considerando los momentos en los que los sensores registraron mayor cantidad de valores significativos. En segunda instancia se analizaron los picos máximos y la media de la presión ejercida y el área de contacto por la mano durante cada corte realizado por participante con cada herramienta.

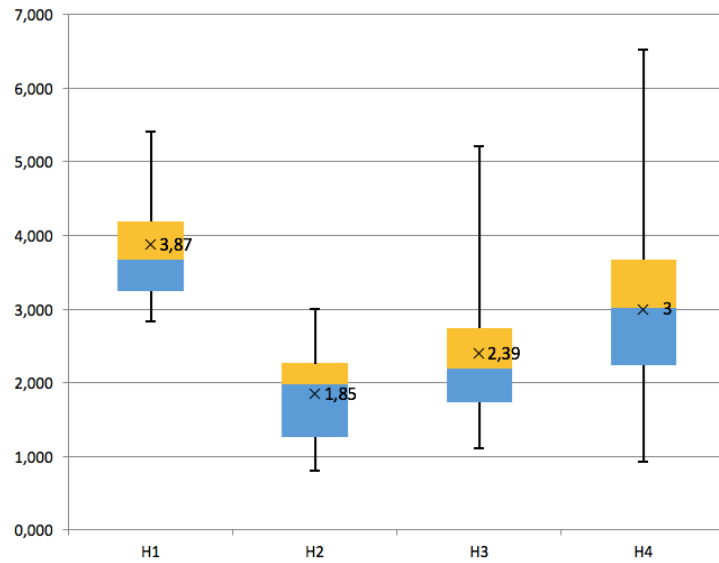
Los resultados se observan en la tabla 14, evidenciando que la Hta1 presenta una presión máxima de 14,09 N/cm², y la Hta 2 con 5,57 N/cm² ejerce menor presión respecto a los otros objetos de estudio. Sin embargo, haciendo referencia al área de contacto la herramienta que presenta mayor área de contacto es la herramienta 1 con un área máxima de contacto de 9,33 cm², caso contrario a la herramienta 2 que presenta menor resultado con 6,24 cm²

Tabla 14. Comparación de la presión (P) ejercida y el área (A) activada por la mano durante el gesto de aprehensión.

	HTA 1	HTA 2	HTA 3	HTA 4
Presión máx. (N/cm ²)	14,049	5,573	10,871	11,495
Presión promedio (N/cm ²)	3,875	1,851	2,393	3,002
Área promedio (cm ²)	9,337	6,240	7,774	7,984
Área máx. (cm ²)	6,139	4,629	5,318	5,687

En la figura 31 se observan los rangos de presión promedio ejercida por la mano durante el uso de las herramientas de estudio, muestra que los valores máximos de la fuerza de aprehensión son diferentes con cada herramienta. La herramienta con la que se ejerce mayor fuerza es la herramienta 1 con 3,87 N/cm² en promedio, seguida por la herramienta 4 y 3 con 3 N/cm² y 2,39 N/cm² respectivamente y finalmente la herramienta 2 ejerce una fuerza de aprehensión de 1,85 en promedio. Además, es posible observar que los valores promedios de las herramientas 1 y 3 se encuentran por encima de la mediana, sin embargo, la herramienta que presentó el pico máximo más alto fue el número 4 con 6,53 N/cm².

Figura 31. Comparación de las medianas en función del factor HTA y la presión de aprehensión (N) ejercida al cortar la flor.



Por otra parte Saavedra en su investigación afirma que la fuerza máxima de aprehensión en las herramientas tipo tijera es aproximadamente de 9,07 kg ⁵⁹ sin considerar la frecuencia de utilización. De acuerdo con lo anterior las tijeras evaluadas en este estudio se encuentran por debajo de este límite, con los valores 8,8 kg (HTA 1), 2,6 kg (HTA 2), 5,9 kg (HTA3) Y 6,7 kg (HTA 4).

⁵⁹ SAAVEDRA, & QUINTANA, Op. Cit.

8. CONCLUSIONES

La revisión de la literatura permitió realizar una intervención técnica de las partes metálicas de la herramienta, sometiendo las piezas a un tratamiento térmico de templado, un proceso tecnificado de rectificado en todos los componentes y un proceso mecanizado de afilado en las cuchillas. Estos procesos se realizaron con el fin de mejorar las propiedades mecánicas del material, asegurar la uniformidad entre las superficies de contacto y finalmente otorgar los ángulos que según la literatura se consideran idóneos en las herramientas de corte manual.

Se realizó una intervención formal de los mangos para garantizar el fácil ensamblaje de las piezas en contacto con la mano y las piezas internas de la herramienta. De acuerdo a las pruebas realizadas al prototipo se demostró que:

- El ángulo de ataque de 26° aplicado en la cuchilla ejerce menor fuerza durante el gesto de aprehensión que la herramienta A (previa de la intervención), que contaba con un ángulo de ataque de 15° , a pesar de que la literatura establece ángulos inferiores de 15° para materiales duros y 26° para materiales blandos.
- Después de la intervención los mangos propuestos permiten el práctico ensamblaje de las piezas que lo conforman, según la razón de alimentación y ajuste del método Lucas, con valores de 1,25 y 2,2 respectivamente.
- El material y el rediseño de los mangos propuestos presentarían un desempeño adecuado y cumplen con un factor de seguridad general de 1,52

Por otra parte, la evaluación de la eficacia del corte de la herramienta en términos del cumplimiento y del grado de cumplimiento de la función principal no presentó dificultades para las participantes durante la manipulación de la herramienta, evidenciando un mejor desempeño en comparación con la herramienta diseñada previamente por el grupo GEPS. Del mismo modo se observó que la herramienta

propuesta muestra un 80% de aceptación y el 88% en satisfacción mientras que la herramienta A tiene un 23% de aceptación en su desempeño.

Finalmente, la comparación realizada entre las herramientas evidenció que la alternativa propuesta ejerce una fuerza de aprehensión considerable. Sin embargo, su valor es menor al límite máximo permitido según los estudios Fitzhugh (1973) y presentados por Saavedra y Quintana (2009). Por lo tanto, la herramienta propuesta en este proyecto, no logró dar respuesta a la pregunta de diseño.

Teniendo en cuenta la situación presentada al final de la investigación, en la que no se pudo lograr la disminución de la fuerza de aprehensión ejercida durante el uso de la herramienta de corte diseñada por el grupo "GEPS" e intervenida en este trabajo, se determinó analizar los componentes que no hacían parte de este estudio (el mecanismo) para identificar el factor que afecta el desempeño (Anexo F Identificación del factor crítico). Los análisis realizados mostraron que en el mecanismo actual se presenta una reducción de fuerza de 9,5 veces la fuerza inicial y se localiza en el elemento de transmisión. Por este motivo, se presenta a continuación una propuesta de diseño que dé solución al problema identificado.

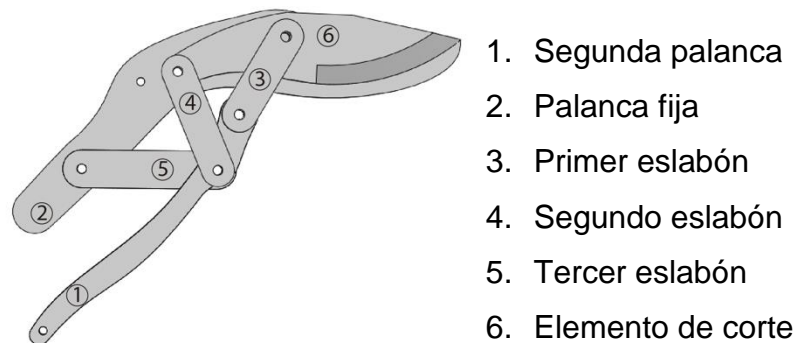
9. RECOMENDACIONES

Se presenta como alternativa un sistema conformado por elementos de dos fuerzas y de puntos de anclaje, con el fin de remplazar los engranajes propuestos por el grupo “GEPS” en la herramienta actual.

