



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño del prototipo de un
recolector de limón
mexicano**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Industrial

P R E S E N T A

Isaac Arturo Armendariz Valdez

DIRECTOR DE TESIS

M.I. Héctor Raúl Mejía Ramírez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

JURADO ASIGNADO

Presidente:

Secretario:

Vocal:

1er. Suplente:

2do. Suplente:

Lugar o lugares donde se realizó la tesis

- **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO, FACULTAD DE INGENIERÍA**

DIRECTOR DE TESIS

NOMBRE

M.I. HÉCTOR RAÚL MEJÍA RAMÍREZ

Contenido

Objetivo	3
Antecedentes.....	4
Introducción.....	5
Capítulo 1. La producción de cítricos en México.....	6
1.1 México y su contexto geográfico.....	6
1.2 Panorama del sector alimentario en México al año 2013.	7
1.2.1 Principales actividades y productos del sector alimentario en México	9
1.2.2 La citricultura en México	13
1.3 Descripción del proceso de producción de limón y prácticas en la cosecha	15
1.3.1 El limón	15
1.3.2 Panorama del limón en México.	17
1.3.3 El proceso de producción de limón.	20
1.3.4 La cosecha y sus prácticas.	24
1.3.5 Herramientas de corte utilizadas actualmente en la cosecha	31
1.4 Análisis de oportunidades y necesidades en el proceso de recolección de limón.	33
Capítulo 2: Propuesta de diseño conceptual del prototipo para recolección de limón.....	35
2.1 Justificación del desarrollo del prototipo de un recolector de limón.....	35
2.2 Comparativo de herramientas utilizadas actualmente	36
2.3 Descripción del problema y necesidades del cliente.	39
2.4 Análisis de requerimientos del cliente.....	41
2.4.1 Casa de la Calidad	42
2.6 Diseño conceptual.....	55
2.6.1 Definición de TRIZ.	55
2.6.2 Fases de la metodología: Análisis de contradicciones.	56
2.6.3 Tipos de contradicciones.	57
2.6.4 Matriz de contradicciones TRIZ e interpretación de soluciones.	58
2.6.5 Planteamiento de función primaria y funciones secundarias.....	71
2.6.5 Generación de alternativas de diseño conceptual con base en las soluciones de la matriz de Altshuller.	72
2.6.5.1 Primera alternativa conceptual: Corte a distancia mediante inercia.	73
2.6.5.2 Segunda alternativa conceptual: Corte a distancia mediante cordón tensado.....	75
2.6.5.3 Tercera alternativa conceptual: Corte a distancia mediante motor eléctrico	77
2.6.6 Selección del diseño conceptual más adecuado.	79

Capítulo 3: diseño de conformación.....	82
3.1 Diseño de conformación.....	82
3.1.1 Conformación del subsistema de corte.....	83
3.1.2 Conformación de subsistema de extensión.....	87
3.1.3 Conformación de subsistema de recolección.....	91
3.1.4 Conformación de subsistema de ajuste de altura.....	93
3.1.5 Conformación de subsistema de interacción con el usuario.....	100
Capítulo 4: Diseño de detalle.....	106
4.1 Detallado de distribución definitiva.....	106
4.1.1 Detallado de subsistema de corte.....	106
4.1.2 Detallado de subsistema de extensión.....	112
4.1.3 Detallado de subsistema de recolección.....	114
4.1.4 Detallado de subsistema de ajuste de altura.....	117
4.1.5 Detallado de subsistema de interacción con el usuario.....	119
Conclusiones.....	121
Bibliografía.....	136

Lista de Tablas		
Tabla	Descripción de Tabla	Página
Capítulo 1		
Tabla 1.1	PIB al 2013 en México y participación del sector alimentario a precios de 2008 (INEGI)	7
Tabla 1.2	Distribución de actividades del sector alimentario mexicano en los sectores económicos (INEGI)	9
Tabla 1.3	Cultivos agrícolas alimenticios más importantes de acuerdo a su volumen y tipo (INEGI)	10
Tabla 1.4	Productos ganaderos más importantes por su volumen (INEGI)	10
Tabla 1.5	Productos pesqueros más importantes por su volumen (INEGI)	11
Tabla 1.6	Producción de cítricos por estado de la República Mexicana durante 2013 (INEGI)	13
Tabla 1.7	Principales estados productores de limón de la República Mexicana durante 2013 (INEGI)	17
Tabla 1.8	Estacionalidad por año de la producción de limón (SIAP)	18
Tabla 1.9	Distancias entre árbol y árbol en el cultivo de limón (OIRSA)	21
Capítulo 2		
Tabla 2.1	Transformación de factores que desvían la calidad de los frutos en calidades exigidas "Manejo de frutos en transporte y almacén"	43
Tabla 2.2	Transformación de factores que desvían la calidad de los frutos en calidades exigidas "Daños por agentes del entorno"	43
Tabla 2.3	Transformación de factores que desvían la calidad de los frutos en calidades exigidas "Ergonomía de la actividad"	43
Tabla 2.4	Transformación de factores que desvían la calidad de los frutos en calidades exigidas "Daños en recolección"	44
Tabla 2.5	Transformación de factores que desvían la calidad de los frutos en calidades exigidas "Conveniencia de fabricación y mantenimiento"	44
Tabla 2.6	Diagrama de matriz L para niveles de importancia de demandas del cliente.	45
Tabla 2.7	Calidades exigidas de acuerdo a factores de control y nivel de importancia	46
Tabla 2.8	Despliegue de funciones de calidad	47
Tabla 2.9	Requerimientos técnicos y sus medidas cuantitativas	48
Tabla 2.10	Valoración del consumidor por alternativa estudiada	49
Tabla 2.11	Escala de impacto de requerimientos técnicos para matriz QFD	50
Tabla 2.12	Método TRIZ a seguir para el desarrollo del prototipo	56
Tabla 2.13	Interpretación de los requerimientos técnicos dentro de los parámetros de ingeniería según TRIZ	59
Tabla 2.14	Generación de subsistemas para el dispositivo de recolección en función de los requerimientos de actividad	72
Tabla 2.15	Matriz de decisión fase diseño conceptual	79
Capítulo 3		
Tabla 3.1	Parámetros a considerar para cada subsistema	83
Tabla 3.2	Calibres del limón mexicano según la NMX-FF-07-SCFI-2001	83
Tabla 3.3	Resortes seleccionados para la conformación del subsistema de corte	86
Tabla 3.4	Alternativas de medios de transmisión para subsistema de corte	86
Tabla 3.5	Análisis de modo y efecto de la falla para subsistema de corte	87
Tabla 3.6	Características de las alternativas para conformar la extensión	87
Tabla 3.7	Diámetros de los materiales propuestos para la extensión	88
Tabla 3.8	Datos antropométricos relacionados al subsistema de extensión (trabajadores industriales de 18 a 65 años)	89
Tabla 3.9	Parámetros de rigidez para material de extensión	90
Tabla 3.10	Relación de unidades de producto por kilogramo y el código de tamaño según la NMX-FF-07-SCFI-2001.	91