En el sistema propuesto se conservan elementos del mecanismo de fuerza infinita de la herramienta actual, tales como la palanca fija, el elemento de unión y la segunda palanca. Piezas como los engranajes y elemento de sujeción son eliminados para ser remplazados por eslabones, que conforman una armadura articulada al elemento de corte. Se respetaron las dimensiones y relaciones de las piezas originales entre ellas, el rango del diámetro de aprehensión (5 – 8.2 cm)

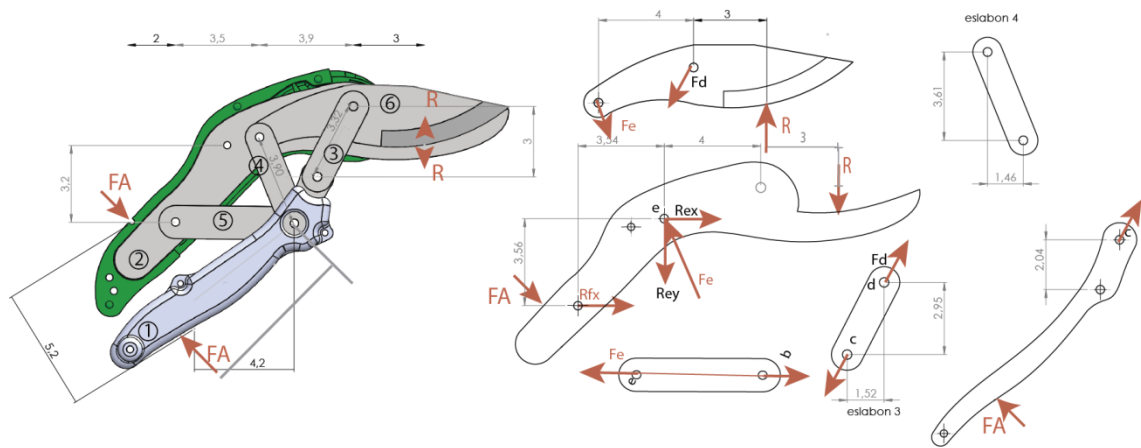
En la figura 32, se observa el sistema propuesto y sus elementos, conformado por una primera palanca fija que en uno de sus extremos tiene una cuchilla, una segunda palanca encargada de realizar el movimiento transmitido a un primer eslabón acoplado a un elemento de corte pivotado a un eje fijo. Los eslabones 4 y 5 buscan fijar el sistema, permiten que la segunda palanca oscile y ejecute la fuerza.

Figura 32. Elementos de sistema propuesto de la herramienta



De igual manera que en el análisis estático del sistema actual, se consideró una fuerza de entrada de 1,6 kgf (15,69 N) ubicada a 5,1 cm del punto “B” en el mango inferior y una distancia horizontal de 3 cm, como punto de contacto entre el tallo y las cuchillas. A continuación la figura 33 muestra el análisis estático y diagramas de cuerpo libre de los elementos considerados en el sistema propuesto.

Figura 33. Análisis estático y DCL de cada uno de los elementos que conforman la herramienta actual.



Análisis Estático

$$F_A = 7,85 \text{ [N]}$$

del DCL del elemento 1

sumatoria de momentos en B = 0

$$F_A \cdot \left[\sqrt{20^2 + 60^2} \right] = F_C \cdot \sin(71,6) \cdot \left[\sqrt{30^2 + 20^2} \right]$$

sumatoria de fuerzas en x = 0

$$B_X = F_C \cdot \cos(71,6) - F_A \cdot \cos(18,4)$$

sumatoria de fuerzas en y = 0

$$B_Y = -F_C \cdot \sin(71,6) + F_A \cdot \sin(18,4)$$

Del DCL del elemento 3

$$F_C = -F_D$$

$$F_C = F_D$$

Del DCL del elemento 6

Sumatoria de momentos en E = 0

$$F_D = -F_D$$

$$40 \cdot F_D \cdot \cos(71,6) - 6 \cdot F_D \cdot \sin(71,6) = R$$

sumatoria de fuerzas en x = 0

$$F_D \cdot \sin(71,6) = F_{E,X}$$

sumatoria de fuerzas en y = 0

$$F_{E,Y} = F_D \cdot \cos(71,6) - R$$

Del DCL del elemento 2

Sumatoria de momentos en E = 0

$$F_F \cdot 36 = 70 \cdot R + F_A \cdot (\cos(55) \cdot 55 + \sin(55) \cdot 66)$$

sumatoria de fuerzas en Y = 0

$$F_{E,Y} = F_A \cdot \cos(55) + R + F_H \cdot \cos(67,4)$$

Resultados.

Unit Settings: [J]/[C]/[Pa]/[kg]/[degrees]

$B_X = -2,868$ [N]

$B_Y = -11,29$ [N]

$F_A = 7,85$ [N]

$F_C = 14,51$ [N]

$F_{C,DOT} = -14,51$ [N]

$F_D = 14,51$ [N]

$F_{D,DOT} = -14,51$ [N]

$F_{E,X} = 13,77$ [N]

$F_{E,Y} = -96,02$ [N]

$F_F = 214,3$ [N]

$F_H = -523,4$ [N]

$R = 100,6$ [N]

Los resultados del mecanismo propuesto muestran un aumento de 6.35 veces en la fuerza resultante, es decir la fuerza de aprehensión de entrada de 1,6 kgf (15,69 N) genera una fuerza de corte de 10,19 kgf (100,6).

Los resultados mostraron que en el mecanismo actual se presenta una reducción de fuerza, en ellos se puede observar que la fuerza de aprehensión de entrada de 0,8 kgf (7,85 N) es entregada al elemento de transmisión y éste a su vez la transfiere al elemento de corte, el cual genera una resultante de 0.16 kgf (1,64 N), lo que indica que hay una disminución de 9,5 veces la fuerza inicial. Por tanto se pudo concluir que el factor que influye en el desempeño de la herramienta propuesta se presenta en el elemento de transmisión.

BIBLIOGRAFÍA

ACINDAR. Productos para la Industria. Miami. 2011. Disponible en: <http://www.acindar.com.ar/pdf/catalogo-industria-2011.pdf>

AEFI. El Síndrome del Tunel de Carpo. 2015. Disponible en: <http://www.aefi.net/Fisioterapiaysalud/Sindrometuneldecarpo.aspx#laboral>

ASOCOLFLORES. Flor y cultura colombiana. Revista de La Asociación Colombiana de Exportadores de Flores, 6, 4. 2015.

ASOCOLFLORES. Las flores colombianas se toman San Valentín. 2017. Disponible en: <http://asocolflores.net.co/comunicaciones/noticias/las-flores-colombianas-se-toman-san-valentin/104/1>

BOTNEY, R., PRIVITERA, M. B., & DESIGN, M. 16 Hand Tool Design, 645–714. 2004.

BROOKER, K. G. S. and J. D. Process Selection: from design to manufacture. Universidad EAFIT. 2014

BUTI, L. B. Ergonomic Product Design. International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors. 2006

CALISTRAT, M. M. Mechanical Shaft Couplings, II, 565–579. 1983

CEE, C. de E. de E. Universidad javeriana obtiene nueva patente. Que Hay de Nuevo, 15. 2013

COLOVIC, G. Ergonomic Conditions of Work. In Ergonomics in the Garment Industry (pp. 61–103). 2014

Consultora, E. Ergonomía - Ergonomía aplicada a las Herramientas - 01º Parte. Retrieved September 23, 2017, 2002. Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=64>

CHANDRASEGARAN, S. K., RAMANI, K., SRIRAM, R. D., HORVÁTH, I., BERNARD, A., HARIK, R. F., & GAO, W. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. *Computer-Aided Design*, 45(2), 204–228. 2013. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2012.08.006>

EDWARDS, R. Cutting Tools, 159–280. 1993

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Tratamientos térmicos. 2008

GARCÍA, G., GÓMEZ, A., & GONZALEZ, E. Revisión y actualización Síndrome del túnel del carpo. *Morfología*, 3, 11–23. 2009

HERNANDEZ, J. C. Proceso de industrialización local de prototipos funcionales. Universidad EAFIT. 2014

LUNA, J. Potocolos de intervención para la prevención de los desórdenes musculo esqueléticos de miembro superior y espalda en actividad de manufactura. 2011

MARADEI GARCÍA, M. F., VALENCIA, A., & ESPINEL, F. Estudio sobre la influencia del diámetro de apertura en la fuerza ejercida por cada dedo, 18(6), 935–945. 2016

MARADEI, M. F. Herramienta Corte de Flores - Texto Patente. Colombia. 2015

MARADEI, M. F., ESPINEL, F., & GALINDO, Z. Manual tool grip span and grip force during flower cutting. *Archivos de Prevencion de Riesgos Laborales*, 17(4), 190–195. 2014. Disponible en: <https://doi.org/10.12961/aprl.2014.17.4.03>

MARTÍN-ALVAREZ, P. J. Capítulo 15 Análisis de varianza factorial El procedimiento Modelo lineal general: Prácticas de Tratamiento Estadístico de Datos Con El Programa SPSS Para Windows: Aplicaciones En El Área de Ciencia Y Tecnologia de Alimentos, 1–36. 2006

Mecánica, G. T. Rectificado 1.-, 1–17. 2014

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, 1. Guía de atención basada en la evidencia para desórdenes musculo esqueleticos (DME) (GATISO-DME). Ministerio de la Protección Social. 2006

MOTT, R. L. Diseño de elementos de maquinas (4ed ed.). Mexico: Pearson Educacion. 2006

OSPINA, B. E., SANDOVAL, J., ARISTIZÁBAL, C., & RAMÍREZ, M. C. La escala de Likert en la valoración de los conocimientos y actitudes de los profesionales de enfermería en el cuidado de la salud. *Investigación Educación Enfermería*, 23(1), 14–29. 2005. Disponible en: <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&ved=0CFQQFjAI&url=http://www.scielo.org.co/pdf/iee/v23n1/v23n1a02.pdf&ei=j7tvVd7gDsKdgt-14OYBw&usg=AFQjCNFOjXVkt0TSBD4X8S9eC6WI93GfKg&bvm=bv.94911696,d.cWc>

OVIEDO, G. L. Antecedentes y contexto histórico del concepto percepción. *Revista de Estudios Sociales*, (18), 89–96. 2004

PALENCIA SÁNCHEZ, F., GARCIA, O., & RIAÑO CASALLAS, M. I. Carga de la Enfermedad Atribuible al Síndrome de Túnel del Carpo en la Población Trabajadora Colombiana: Una Aproximación a los Costos Indirectos de una Enfermedad. *Value in Health Regional Issues*, 2(3), 381–386. 2013. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.vhri.2013.10.003>

PIÑEDA, A. E. El Túnel Carpiano : Riesgo ergonómico en trabajadoras de cultivo de flores. *Ingeniería, Matemáticas Y Ciencias de La Información*, 1, 15–24. 2014

Prevenir. Enfermedades más comunes en los trabajadores Colombianos. 2015. Disponible en: <http://prevencionar.com.co/2015/10/07/enfermedades-mas-comunes-en-los-trabajadores-colombianos/>

QUERVAIN, T. De. Las patologías por movimientos y esfuerzos de repetición : Informe para un daño anunciado ., 1–8. 1999

RODRIGUEZ, J., MARADEI GARCIA, M. F., & MARTINEZ, J. Proyecto de investigación 1808 programa convocatoria interna. 2016

SAAVEDRA, L., & QUINTANA, L. Análisis dinamométrico en herramientas de corte de rosas. 2009

SARADUADI, I. I. Universidad nacional autónoma de México. 2010

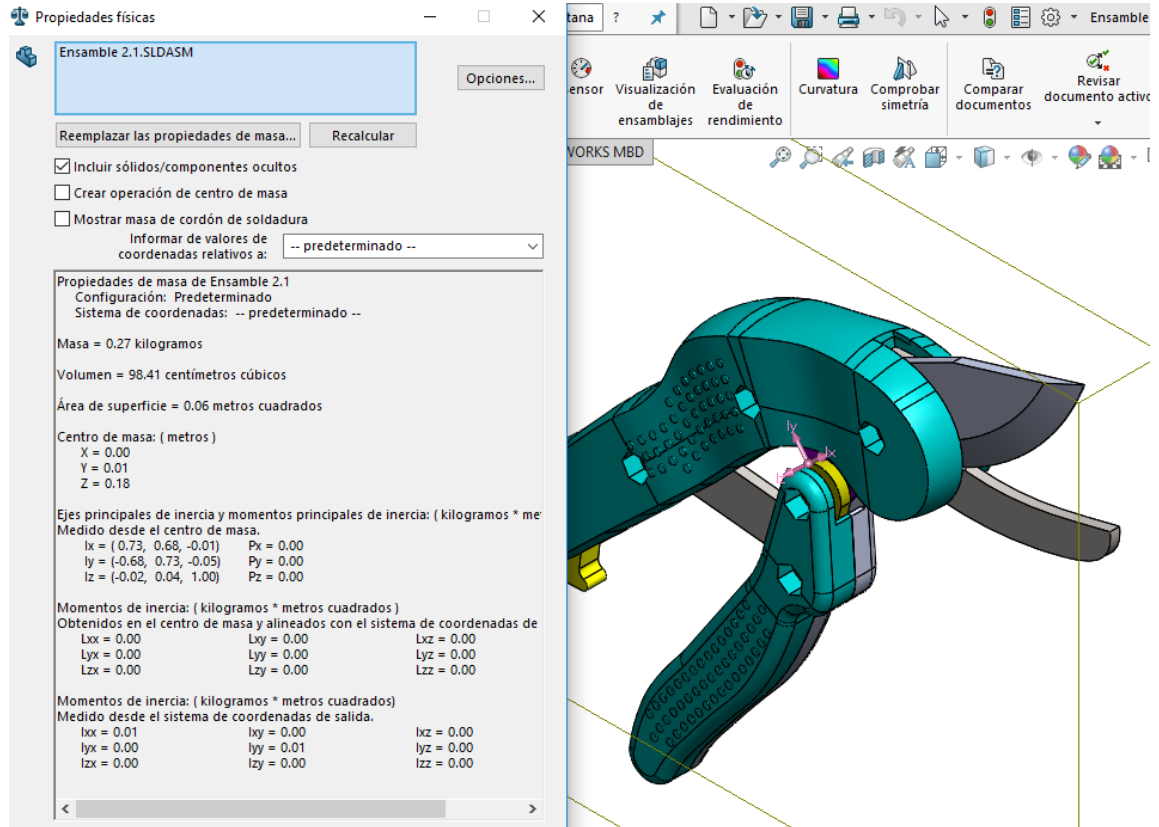
SELVARAJ, P., RADHAKRISHNAN, P., & ADITHAN, M. An integrated approach to design for manufacturing and assembly based on reduction of product development time and cost. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42(1–2), 13–29. 2009. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00170-008-1580-8>

VALERO, E. A., & REYES, K. C. de responsabilidad social corporativa del sector floricultor Markets for several decades 3UCH link with globalisation has placed sector entrepreneurs within a scenario which has led to frequent questioning and discussion concerning work and environmental. *Innovar*, 16, 73–90. 2006.

VELASCO, F. Tratamientos Térmicos. *Tecnología Industrial II*, 1–5. 2010

ANEXOS

ANEXO A. Propiedades físicas de los mangos.



Propiedades físicas

Ens_Herramienta_V2.2.SLDASM Opciones...

Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular

Incluir sólidos/componentes ocultos

Crear operación de centro de masa

Mostrar masa de cordón de soldadura

Informar de valores de coordenadas relativos a: -- predeterminado --

Propiedades de masa de Ens_Herramienta_V2.2

Configuración: explo

Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

* Incluye las propiedades físicas de uno o más componentes/sólidos ocultos:

Masa = 0.19 kilogramos

Volumen = 86.46 centímetros cúbicos

Área de superficie = 0.07 metros cuadrados

Centro de masa: (metros)

X = -0.01
Y = -0.01
Z = 0.17

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (kilogramos * metros cúbicos)

Medido desde el centro de masa:

$I_x = (0.71, 0.70, -0.01)$	$P_x = 0.00$
$I_y = (-0.70, 0.71, -0.01)$	$P_y = 0.00$
$I_z = (0.00, 0.01, 1.00)$	$P_z = 0.00$

Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados)

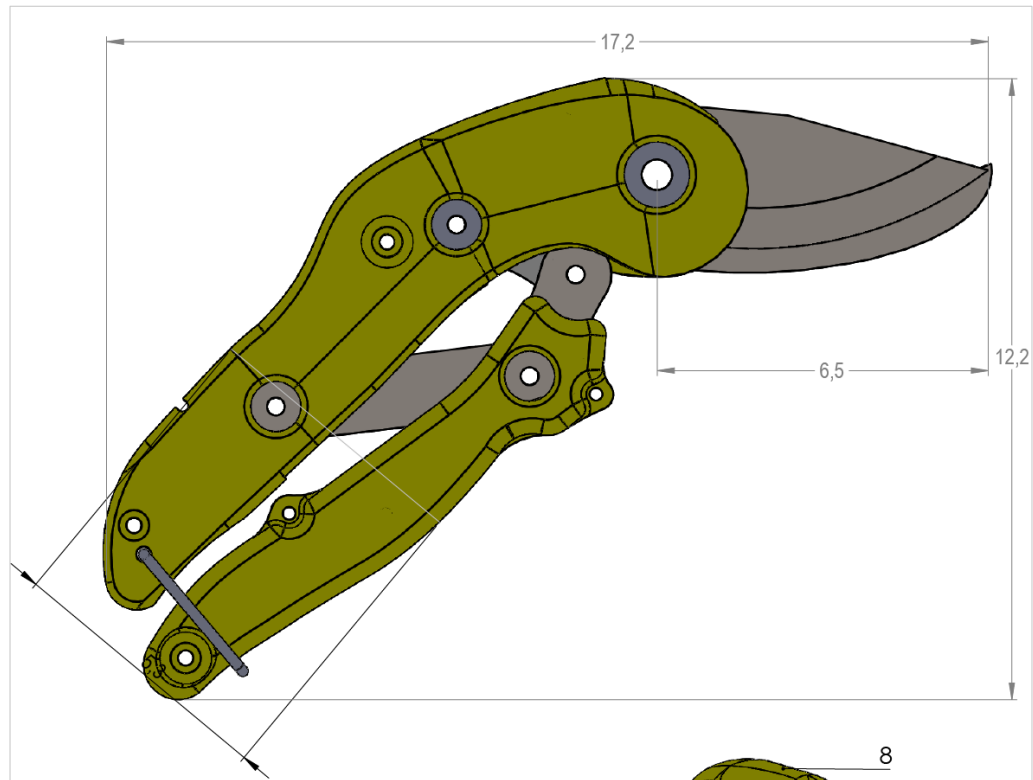
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas

$L_{xx} = 0.00$	$L_{yy} = 0.00$	$L_{zz} = 0.00$
$L_{yx} = 0.00$	$L_{xy} = 0.00$	$L_{yz} = 0.00$
$L_{zx} = 0.00$	$L_{zy} = 0.00$	$L_{zz} = 0.00$

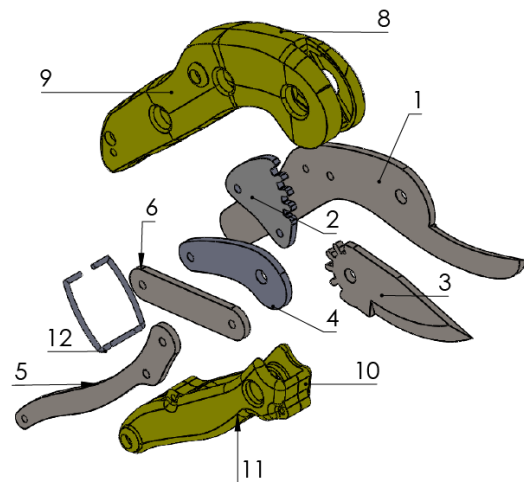
Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 0.01$	$I_{yy} = 0.00$	$I_{zz} = 0.00$
$I_{yx} = 0.00$	$I_{xy} = 0.01$	$I_{yz} = 0.00$
$I_{zx} = 0.00$	$I_{zy} = 0.00$	$I_{zz} = 0.00$

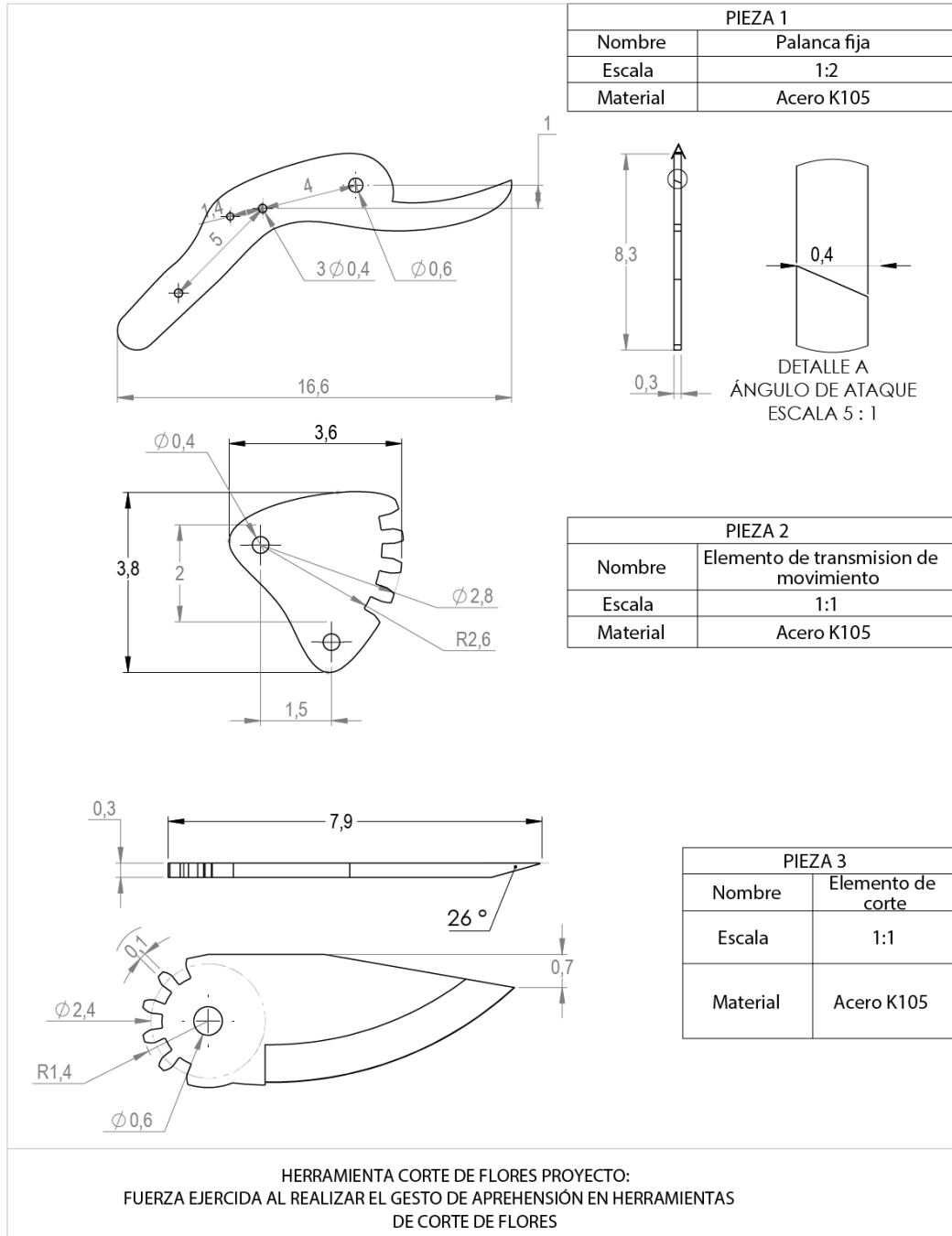


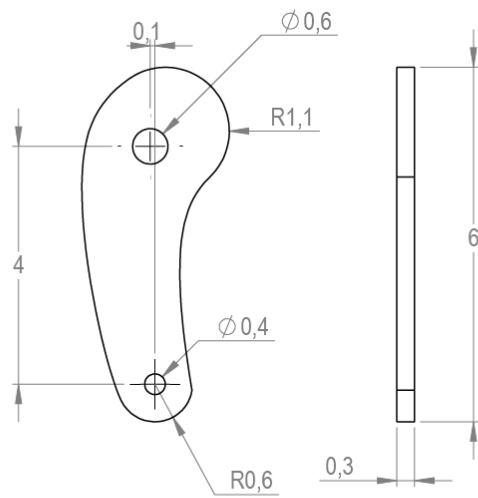
COMPONENTES DE LA HERRAMIENTA	
#	Nombre
1	Palanca Fija
2	Elemento de transmisión de movimiento
3	Elemento de corte
4	Elemento de unión
5	Segunda palanca
6	Elemento de sujeción
7	Resorte
8	mango superior A
9	Mango superior B
10	Mango Inferior A
11	Mango Inferior B
12	Seguro



HERRAMIENTA CORTE DE FLORES PROYECTO:
 FUERZA EJERCIDA AL REALIZAR EL GESTO DE APREHENSIÓN EN HERRAMIENTAS
 DE CORTE DE FLORES

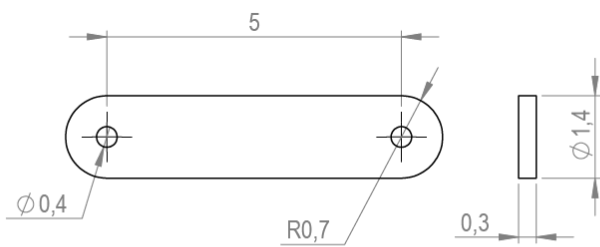
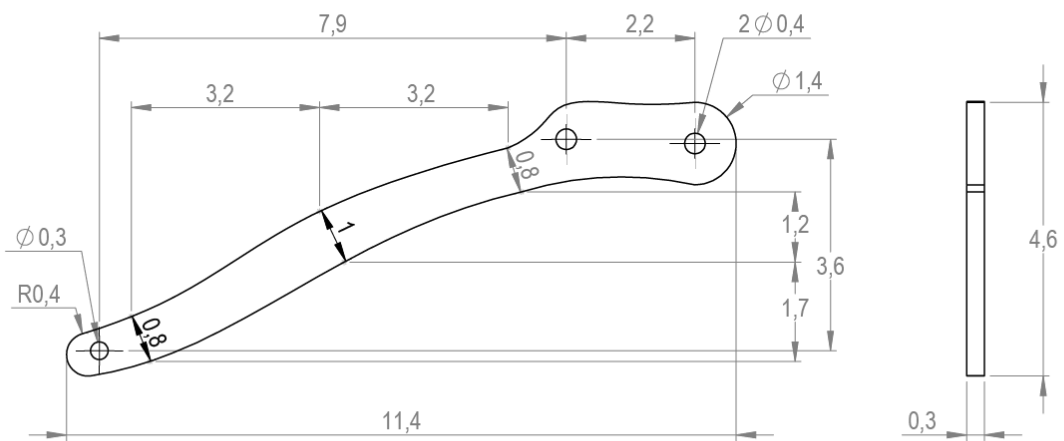
ANEXO B. Planos Técnicos