Lista de Tablas

Tabla	Descripción de Tabla	Página
Tabla 3.11	Análisis de modo y efecto de la falla para subsistema de recolección	92
Tabla 3.12	Alternativas de opresores a implementar en subsistema de ajuste de altura	93
Tabla 3.13	Datos antropométricos relacionados al subsistema de ajuste de altura (trabajadores industriales de 18 a 65 años)	96
Tabla 3.14	Análisis de modo y efecto de la falla para subsistema de ajuste de altura	97
Tabla 3.15	Profundidades de corte y secciones planas para tubos ABS anidados	98
Tabla 3.16	Datos antropométricos relacionados al subsistema de interacción con el usuario (trabajadores industriales de 18 a 65 años)	100
Capítulo 4		
Tabla 4.1	Características de resorte de tracción para herramienta de corte	107
Tabla 4.2	Características del resorte de fuerza constante.	108

Lista de Figuras

Figura	Descripción de Figura	Página
Capítulo 1		
Figura 1.1	INEGI. (2010) Distribución del territorio mexicano (mapa). Recuperado de http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/extension/	6
Figura 1.2	Cárdenas, J.(2004). Entorno económico nacional de la citricultura en México en el año 2004 (gráfica). Recuperado de www.concitr.com	14
Figura 1.3	Limonero (fotografía). (2015). Recuperado de www.foro-ciudad.com/galerias	15
Figura 1.4	FND. (2014). Rendimiento y volumen de producción por Ha. (gráfica) Recuperada de www.financierarural.gob.mx	17
Figura 1.5	SIAP. (2014). Estacionalidad promedio de producción de limón (gráfica). Recuperada de http://www.siap.gob.mx/estacionalidad-de-la-produccion/	18
Figura 1.6	Proceso productivo en caja negra (esquema).	20
Figura 1.7	CONCITVER. (2004) Parámetros de distancia entre árboles para condiciones óptimas de iluminación y trabajo (esquema). Recuperado de http://www.concitr.com/publicaciones.html	21
Figura 1.8	CONCITVER. (2004) Configuración rectángulo para la siembra de árboles (esquema). Recuperado de http://www.concitr.com/publicaciones.html	22
Figura 1.9	CONCITVER. (2004) Configuración tres bolillo para la siembra de árboles (esquema). Recuperado de http://www.concitr.com/publicaciones.html	22
Figura 1.10	FUNDESYRAM. (2004). Siembra en curvas de nivel. Recuperado de http://www.fundesyram.info/biblioteca/displayFicha.php?fichaID=510	23
Figura 1.11	FAO. (1996). Recolección de cítricos "a tirón" (imagen). Recuperado de www.fao.org	24
Figura 1.12	Recolección de cítricos por corte con alicate. Recuperado de http://www.aequipos.cl/blog/	24
Figura 1.13	FAO. (1996). Uso de tubos o garrochas para cosecha. Recuperado de www.fao.org	25
Figura 1.14	FAO. (1996). cestos y cubetas para cosecha (fotografía). Recuperado de www.fao.org	27
Figura 1.15	Cajón apilable (fotografía). Recuperada de: www.spanish.alibaba.com	27
Figura 1.16	Tractor trasladando los frutos recolectados hacia un camión (Fotografía). Recuperado de www.stps.gob.mx	28
Figura 1.17	Primera selección de limón (fotografía). Recuperado de www.tierrafertil.com.mx	28
Figura 1.18	La clasificación por tamaño es automatizada en algunos casos (fotografía). Recuperado de www.limonesamatlan.com	29
Figura 1.19	Limonos almacenados en cuarto refrigerado (fotografía). Recuperado de www.limonesamatlan.com	30
Figura 1.20	Preparación para distribución de limón (fotografía). Recuperado de http://184.107.190.194/~sicar/index.php/es/proceso	30
Figura 1.21	Manzana N. (2016) Tijera Manzana Nules modelo M01AM (fotografía). Recuperado de http://www.manzana-nules.com/productos.php	31
Figura 1.22	Manzana N. (2016) Tijera Manzana Nules modelo M96AM (fotografía). Recuperado de http://www.manzana-nules.com/productos.php	31
Figura 1.23	Manzana N. (2016) Alicata Manzana Nules modelo M95DI (fotografía). Recuperado de http://www.manzana-nules.com/productos.php	32
Figura 1.24	Recolector de fabricación casera para limones. Recuperado de www.youtube.com	32
Figura 1.25	Armendariz, I. (2015) recolección del fruto en parte alta del árbol mediante garrocha de fabricación casera (fotografía)	33
Capítulo 2		
Figura 2.1	(2015) tijera para cítricos Manzana Nules modelo M01AM (fotografía). Recuperada de www.manzana-nules.com	36
Figura 2.2	(2015) tijera para cítricos modelo M-96-AM (fotografía). Recuperado de www.manzana-nules.com	36
Figura 2.3	(2015) alicate para corte de cítricos Manzana Nules modelo M95DI (fotografía). Recuperado de www.manzana-nules.com	
Figura 2.4	(2013) recolector de frutos de fabricación casera (fotografía). Recuperado de www.youtube.com	37
Figura 2.5	detalle de recolector de frutos (fotografía) Recuperado de www.youtube.com	38
Figura 2.6	Frutos recolectados con el dispositivo (fotografía). Recuperado de www.youtube.com	38
Figura 2.7	Diagrama de afinidad sobre particularidades presentes durante la recolección (Diagrama)	40