PIEZA 4	
Nombre	Elemento de unión
Escala	1:1
Material	Acero K105

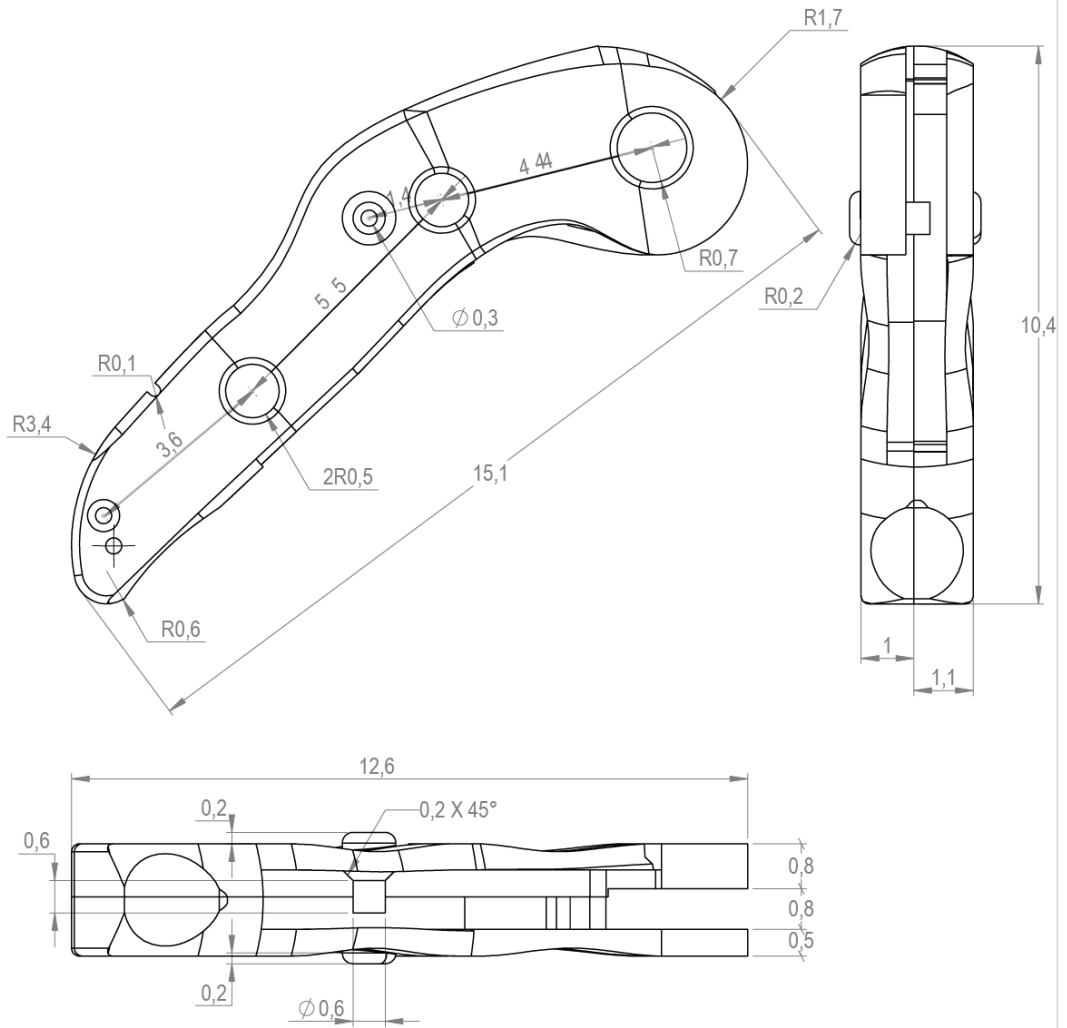
PIEZA 5	
Nombre	Segunda palanca
Escala	1:1
Material	Acero K105



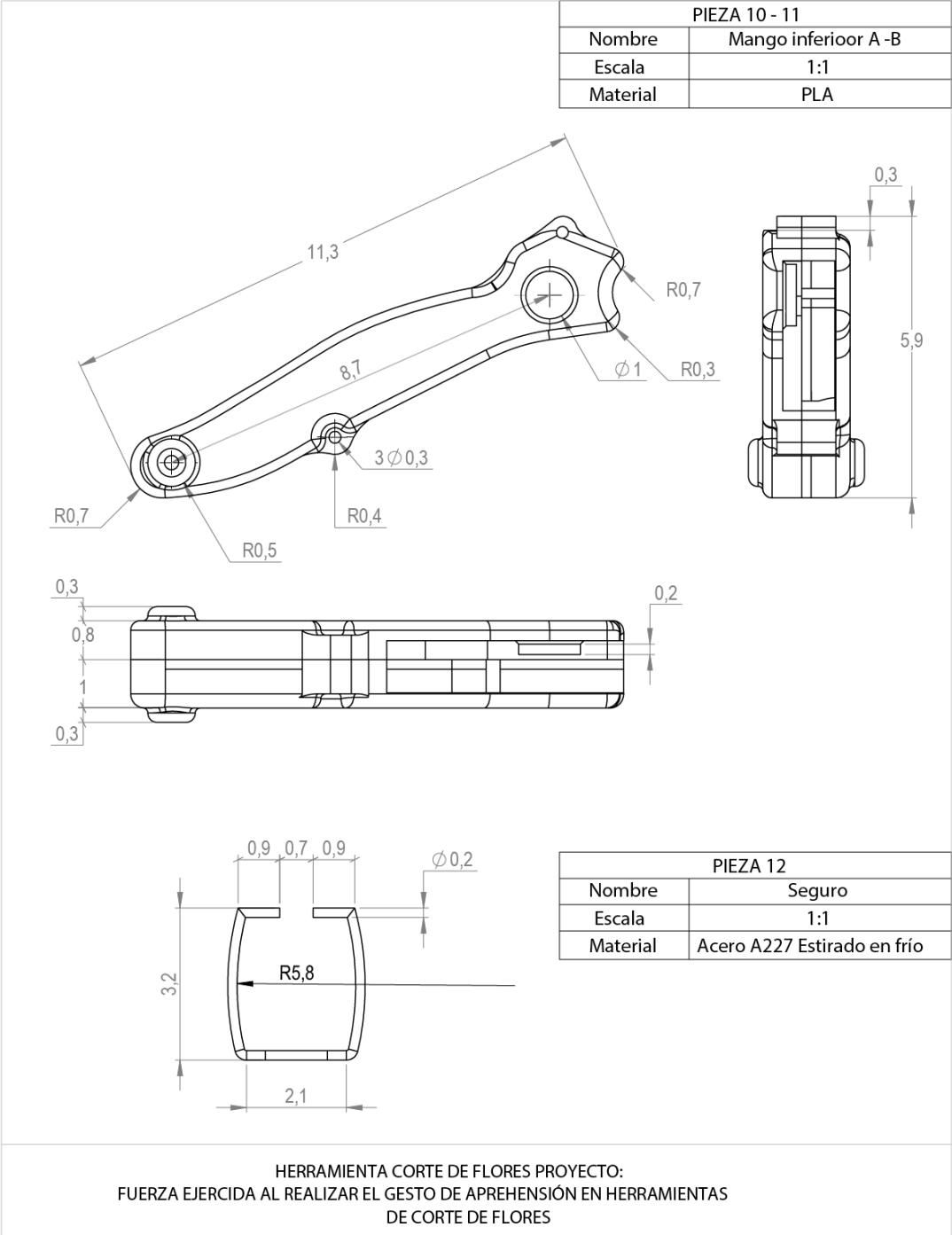
PIEZA 6	
Nombre	Elemento de sujeción
Escala	1:1
Material	Acero K105

HERRAMIENTA CORTE DE FLORES PROYECTO:
FUERZA EJERCIDA AL REALIZAR EL GESTO DE APREHENSIÓN EN HERRAMIENTAS
DE CORTE DE FLORES