Lista de Figuras

Figura	Descripción de Figura	Página
Figura 2.8	Diagrama Ishikawa orientado al problema de la merma en la cosecha (Diagrama)	41
Figura 2.9	Diagrama de planificación de producto para un recolector de limón (Diagrama casa de la calidad)	52
Figura 2.10	Estructura de TRIZ (esquema).	55
Figura 2.11	Estructura de TRIZ (esquema). Recuperado de "Simplified TRIZ: New problema solving applications for engineers and manufacturing professionals (2008)	56
Figura 2.12	Altshuller, G. Fragmento de matriz de Altshuller. Recuperada de Engineering of Creativity, introduction to TRIZ methodology (2000). Nota: PhC – Contradicción física	58
Figura 2.13	Secuencia de actividades correspondiente a la etapa de recolección con alicate de corte (diagrama de flujo)	71
Figura 2.14	vista isométrica de la alternativa 1	73
Figura 2.15	subsistema de corte y subsistema de recolección	73
Figura 2.16	Detalle de mecanismo de ajuste por rosca, o-ring y tuerca	74
Figura 2.17	Propuesta de arnés a adaptar al dispositivo	74
Figura 2.18	vista isométrica de la alternativa 2	75
Figura 2.19	Subsistemas de corte y recolección; detalle de rebobinador para subsistema de corte.	75
Figura 2.20	Detalle del subsistema de ajuste de altura (vista isométrica externa y lateral interna)	76
Figura 2.21	Correa de un grado de ajuste propuesta para anclar al dispositivo.	76
Figura 2.22	vista isométrica de la alternativa 3.	77
Figura 2.23	Vista superior del dispositivo, detalle del subsistema de corte y de recolección	77
Figura 2.24	Detalle del subsistema de corte (vista isométrica)	78
Figura 2.25	Subsistema de ajuste de altura, vistas lateral e isométrica	78
Capítulo 3		
Figura 3.1	Alternativa 2 seleccionada como mejor alternativa conceptual.	82
Figura 3.2	Dimensiones para apertura de cuchilla y resorte de tracción para herramienta de corte.	84
Figura 3.3	Estados de operación del subsistema de corte (diagrama).	85
Figura 3.4	Representación de las fuerzas en el subsistema de corte.	85
Figura 3.5	Fuerzas en Newtons que ejercen brazos, mano y dedo pulgar en diferentes condiciones (diagrama). Recuperado de https://msis.jsc.nasa.gov	95
Figura 3.6	Dimensiones de los tubos ABS.	97
Figura 3.7	Dimensiones de corte transversal para el anillo porta opresores (tubo 40mm) y tiras guía.	98
Figura 3.8	Distribución de restricciones mecánicas del subsistema de ajuste de altura.	99
Figura 3.9	Distribución de dimensiones de componentes para subsistema de ajuste de altura.	99
Figura 3.10	Correa desmontable para bolso marca Qishare. Recuperado de www.amazon.es	101
Figura 3.11	Correa de hombro acolchada ajustable con ganchos marca Pixnor. Recuperado de www.amazon.es	101
Figura 3.12	Aproximación de las dimensiones del tronco humano y trayectoria de la correa (línea gruesa).	102
Figura 3.13	Subensamble de anclaje móvil para correa (izquierda) y argolla fija para parte inferior del dispositivo (derecha).	104

Lista de Figuras

Figura	Descripción de Figura	Página
Capítulo 4		
Figura 4.1	Cuchilla móvil	106
Figura 4.2	Base de nylamid para cuchilla fija y tornillo M3X0.5 cabeza plana	106
Figura 4.3	cuchilla móvil y perno con contratuerca hexagonal M4X0.7 para la herramienta de corte	107
Figura 4.4	resorte de tracción LE 031B 07	107
Figura 4.5	Ensamble de la herramienta de corte.	108
Figura 4.6	cordón de nylon torcido de 1/4"	108
Figura 4.7	Representación gráfica del resorte de fuerza constante extraído del flexómetro Irwin 1822419.	109
Figura 4.8	Dimensiones transversales de carrete rebobinador.	110
Figura 4.9	Carrete rebobinador	110
Figura 4.10	Base circular asimétrica para el carrete rebobinador.	111
Figura 4.11	Carcasa del rebobinador de cordón para la herramienta de corte.	111
Figura 4.12	Tapa de rebobinador con vástago para anclar a tubo ABS de 40(mm).	111
Figura 4.13	Subensamble de mecanismo rebobinador con cordón embobinado	112
Figura 4.14	Tubo de ABS 40 (mm) de diámetro y 1 (m) de largo	112
Figura 4.15	Mango de espuma de polietileno y distribución de empuñaduras en tubo ABS de 40 (mm)	113
Figura 4.16	Tubo de ABS 32 (mm) de diámetro y 85 (cm) de largo	113
Figura 4.17	Restricciones mecánicas implementadas en tubos ABS de 32 y 25 (mm) de diámetro	114
Figura 4.18	Ensamble del subsistema de extensión	114
Figura 4.19	Saco recolector con bandas elásticas de 1(Kg) de capacidad	115
Figura 4.20	Anillo doble de sujeción para el subsistema de recolección	115
Figura 4.21	Distribución de componentes para subsistema de recolección	115
Figura 4.22	Cono receptor de frutos	116
Figura 4.23	Integración en ensamble de los subsistemas de recolección, corte y extensión	116
Figura 4.24	Anillo porta tiras guía	117
Figura 4.25	Tira guía con barreno y tornillo allen M4X0.7 de 12 (mm) de largo.	117
Figura 4.26	Anillo porta opresores	118
Figura 4.27	Opresor con balín de acero inox. marca TE-CO modelo B 6H	118
Figura 4.28	Ensamble del subsistema de ajuste de altura	118
Figura 4.29	Anillo tope para tubos ABS de 85 (cm) de largo	119
Figura 4.30	Anillo de anclaje móvil y argolla de acero 1/4" para anclaje	119
Figura 4.31	Argolla fija y anclaje a rebobinador del subsistema de corte	119
Figura 4.32	Ensamble de subsistema de interacción con el usuario	120
Figura 4.33	Correa acolchada marca pixnor de 65 a 150 cm de longitud	120

Agradecimientos

Una obra como esta que usted está leyendo y que ha sido urdida teniendo como actor principal a un servidor, simplemente no puede entenderse como el producto de una sola persona, dado que todo el tiempo estamos inmersos en una sociedad que demanda interacción interpersonal. Particularmente he tenido la dicha de siempre estar rodeado de buenas personas que en su momento me han brindado su apoyo, su confianza y que han hecho aportes a este que le escribe para llegar hasta aquí; a este punto de convergencia donde usted y yo congeniamos en el interés por los conocimientos de la ingeniería aplicada al servicio de la humanidad.

Mientras escribo este texto muchos recuerdos llegan a mi mente, y he de decir que detrás de cada construcción sintáctica hay alguien que se asoma a ver si lo he hecho bien, a iluminarme con un gesto de ánimo o simplemente a saludar. De esta forma es todo un placer escribir junto con quienes me han acompañado a lo largo de mi vida y de mi carrera. Agradezco en primer término a Dios y a mi hermosa familia que siempre han estado caminando a mi lado para hacer mi vida más sencilla y grata: A mi madre Guadalupe por alegrarme el corazón con su amor; a mi padre Ponciano por ser el pilar de valores que a diario pongo en práctica para siempre salir adelante de la manera más justa y honrada; a mi hermano Moisés por ser el eterno amigo, compañero de juegos y hoy día un gran ejemplo a seguir; a mi hermana Verónica, cuya perseverancia siempre me ha inspirado a seguir adelante sin desistir; y a mi hermano Álvaro por mostrarme que las matemáticas tienen mucho más sentido estudiando ingeniería. No puedo dejar de lado a mis tíos, abuelos, padrinos y mis primos; en particular a mi estimadísimo primo Adrián Lovera quien fuera el primero en llamarme “ingeniero” una vez que empecé la carrera. Esta va por ti, primo.

Es tan amable la vida conmigo que además me ha estado dando la oportunidad de ampliar esos horizontes familiares a rangos no consanguíneos. He sido tan afortunado que tengo la fortuna de conservar amistades de aquí, de allá, de antes y las de ahora. Hago especial énfasis en mis amigos de siempre quienes están conmigo tan leales compartiendo desde una pequeña ración de comida, hasta las amargas tristezas y rotundos éxitos: Berenice, Gisela, Miguel, Leticia, Leslie, Islem, Diana (Marlen, Yasmín, Ortega) Jesús Martín, Alma, Ana, Aurora, Paulina, Viridiana, Norma, Araceli, familia Moreno Segura, Carlos, Javier, Giovanny, Karina, Addiel, Alberto, Ariana, César, Gabriela, Arturo, Sarahí, Ricardo Torres, Sheila, Alejandro Rojas, Edgar, Paola. Espero que jamás termine de pagarles lo mucho que han hecho por mí y que esta deuda sea una transacción de vivencias que se extienda indefinidamente, porque es un honor para mí estar en su cartera de deudores.

Agradecido estoy también con la gente que conocí en los laboratorios de ingeniería mecánica, al personal que ahí labora y en especial con mis compañeros de servicio social, que, de ser enunciados ocuparían un largo anexo en este trabajo.

Agradecimiento especial.

Una carrera universitaria concluida deja siempre muchas anécdotas para contar incluso por el resto de la vida, pues se trata de una etapa de formación. Con el correr de los semestres llegué a los laboratorios de ingeniería mecánica de la Facultad de Ingeniería, UNAM pidiendo una oportunidad para aprender nuevas cosas y extender mi formación como futuro ingeniero, tal oportunidad me fue concedida sin reservas por quien pronto se convirtiera en un verdadero tutor en mi carrera, alguien que vio potencial en mi disposición y dirigiera esa energía hacia la aplicación en firme de los conocimientos de la ingeniería. Fue gracias a ese alguien tuve el honor de compartir semana a semana los conocimientos y habilidades que ya había adquirido en beneficio de mis compañeros de ingeniería mecánica, mecatrónica e industrial durante muchos semestres al fungir como ayudante en la impartición de clases de laboratorio. De quien hablo es del ingeniero Miguel Ángel Hernández Alcántara y le agradezco no sólo por haberme ayudado a salir del círculo vicioso en el que estaba inmerso, sino también por su tiempo, dedicación y asesoría técnica que ha invertido en el presente proyecto de tesis, sin su valiosa ayuda esta tesis no habría sido posible ni mis actividades de titulación habrían sido tan satisfactorias.

Es importante para mí agradecer a la UNAM y a la Facultad de Ingeniería la valiosa formación que me han brindado desde que ingresé a la E.N.P. #3. A lo largo de todos estos años he recibido conocimientos, una formación y sobre todo un sentido de conciencia social por colaborar al crecimiento de México. Destacable es la gran labor de todos mis profesores de la Facultad de Ingeniería de la UNAM que a lo largo de mis cursos de licenciatura me dieron las herramientas de conocimiento para poder llevar a cabo este trabajo, especialmente estoy agradecido con la ingeniera Irlib Blancas quien con su gran disposición no sólo me brindó conocimientos, sino también empoderó mi actitud para que no desistiera de este sueño acariciado llamado titulación.

Merecen mención en este apartado el ingeniero Héctor Raúl Mejía Ramírez por su constante asesoría, tanto como por la dirección sobre el tema del presente proyecto, al Dr. Adrián Espinoza por el magistral apoyo y aportes sumamente trascendentes de incuantificable valor a este proyecto; al señor Luis Moreno quien colaboró con su opinión sobre los dispositivos de cosecha y al ingeniero Leandro Padilla Arrollo por las facilidades otorgadas, así como su disposición para colaborar en esta investigación.

¡Muchísimas gracias a todos!

Objetivo

Es el propósito de esta tesis diseñar un recolector de limón que permita reducir las causas de la generación de merma durante la etapa de recolección, así como minimizar los riesgos para los trabajadores de sufrir alguna lesión al llevar a cabo dicha tarea.

Objetivos particulares y alcance:

- Proponer el diseño de un prototipo orientado a la solución de necesidades y complicaciones presentes en la recolección de limón.
- Selección de materiales.
- Generar los planos de los componentes que conforman el diseño del prototipo.
- Como alcance, la presente tesis pretende llegar a la etapa de diseño de detalle del prototipo para recolección de limón.

Antecedentes

El hombre en su lucha por subsistir en el planeta tiene diversas necesidades por cubrir, y es gracias a la pluralidad cultural que se cuentan muchas actividades cuyo bien ser reduce las carencias a las que se enfrenta la especie, canalizando esfuerzos a las necesidades primordiales siendo estas factor común para la humanidad. Según el Dr. Abraham Maslow (1908-1970) las necesidades se clasifican jerárquicamente en: fisiológicas, de seguridad, sociales, de reconocimiento y de autorrealización. Son de particular interés las de corte fisiológico como las de aire, agua, alimentos, entre otras que habrán de cubrirse día a día de manera tal, que tanto el desarrollo de los pueblos como de los individuos pueda llevarse a cabo de una manera adecuada a fin de evitar una crisis de gran riesgo a la sociedad.