PIEZA 8 - 9	
Nombre	Mango superior A-B
Escala	1:1
Material	PLA

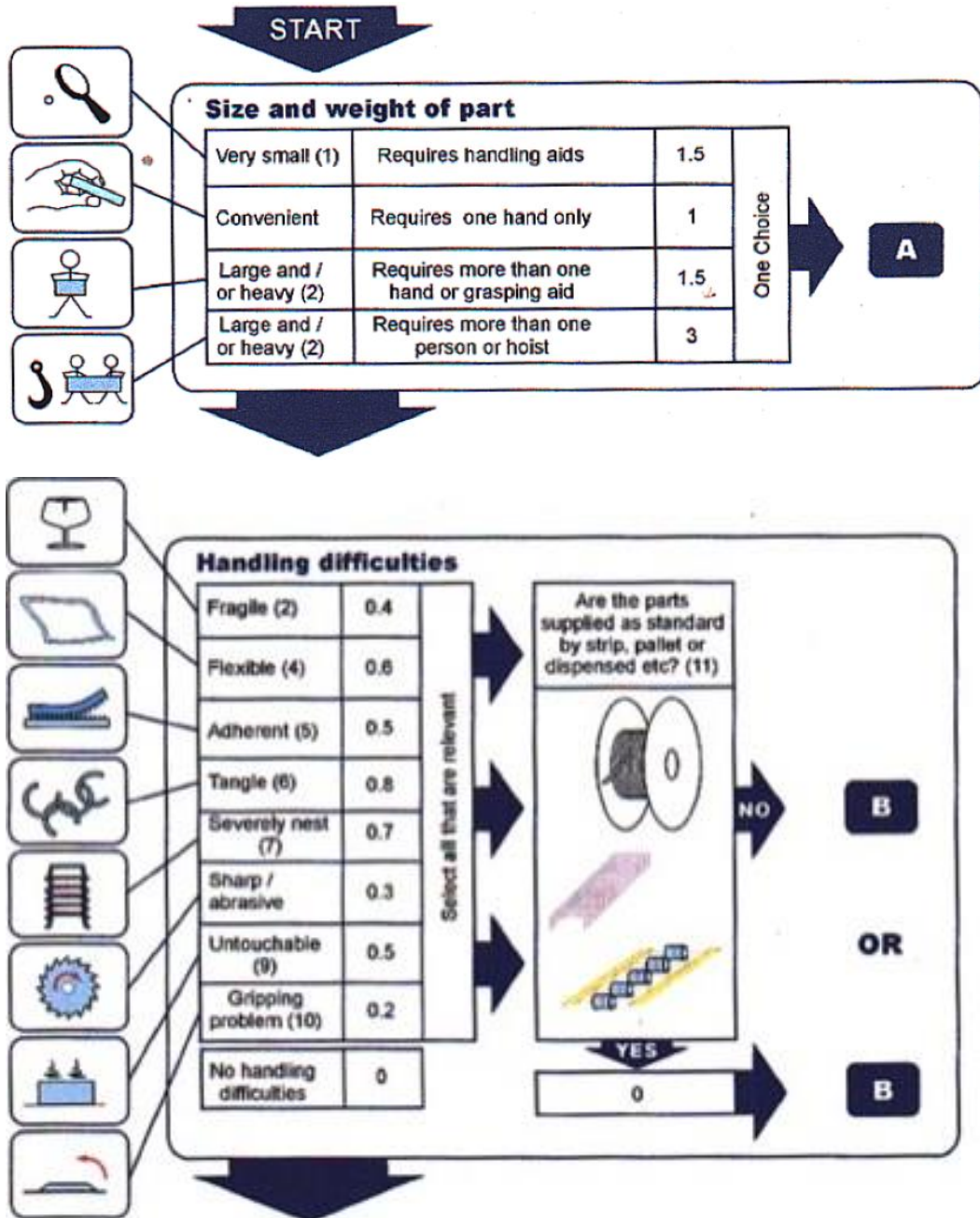


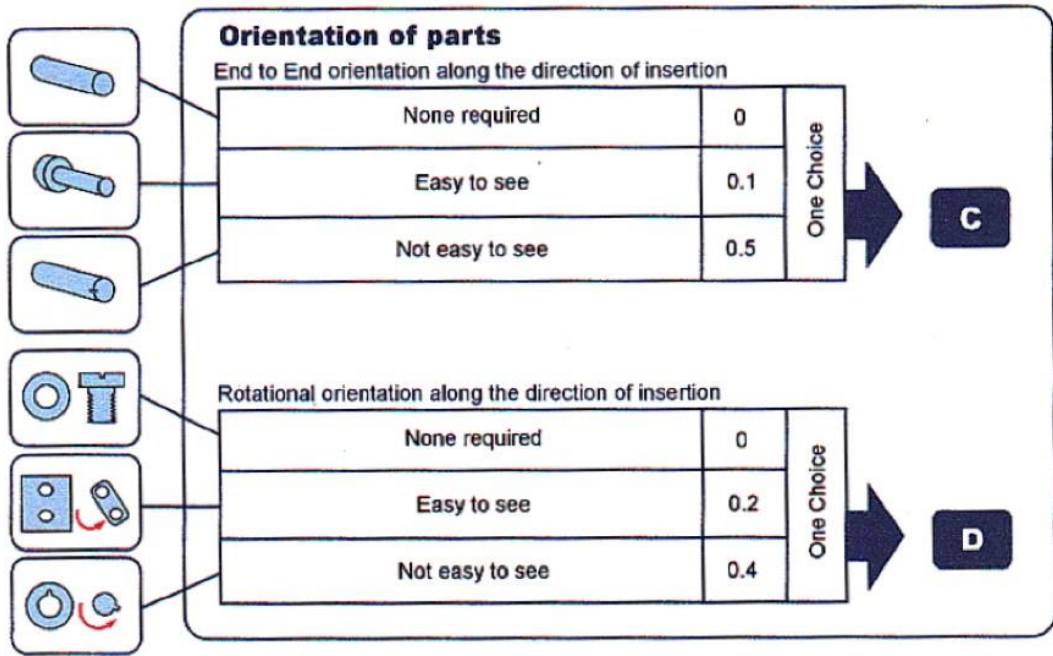
HERRAMIENTA CORTE DE FLORES PROYECTO:
FUERZA EJERCIDA AL REALIZAR EL GESTO DE APREHENSION EN HERRAMIENTAS
DE CORTE DE FLORES



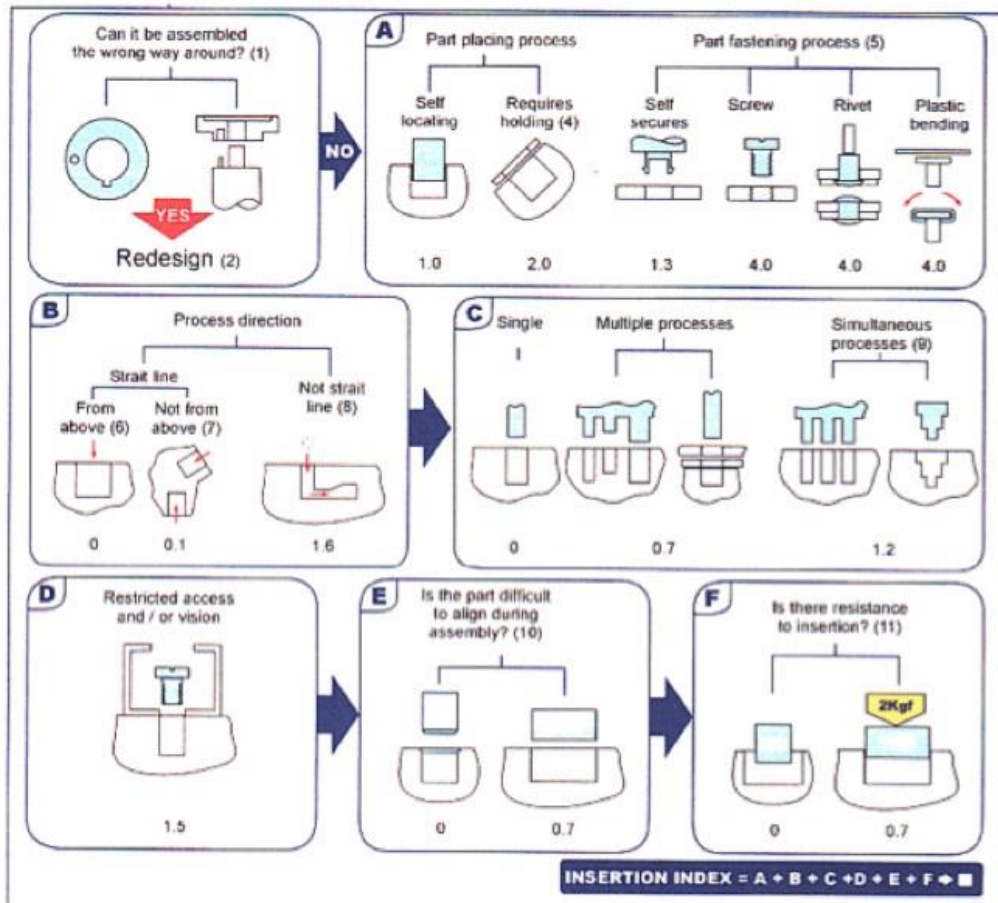
ANEXO C. Escalas de calificación del análisis de alimentación y ajuste según el método LUKAS.