En México datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014) revelan que la superficie territorial continental es de 1,959,248 kilómetros cuadrados, con una población al año 2013 de 117,579,263 habitantes. De tales cifras, la superficie dedicada al sector primario es de 22,113,742 hectáreas sembradas. En 2012, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2012) emitió un boletín en el que se señala que a nivel mundial, México está considerado como el 5to. productor de cítricos en el mundo, aportando 4.6% del total de la producción mundial. Es precedido por la India (6%), Estados Unidos de América (8%), Brasil (18%) y China (21%). En México la producción de limones considera 149,194 hectáreas cosechadas, mayormente concentradas en los estados de Veracruz (27.1%), Michoacán de Ocampo (23.1%), Colima (17.2%), Oaxaca (9.7%), Tabasco (4%) y el resto en otros estados; que aportan una participación conjunta con la India, Argentina, Estados Unidos, España, Brasil e Italia del 68.3% de la producción mundial.

Las cifras de tonelaje de la producción nacional de limón para el año 2011 fue de 2,132,922 toneladas, mientras que para 2012 la cifra fue de 2,055,209 toneladas. Lo anterior se traduce en un déficit del 3.6%. Mazzuz (1996) considera que es preferible esforzarse en la conservación de los frutos después de la cosecha en lugar de incrementar la producción, debido a que entre un 25% y un 80% de los productos se pierden como efecto del mal manejo. Uno de los factores que promueven la aparición de merma son los frutos defectuosos producto de un mal desprendimiento o corte desde el árbol como consecuencia de por un lado, algunos desprendimientos de la piel, y por otro, el pedúnculo que une al fruto con las ramas queda excesivamente largo. Para ambos casos, los frutos defectuosos promueven la aparición de magulladuras, podredumbres en la zona de defecto y frutos adyacentes durante las fases de almacenamiento y transporte.

Introducción

El presente proyecto de tesis pretende que, con el diseño del prototipo de un recolector de limón, se presente la propuesta de una herramienta para cosecha que minimice las mermas producidas por malos desprendimientos o cortes, al mismo tiempo pretende reducir los riesgos potenciales para los trabajadores dedicados a la cosecha, pues la posición en que se encuentran algunos frutos en el árbol no es la más accesible y se deben invocar recursos como escaleras para alcanzar los frutos que queden tanto en las partes altas como dentro del follaje. En seguida se describen los capítulos del presente trabajo de tesis.

El capítulo 1, describe el panorama general de la producción de limón en México considerando cifras de volúmenes, datos estadísticos y la detección de necesidades en el proceso productivo, particularmente en las operaciones de cosecha. En el segundo acápite se aborda el diseño conceptual del prototipo, donde se hace un análisis de las necesidades detectadas, además estas son convertidas en los requerimientos de diseño. En palabras de Marvin González, “la planificación de productos, procesos y servicios necesita una metodología que permita una interpretación adecuada de las expectativas de los clientes” (Gonzalez Espinoza, 2001). Por tanto, en el presente trabajo este propósito se alcanza mediante el empleo de la metodología TRIZ en conjunto con la metodología QFD y herramientas de administración de la calidad.

Con base en la información del despliegue de funciones de calidad, se generan las alternativas de diseño utilizando los recursos heurísticos de la metodología TRIZ, se asocian cada uno de los requerimientos técnicos con los parámetros genéricos de ingeniería planteados por Altshuller y dicha información es tratada mediante el análisis de contradicciones empleando la Matriz de Altshuller, de donde emergen los principios aplicables a cada contradicción técnica analizada. Considerando el universo de soluciones generadas, se conciben 3 alternativas de diseño conceptual de entre las que se selecciona la más adecuada por medio de una matriz de decisión.

Habiendo definido un diseño conceptual, en el capítulo 3 se especifica la distribución de los principios de solución presentes en la alternativa seleccionada, definiendo los subsistemas del dispositivo correspondientes a las funciones primaria y secundarias. Con el fin de robustecer las soluciones implementadas, se involucran como factores de diseño la confiabilidad mediante el análisis del modo y efecto de la falla en los puntos donde las soluciones implementadas encuentren áreas de oportunidad, y a la ergonomía debido a que el dispositivo está pensado para accionarse de forma deliberada por el usuario, por lo que se consideran datos antropométricos como restricciones durante la fase de conformación.

Por último en el cuarto acápite, se detalla la información de la distribución definitiva a nivel componente y subsistema, de modo que se describa el funcionamiento tanto de forma particular, como de manera conjunta del prototipo de recolección de limón. La documentación de producción queda anexada al presente trabajo.

Capítulo 1. La producción de cítricos en México

1.1 México y su contexto geográfico.

México es un país con una amplia diversidad de climas, tipos de suelo, culturas y actividades económicas que en conjunto con otros factores, favorecen su desarrollo como nación. Su situación geográfica al colindar al norte con los Estados Unidos de América, al sur Guatemala en conjunto con Belice, quedando además comprendida entre los océanos pacífico al oeste y el golfo de México al este; le confieren ventajas para operaciones de transacción de mercancías, pues las vías de acceso con la primera potencia mundial, la conexión vía marítima con el continente europeo, asiático además del africano implican costos de transporte relativamente bajos en comparación con la mayoría de los países de América Latina. Las relaciones comerciales que México tiene con el exterior contemplan 12 tratados de libre comercio con 44 países diferentes en América, Europa, Medio Oriente y Asia. Esto hace de México el segundo país con más tratados en AL después de Chile (Georgia Institute of Technology, ITESM, 2011).

Tales ventajas de país exportador hacen poner la atención hacia las actividades que se desarrollan en México, siendo un país con una superficie territorial de 1,964,375 kilómetros cuadrados, de los cuales, 1,959,248 son de superficie continental y 5,127 son de área insular. También se cuenta con un área marítima de 3,149,920 kilómetros cuadrados, distribuyéndose 2,320,380 para el océano pacífico y 829,540 para el golfo de México en conjunto con el Mar Caribe. La distribución gráfica de los territorios de México queda como sigue, haciendo un gran total de 5,114,295 kilómetros cuadrados (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014)



Figura 1.1: INEGI. Distribución del territorio mexicano (mapa). Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/extension/>

1.2 Panorama del sector alimentario en México al año 2013.

Las naciones, en su tarea de subsistir y garantizar el bienestar de sus habitantes, desarrollan actividades de obtención, transformación e intercambio de recursos naturales que resuelven necesidades partiendo de carácter básico. Como una medida de vigilancia en la estabilidad de cada nación, se han desarrollado indicadores cuya finalidad es revelar su estado actual, tanto en general como en cada aspecto particular de interés. El Producto Interno Bruto es una magnitud macroeconómica que manifiesta en términos de valor monetario la producción de bienes y servicios de uso final en un determinado país considerando un periodo de tiempo. En México, el Producto Interno Bruto (PIB) a precios del 2008 para el tercer trimestre de 2013 y 2014 fue de \$13,090,872 y \$13,372,727 millones de pesos, respectivamente. Considerando las sumas mencionadas en sus respectivos periodos, se registró un PIB correspondiente al conjunto de la agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca así como la caza de \$330,070 y de \$357,477 millones de pesos (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014). Lo anterior implica variaciones positivas del PIB a nivel nacional, traduciéndose en un crecimiento generalizado de producción de bienes en conjunto con los servicios de 1.6%, mientras que particularmente para las actividades relacionadas con el sector alimentario tuvieron una variación positiva de 2.6 puntos porcentuales. El impacto de las actividades con relación al sector alimentario se refleja en la participación en el PIB nacional para el año 2013, mostrados en la tabla 1.1:

Tabla 1.1			
PIB al 2013 en México y participación del sector alimentario a precios de 2008 (INEGI)			
Producto Interno Bruto		Monto (millones de pesos)	Participación % al PIB total
Nacional anualizado		\$13,079,601	100
Sector alimentario	Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza	\$405,640	3.1
	Industria alimentaria de las bebidas y del tabaco	\$593,783	4.5

Tabla 1.1: PIB en México y participación del sector alimentario a precios de 2008. Fuente: INEGI

Las tareas realizadas en México en materia de explotación y uso de recursos naturales son catalogadas como actividades económicas, mismas que a su vez son clasificadas en 3 sectores: El sector primario, el sector secundario y el terciario.

El sector primario considera todas las actividades efectuadas directamente en la naturaleza para la obtención de recursos naturales, teniendo como fin la obtención de alimentos, o bien, la generación de materias primas que son útiles en otras labores. La

ganadería, la pesca, la agricultura, la explotación forestal y la minería forman parte de este sector.

Las materias primas obtenidas como resultado de las actividades del sector primario son llevadas para su transformación mediante el uso de maquinaria y procesos, estos últimos cada vez más automatizados por la creciente cantidad de demanda de productos procesados, además de la exigencia de mayor calidad de los mismos. Trabajos que son efectuados por la industria manufacturera en conjunto con la industria de la construcción conforman el sector secundario de la economía, siendo llevados a cabo en fábricas, laboratorios y talleres. Asimismo, de acuerdo a lo que producen, las actividades se dividen en: construcción, industria manufacturera y electricidad, gas y agua.

Un tercer sector de la economía no implica la producción de bienes materiales. Dicho sector en cambio utiliza los productos terminados del sector secundario para su venta y distribución en conjunto con los servicios, donde el aprovechamiento de recursos en el que el usuario no sea el propietario final. Tales labores forman parte del sector terciario. Actividades como el comercio, los servicios y las telecomunicaciones forman el grupo de este sector económico. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014)

Particularmente, el sector alimentario en México tiene sus actividades en los tres sectores de la economía: En el primario se extraen tanto recursos a consumirse directamente sin requerir procesamiento, como otros tantos susceptibles de transformación mediante alguna actividad industrial que posteriormente son llevados a comercialización y distribución con el fin de satisfacer las necesidades de los consumidores finales. Dadas las características de los alimentos, el sector primario concentra una gran cantidad de actividades relativas al sector alimentario, específicamente en el sector agrícola. Para tales actividades, datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014), revelan que en el año 2012 se utilizó una superficie de 21,901,600 hectáreas sembradas de las cuales, 20,511,051 (has) fueron cosechadas en ese periodo de tiempo, esto implica un porcentaje de 11.1% y 10.4% respectivamente en lo referente a la superficie continental del territorio mexicano.

1.2.1 Principales actividades y productos del sector alimentario en México

México desarrolla una gran variedad de actividades. A favor de la amplia oferta de productos alimenticios, está la variedad de climas conjuntamente con los ecosistemas presentes en el territorio mexicano. La siguiente tabla muestra un resumen de dichas actividades por sector económico.

Tabla 1.2	
Distribución de actividades del sector alimentario mexicano en los sectores económicos (INEGI)	
Sector Económico	Actividades
Primario	Cultivos cíclicos, cultivos perennes, producción de azúcar, producción de carne en canal, producción de leche de bovino.
Secundario	Industria alimentaria, de las bebidas y del tabaco.
Terciario	Comercialización en general de alimentos, bebidas y tabaco. Comercio exterior de productos alimenticios.

Tabla 1.2: Distribución de actividades del sector alimentario mexicano en los sectores económicos. Fuente: INEGI.

La autosuficiencia alimentaria de México es un tema de gran relevancia por las características inherentes que tiene un país en vías de desarrollo, en ese particular sentido, el crecimiento de la población es una de tales características que inciden directamente en la demanda de alimentos. El universo de productos generados por las actividades citadas en la tabla 1.2 es amplio, destacan por su volumen de producción los originados dentro del marco del sector económico primario que tienen lugar en las actividades de agricultura, ganadería y pesca.

Por el lado de la agricultura, se consideran dos clases de cultivos de acuerdo con la secuencia de cambios desde la siembra hasta la producción de los frutos denominada ciclo vegetativo. Por un lado, los cultivos cíclicos presentan un ciclo vegetativo menor a un año, y por otro lado se tienen los cultivos perennes cuyo ciclo es mayor a un año. Además, estas últimas tienen una vida económicamente útil de 2 a 30 años, hecho que convierte a los cultivos perennes en entidades productoras altamente aprovechables. La siguiente tabla muestra una relación de los cultivos más importantes tanto cíclicos como perennes en México (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014)

Tabla 1.3						
Cultivos agrícolas alimenticios más importantes de acuerdo a su volumen y tipo (INEGI)						
Tipo de cultivo	Producto	Volumen de producción (toneladas)			variación porcentual	
		2011	2012	2013	2011-2012	2012-2013
Cultivos cíclicos	Maíz	17,635,417	22,069,254	22,663,953	25.1	2.7
	Sorgo	6,429,311	6,969,502	6,308,146	8.4	-9.5
	Trigo	3,627,511	3,274,337	3,357,307	-9.7	2.5
	Jitomate	1,872,482	2,838,370	2,694,358	51.6	-5.1
Cultivos perennes	Caña de azúcar	49,735,273	50,946,483	61,182,077	2.4	20.1
	Naranja	4,079,678	3,666,790	4,409,968	-10.1	20.3
	Plátano	2,138,687	2,203,861	2,127,772	3	-3.5
	Limón	2,132,922	2,055,209	2,120,613	-3.6	3.2

Tabla 1.3: Cultivos agrícolas alimenticios más importantes de acuerdo a su volumen y tipo. Fuente: INEGI