Tablas de análisis de alimentación e inserción

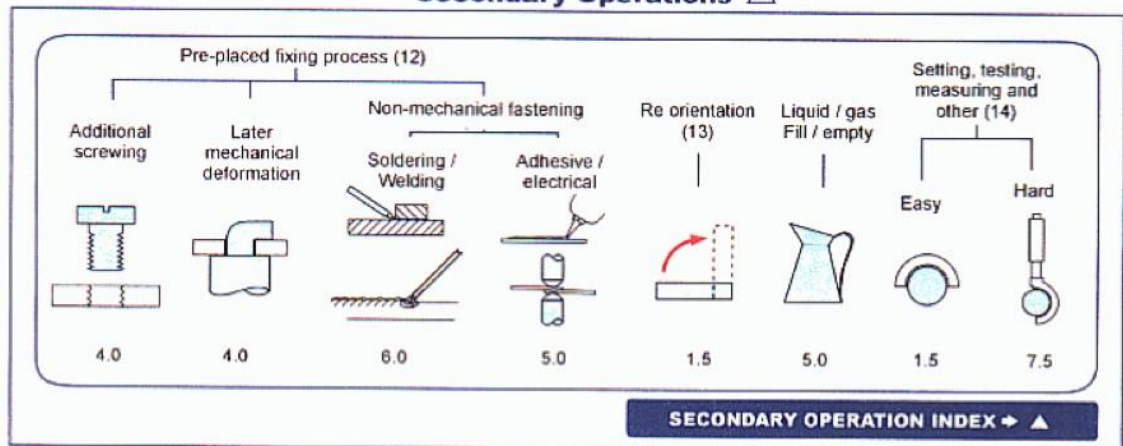




Tablas de análisis de ajuste



Secondary Operations \triangle



ANEXO D. Autoreporte de satisfacción

AUTOREPORTE																
PARTICIPANTE:					EDAD:				FECHA:							
DILIGENCIAR POR EVALUADOR	PÁRAMETRO 1: FUNCIÓN DE CORTE															
	Herramienta		Número de gestos de aprehensión			Número de cortes erróneos		Número de cortes								
	Herramienta A															
	Herramienta B															
	Etapas del ciclo de uso					Número de Errores		Número de Errores								
	Ubicación del tallo en la herramienta															
	Agarre de la herramienta															
	Altura del plano de corte (con relación al piso)															
DILIGENCIAR POR PARTICIPANTE	PÁRAMETRO 2: DESEMPEÑO															
	Califique los siguientes aspectos de las herramientas , teniendo en cuenta que 1 es el peor valor y 5 es el mejor valor así:															
	1		2		3		4		5							
	Totalmente en desacuerdo		En desacuerdo		Ni de acuerdo ni en desacuerdo		De acuerdo		Totalmente de Acuerdo							
							HTA A		HTA B							
	AFIRMACIONES						1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	1	El agarre de la herramienta para realizar el corte es cómodo														
	2	La herramienta es liviana														
	3	El tamaño del mango se adapta a la mano														
	4	Se ejerció una fuerza mínima al realizar el corte														
	5	No presentó dolores musculares durante la manipulación														
	6	La herramienta es fácil de manipular														
PÁRAMETRO 3: SATISFACCIÓN																
Marque con una X su grado de satisfacción con los siguientes aspectos:																
PREGUNTAS					Muy mal	Mal	Regular	Bien	Muy bien							
7.	Antes de la prueba, su impresión de la herramienta de corte propuesta															
8.	La forma de uso de la herramienta de corte propuesta.															
9.	El agarre de la herramienta de corte propuesta.															
12.	Después de la prueba, su impresión de la herramienta de corte propuesta.															

ANEXO E. Consentimiento informado de la prueba de validación



Escuela de Diseño Industrial
Grupo de investigación
Ergonomía, Producto y significado

Elaborado octubre 2 de 2017 – Versión 1.1

Participante # _____

PROYECTO: FUERZA EJERCIDA AL REALIZAR EL GESTO DE APREHENSIÓN EN
HERRAMIENTAS MANUALES DE CORTE DE FLORES

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Apreciada participante:

Este proyecto se desarrolla dentro del grupo de investigación Ergonomía, Producto y Significado (GEPS) adscrito a la Escuela de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander (UIS). La presente prueba que realizará forma parte fundamental del proyecto de grado del estudiante Pablo Andrés Arenas Morantes, investigador encargado.

Esta prueba busca evaluar la fuerza ejercida al realizar el gesto de aprehensión durante el uso de la herramienta de corte de flores diseñada por el grupo GEPS, con usuarios reales y en un contexto de uso real, en comparación con varias herramientas del mercado. La herramienta GEPS procura disminuir el riesgo de carga, asociado con la posibilidad de aparición de enfermedades como el síndrome del conducto carpiano. Esta enfermedad afecta a un gran porcentaje de la población, con una mayor incidencia en las mujeres dedicadas a la labor floricultora.

De manera muy cordial la invitamos a hacer parte del proyecto de investigación. Por favor lea cuidadosamente las instrucciones siguientes y si tiene alguna duda puede realizar las preguntas que desee hasta alcanzar total comprensión.

1. **Propósito del estudio.** Evaluar la fuerza ejercida al realizar la fuerza de aprehensión durante el uso de la herramienta de estudio con usuarios reales y en un contexto de uso real, en comparación con varias herramientas del mercado.
2. **Selección de los participantes.** Si usted acepta la invitación a participar de la prueba, hará parte de un grupo de mujeres entre los 25 y 50 años de edad, seleccionadas por no presentar dolor constante e inflamación de los hombros, codos y antebrazo, sin sentir o haber sentido pérdida de fuerza y movimiento en la muñeca, antebrazo y dedos de la mano. De igual manera no haber presentado quistes alrededor de las articulaciones de la mano o estar diagnosticado por un doctor en medicina de Síndrome del manguito rotador, Epicondilitis, Epitrocleitis, SCC, Ganglión y dedo de gatillo. Además por que el ancho de la palma de la mano se encuentra en un rango de 8 a 10 cm y la longitud de la mano de 14 a 20 cm.
3. **Procedimiento.** Una vez leído y firmado el consentimiento informado se procederá a consignar la información relacionada con su sexo, edad y dimensiones de la mano dominante. En primer lugar se ubicará el guante de medición en su mano dominante. Posteriormente para el inicio de toma de datos



de la fuerza de su mano se le entregarán las herramientas de estudio según el orden establecido previamente por el investigador con las cuales ud procederá a realizar 10 cortes con cada herramienta con una fuerza de trabajo normal según su capacidad funcional y un intervalo de descanso de dos minutos entre cada herramienta.

4. **Registro fotográfico.** la prueba será grabada en video con el fin de tener mayor información de análisis del gesto de aprehensión realizado. Para proteger su identidad y brindarle privacidad, se realizará únicamente una toma del plano de detalle de la sección correspondiente al miembro superior (antebrazo, muñeca y mano operante) durante el tiempo que interactúe con la herramienta. Este registro será utilizado únicamente con fines académicos y solamente tendrán acceso el director del proyecto e investigador principal.
5. **Riesgos.** Se garantiza que su participación en esta prueba NO representa riesgo para su salud, las herramientas y dispositivos de medición son seguros y están especialmente diseñados según su función.
6. **Confidencialidad.** La Información suministrada es confidencial y solo se utilizará para fines del presente estudio. Para protección de la identidad de los participantes y mantener el anonimato se asignará un código conocido únicamente por los investigadores. Los resultados del estudio se presentaran de forma general, por lo tanto, ninguno de los participantes será identificado individualmente. La información recolectada será archivada de manera segura y confidencial en los archivos del grupo "GEPS".
7. **Costos y compensación:** Usted no tendrá que asumir ningún costo relacionado, ni recibirá remuneración alguna por participar en la investigación.
8. **Declaración del participante.** Con fecha _____, certifico que he comprendido lo anterior y una vez aclaradas todas las inquietudes surgidas respecto de mi participación en la investigación, acepto ser parte, de manera libre y voluntaria, en el proyecto titulado: "FUERZA EJERCIDA AL REALIZAR EL GESTO DE APREHENSIÓN EN HERRAMIENTAS MANUALES DE CORTE DE FLORES"

Nombre completo participante: _____

Firma: _____ C.C: _____

9. **Declaración del investigador.** Certifico que como miembro del grupo de investigación he explicado al participante sobre la naturaleza, propósito, procedimiento, riesgos y beneficios de la investigación, declaro que todas las preguntas hechas por el participante fueron contestadas. Manifiesto además, que comprendo la naturaleza y propósito del estudio, los posibles riesgos y beneficios asociados con mi participación en el mismo.

Investigador Principal.