La ganadería es otra de las actividades importantes del sector primario en México en materia alimenticia. Entre los productos más importantes que se consideran en este rubro están la carne de ganado bovino, de ganado porcino y la obtenida de las aves. Paralelamente, como productos ganaderos están la leche de ganado bobino además del huevo de gallina. En Cifras, la producción de dichos productos se resume en la tabla siguiente:

Tabla 1.4						
Productos ganaderos más importantes por su volumen (INEGI)						
Tipo de productos	Producto	Volumen de producción (toneladas)			Variación porcentual	
		2011	2012	2013	2011-2012	2012-2013
Producción de carne en canal	Bovino	1,803,932	1,820,548	1,806,758	0.9	-0.8
	Porcino	1,201,998	1,238,625	1,283,672	3	3.6
	Aves	3,434,994	2,791,639	2,808,032	-18.7	0.6
Otros productos pecuarios	Leche de bovino (miles de litros)	10,724,288	10,880,870	10,965,632	1.5	0.8
	Huevo	2,458,732	2,318,261	2,516,094	-5.7	8.5

Tabla 1.4: Productos ganaderos más importantes por su volumen. Fuente: INEGI

En cuanto a la pesca, la producción en el sector económico primario tiene como objetivo el abasto a dos tipos de consumo: el humano directo implica que el producto llegue hasta el consumidor mediante canales de comercialización sin involucrar un número cuantioso de intermediarios, y el consumo humano indirecto donde además de que el producto pasa por el sector económico secundario, en su distribución al consumidor final

existe un gran número de intermediarios para garantizar una mayor cobertura de la demanda, para lo cual, el producto llega al sector económico terciario. En seguida, la tabla 1.5 muestra la relación de la producción para ambos tipos de consumo registrada en los años 2011, 2012 y 2013 con información extraída del informe correspondiente al sector alimentario en México publicado en el año 2014, considerando a los productos de mayor volumen (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014).

Tabla 1.5						
Productos pesqueros más importantes por su volumen (INEGI)						
Tipo de consumo	Producto	volumen de producción (toneladas)			Variación porcentual	
		2011	2012	2013	2011-2012	2012-2013
Consumo humano directo	Sardina	273,655	192,739	174,946	-29.6	-9.2
	Atún	109,491	97,513	128,818	-10.9	32.1
	Mojarra	73,167	74,126	99,746	1.3	34.6
Consumo humano indirecto	Sardina industrial	316,118	429,448	462,127	35.9	7.6

Tabla 1.5: Productos pesqueros más importantes por su volumen. Fuente: INEGI

Los datos presentados en las tablas anteriores muestran a grandes rasgos el panorama del sector alimentario en materia de volumen de producción para los productos más importantes en México. La tabla 1.1 revela un sesgo importante del impacto en el Producto Interno Bruto (PIB), por lo que resulta evidente que los esfuerzos realizados dentro del sector secundario aportan más valor que las actividades del sector primario. La urgencia de prestar atención a las actividades del sector primario en aras de aprovechar mejor el potencial que tiene, particularmente para la agricultura, es advertida por la relevancia que tiene esta actividad, pues, es gracias a las actividades agrícolas que se genera la totalidad de los alimentos.

La Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (*FAO, Food and Agriculture Organization* por sus siglas en inglés) muestra la notable trascendencia de la agricultura. Textualmente señala, “es fundamental en la seguridad alimentaria, en el costo de vida y en el ingreso real del conjunto de la población, particularmente de los más pobres que destinan a la compra de alimentos, una mayor proporción de su ingreso” (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2009). Entre otros aspectos relevantes de la agricultura como actividad, no es sólo un sector productivo, es una entidad que colabora al desarrollo de México en otras direcciones como lo son el desarrollo social y ambiental. En materia del desarrollo rural, se llevan a cabo diversas actividades como lo son el comercio local, la artesanía, la extracción de materiales, el ecoturismo, los servicios ambientales además del trabajo asalariado. No obstante, la agricultura como actividad rural permanece como una constante predominante sobre las demás actividades rurales.

Importante es para la agricultura la revalorización del medio rural, implica por un lado esfuerzos en la creación de empleos remuneradores, en la inversión en capital humano, en infraestructura física y social que impulsen la productividad como consecuencia del desarrollo tecnológico. Por otro lado, beneficios como el incremento del bienestar en el medio rural, la mitigación del éxodo migratorio hacia las ciudades en conjunto con una reducción de los costos de los programas de asistencia social. El sesgo positivo en acciones encaminadas hacia la agricultura posibilita facilidades para combatir la pobreza en zonas rurales de igual manera con la integración de los sectores pobres a un desarrollo sostenido. También es posible la preservación del patrimonio natural, cultural y social que constituye una de las formas de riqueza más importantes de México.

1.2.2 La citricultura en México

La citricultura como sector de la agricultura, es una actividad de gran impacto socioeconómico. De acuerdo con el Consejo Citrícola de Veracruz, la citricultura se encuentra presente en 28 entidades de la República Mexicana. No obstante, un alto porcentaje de la producción se encuentra localizado mayormente en los estados de la República que colindan con el Golfo de México. (Consejo Estatal Citrícola de Veracruz, 2004).

Tabla 1.6						
Producción de cítricos por estado de la República Mexicana durante 2013 (INEGI)						
Estado	Naranja			Limón		
	Producción (toneladas)	Valor (miles de pesos)	Hectáreas cosechadas	Producción (toneladas)	Valor (miles de pesos)	Hectáreas cosechadas
Veracruz de Ignacio de la Llave	2,143,561	\$2,452,488	158,586	605,033	\$1,816,570	39,170
Tamaulipas	747,670	\$760,877	30,354	76,712	\$277,360	3,583
San Luis Potosí	402,195	\$492,582	38,194	16,780	\$33,315	1,630
Puebla	209,561	\$231,589	19,757	30,791	\$72,074	2,365
Nuevo León	294,164	\$437,224	25,446	0	\$0	0
Yucatán	141,115	\$222,842	11,807	123,994	\$166,685	4,897
Sonora	122,807	\$216,601	5,423	923	\$3,161	70
Tabasco	81,695	\$186,657	8,175	83,474	\$202,824	7,174
Oaxaca	55,386	\$81,601	4,616	195,425	\$498,380	15,481
Hidalgo	51,435	\$44,679	5,260	2,230	\$6,105	346
Baja California Sur	58,888	\$140,717	2,624	195	\$1,005	37
Campeche	27,212	\$75,697	2,823	7,648	\$27,542	1,099

Tabla 1.6: Producción de cítricos por estado de la República Mexicana durante 2013. Fuente: INEGI

De acuerdo con el INEGI, los cítricos considerados en su publicación, “El sector alimentario en México 2014” son sólo la naranja y el limón como cultivos perennes, pues son los más importantes en cuanto a producción con una cifra conjunta de 6,530,581 toneladas en el año 2013. Existen también otros cultivos cítricos denominados como cítricos dulces, ejemplos tales son la mandarina, la tangerina así como la toronja que aportan un volumen menor de producción y por ende, una aportación menor al Producto Interno Bruto.