Pablo Andrés Arenas Morantes
Estudiante Diseño Industrial UIS
Cel. 314 237 08 46 Tel. 6344000 Ext. 2496

ANEXO F. Identificación del factor crítico

Teniendo en cuenta la situación presentada al final de la investigación, en la que no se pudo lograr la disminución de la fuerza de aprehensión ejercida durante el uso de la herramienta de corte diseñada por el grupo “GEPS” e intervenida en este trabajo, en el presente apartado se pretende mencionar los aspectos que influyeron en el inesperado desempeño de la función de corte.

La comparación realizada entre las herramientas (ver tabla 1) evidenció que la herramienta propuesta (HTA 1), a pesar que ejerce mayor fuerza de aprehensión, su valor es menor al límite máximo permitido (9,07 kgf). Por lo tanto, no fue posible dar respuesta a la pregunta de investigación: ¿En qué porcentaje se disminuye la fuerza ejercida al realizar el gesto de aprehensión con la herramienta de corte de flores propuesta en el presente trabajo, en comparación con otras herramientas del mercado?.

Tabla 1. Comparación de la presión (P) ejercida y el área (A) activada por la mano durante el gesto de aprehensión.

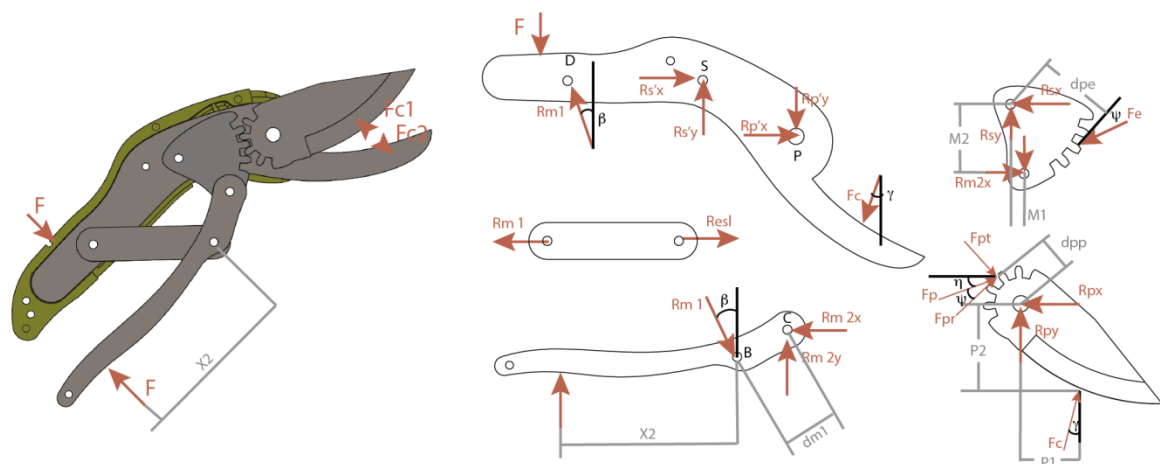
	HTA 1	HTA 2	HTA 3	HTA 4
Presión máx. (N/cm ²)	14,049	5,573	10,871	11,495
Presión promedio (N/cm ²)	3,875	1,851	2,393	3,002
Área promedio (cm ²)	9,337	6,240	7,774	7,984
Área máx. (cm ²)	6,139	4,629	5,318	5,687

En consecuencia, se determinó analizar los componentes que no hacían parte de este estudio (el mecanismo) para identificar el factor que afecta el desempeño de la herramienta. A continuación se realiza un análisis estático de cada uno de los elementos que forman el mecanismo actual, para analizar el comportamiento de transmisión de fuerza por cada elemento que lo conforma.

Para el análisis se consideró una fuerza de entrada aplicada en los mangos de la herramienta de 1,6 kgf⁶⁰ (15,69 N) ubicada a 5,1 cm del punto “B” en el mango inferior, así como el cálculo de los elementos de transmisión de movimiento de la herramienta de estudio diseñada por el grupo “GEPS” (Anexo A). Adicional a esto se considera un punto fijo de contacto entre el tallo y las cuchillas, ubicado a 3,3 cm del fulcro.

La figura 1 muestra los diagramas de cuerpo libre (DCL) realizados en cada uno de los elementos, las fuerzas que actúan en ellos y el análisis estático del estado actual del mecanismo de la herramienta de estudio.

Figura 1. Análisis estático y DCL de cada uno de los elementos que conforman el mecanismo actual de la herramienta.



⁶⁰ 1,6 kgf es la fuerza mínima registrada en los estudios realizados por Saavedra y Quintana (2006)

Análisis estático

<p>--- DCL MANGO 1 ---</p> <p>$\beta = 30$ [degrees]</p> <p>$F_1 = 7,85$ [N]</p> <p>$X_2 = 0,051$ [m]</p> <p>$d_{m1} = 0,022$ [m]</p> <p>Sumatoria de fuerzas en x</p> $0 = R_{m1} \cdot \sin(\beta) - R_{m2,x}$ <p>Sumatoria de fuerzas en y</p> $0 = F_1 - R_{m1} \cdot \cos(\beta) + R_{m2,y}$ <p>Sumatoria de momentos en M2</p> $0 = R_{m1} \cdot d_{m1} - F_1 \cdot X_2$ <p>--- DCL ESLABON ---</p> $0 = R_{m1} - R_{esl}$ <p>$R_{m1} = R_{esl}$</p>	<p>--- DCL ENGRANAJE ---</p> <p>$m_1 = 0,019$ [m]</p> <p>$m_2 = 0,033$ [m]</p> <p>$Dp_e = 0,028$ [m]</p> <p>$\psi = 20$ [degrees]</p> <p>$Fe_t = Fe \cdot \sin(\psi)$</p> <p>$Fe_r = Fe \cdot \cos(\psi)$</p> <p>Sumatoria de fuerzas en x</p> $0 = R_{m2,x} - R_{s,x} - Fe$ <p>Sumatoria de fuerzas en y</p> $0 = R_{s,y} - R_{m2,y}$ <p>Sumatoria de momentos en S</p> $0 = R_{m2,x} \cdot m_2 - R_{m2,y} \cdot m_1 - Fe_t \cdot Dp_e$	<p>--- DCL PIÑON ---</p> <p>$Fp = Fe$</p> <p>$Dp_p = 0,012$ [m]</p> <p>$P_1 = 0,045$ [m]</p> <p>$P_2 = 0,008$ [m]</p> <p>$\gamma = 21$ [degrees]</p> <p>$\eta = 12$ [degrees]</p> <p>$Fp_t = Fp \cdot \sin(\psi)$</p> <p>$Fp_r = Fp \cdot \cos(\psi)$</p> <p>Sumatoria de fuerzas en x</p> $0 = Fc \cdot \sin(\gamma) - Rp_x + Fp \cdot \cos(\eta)$ <p>Sumatoria de fuerzas en y</p> $0 = Fc \cdot \cos(\gamma) + Rp_y - Fp \cdot \sin(\eta)$ <p>Sumatoria de momentos en P</p> $0 = -Fp_t \cdot Dp_p + Fc \cdot \cos(\gamma) \cdot P_1 - Fc \cdot \sin(\gamma) \cdot P_2$
---	--	--

Resultados:

Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]

$\beta = 30$ [degrees]	$Dp_e = 0,028$ [m]	$Dp_p = 0,012$ [m]	$d_{m1} = 0,022$ [m]	$\eta = 12$ [degrees]	$F_1 = 7,85$ [N]
$Fc = 1,642$ [N]	$Fe = 15,66$ [N]	$Fe_r = 14,72$ [N]	$Fe_t = 5,356$ [N]	$Fp = 15,66$ [N]	$Fp_r = 14,72$
$Fp_t = 5,356$	$\gamma = 21$ [degrees]	$m_1 = 0,019$ [m]	$m_2 = 0,033$ [m]	$P_1 = 0,045$ [m]	$P_2 = 0,008$ [m]
$\psi = 20$ [degrees]	$Rp_x = 15,91$ [N]	$Rp_y = 1,723$ [N]	$R_{m1} = 18,2$ [N]	$R_{m2,x} = 9,099$ [N]	$R_{m2,y} = 7,91$ [N]
$R_{s,x} = -6,562$ [N]	$R_{s,y} = 7,91$ [N]	$X_2 = 0,051$ [m]			

Los resultados mostraron que en el mecanismo actual se presenta una reducción de fuerza, en ellos se puede observar que la fuerza de aprehensión de entrada de 0,8 kgf (7,85 N) es entregada al elemento de transmisión y éste a su vez la transfiere al elemento de corte, el cual genera una resultante de 0.16 kgf (1,64 N), lo que indica que hay una disminución de 9,5 veces la fuerza inicial. Por tanto se pudo concluir que el factor que influye en el desempeño de la herramienta propuesta se presenta en el elemento de transmisión.