El cultivo de cítricos representa una fuente de ingresos importante en las zonas rurales donde se desarrolla. La SAGARPA, en cifras considera cerca de 69 mil familias dependiendo de esta actividad, teniendo a su vez un valor superior a 7,100 millones de pesos (SAGARPA, 2012). La producción, distribución así como la comercialización de cítricos depende, además de las actividades enmarcadas dentro del sector primario de la economía, de otras actividades pertenecientes al sector secundario y terciario como lo

son las industrias jugueras, los viveros, las enceradoras conjuntamente con las empacadoras. Conforme a lo publicado en el portal Web del Consejo Estatal Citrícola de Veracruz, el entorno económico nacional del sistema-producto cítricos en el año 2004 deja ver claramente la importancia de la producción tanto del limón como de la naranja, asimismo, se señala que la infraestructura del sistema-producto cítricos tiene el tercer lugar en importancia dentro de todos los cultivos agrícolas. (Consejo Estatal Citrícola de Veracruz, 2004)



Elaboración: Lic. José Ramón Cárdenas Ramírez; Facilitador Nal. S.P.C.
Figura 1.2: Cárdenas, J.(2004). Entorno económico nacional de la citricultura en México en el año 2004 (gráfica).
 Recuperado de www.concitur.com

Las cifras de producción de limón y naranja en años recientes (de 2011 a 2013) presentan una variación sensible considerando los datos recuperados de la tabla 1.3, de donde se calcula que para 2011 se produjeron 6,212,600 toneladas; en 2012, 5,721.999 toneladas; y en 2013, 6,530,581. Tal variación puede deberse a diversos factores como el clima, el manejo, la proliferación de plagas, entre otros.

De la tabla 1.3 se puede apreciar el déficit en la producción de cítricos en los periodos 2011 y 2012, particularmente para la producción de limón, pues no experimenta un repunte en la producción como en el caso de la naranja durante el año 2013. Las variaciones negativas tanto en la producción de estos cítricos destacan la importancia de prestar especial atención a ese sector de la agricultura de cultivos perennes, dado que esa naturaleza confiere a los cultivos un alto nivel de aprovechamiento.

1.3 Descripción del proceso de producción de limón y prácticas en la cosecha

1.3.1 El limón

El limón como fruto proviene de un árbol conocido comúnmente con el nombre de limonero. Los detalles de la planta se describen a continuación:

Nombre vulgar: Limonero

Nombre científico: *Citrus limon*

Familia: Rutáceas

Hábitat: Es cultivado por sus frutos, como árbol ornamental de jardín en zonas cálidas mediterráneas junto al mar.

Usos: Arbusto ornamental y producción. Sus frutos son utilizados en la cocina por su acidez, aroma y para decoración.



Figura 1.3: Limonero (fotografía). (2015). Recuperado de www.foro-ciudad.com/galerías

Tanto Polese y Juscafresa definen al limonero como un árbol vigoroso, de crecimiento y fructificación rápidos, además es muy productivo. Se cree que es originario de Asia menor de donde fue exportado a Europa. Tiene cierto ramaje divergente, regularmente espinoso, porte entre erecto y pendulante. Sus hojas son grandes, muy perfumadas de un color verde claro, la altura que alcanza un limonero oscila entre los 3 y los 6 metros aunque existen ejemplares longevos por encima de esa altura (Polese, 2007), (Juscafresa, 1978).

Siendo el cítrico más cultivado por particulares, el limón es a su vez complejo de cultivar pues requiere ciertos requerimientos muy particulares en las tierras de cultivo, depende de la aireación de las raíces, la permeabilidad del suelo, el clima y la presencia de minerales necesarios en el suelo. Es una planta sensible al frío, Juscafresa (1978) recomienda que un terreno apto para el cultivo de riego debe tener un clima en invierno en donde la temperatura no descienda de 0° centígrados, pues esto traería como consecuencia la caída parcial o muerte del árbol. Siendo el limonero una planta perenne de lento desarrollo con ciclo vegetativo mayor a un año, estará listo para producir en un periodo de 2 a 3 años. Polese señala que al ser un árbol vigoroso, éste debe ser podado varias veces al año, procurando dejar la copa con un ramaje claro que permita la circulación de las corrientes de aire para favorecer la floración así como el cuajado de los frutos. Demanda de riego frecuente y abono con fertilizantes orgánicos con aportaciones de minerales como sales potásicas, pues el limón, “es el cítrico más ávido de elementos minerales” (Polese, 2007).

Existen diversas variedades de limonero que se recomiendan para el cultivo entre las que se cuentan (Juscafresa, 1978):

- De las 4 estaciones: es muy productivo con un rápido desarrollo. Sus frutos son pequeños, de pulpa jugosa y escasa semilla. Madura en cada estación del año
- Vernia: árbol refloreciente y productivo. Produce frutos de forma oval de piel lisa con color amarillo. Madura en primavera y otoño
- Eureka: es la variedad más cultivada en el mundo por su elevada productividad, fructifica 8 meses al año.
- Limonero ordinario: posee un alto nivel de producción y buen desarrollo. Entrega frutos de tamaño mediano con piel de color amarillo claro con pulpa de sabor agradable. Madura ininterrumpidamente.
- Melarrosa: es un árbol de buen desarrollo con escasas espinas. Los frutos son de formas redondeadas con pulpa muy ácida. Madura tanto en primavera como en otoño.
- De España: árbol de gran producción. Los frutos son pequeños respecto a otras variedades. Madura ininterrumpidamente.

Esta planta no queda exenta del ataque de plagas, el ectoparásito *morphea* es el agente que produce una capa oscura sobre las hojas del árbol, impidiendo la transpiración y provoca la caída prematura del fruto. La psoriasis provoca en el limonero la caída de la corteza del tronco, misma que se combate cuidadosamente debido a su carácter infeccioso, se recomienda al podar el árbol o retirar la corteza muerta para la aplicación de sulfato de cobre al 1%, desinfectar las herramientas que habrán de utilizarse en otros árboles.

1.3.2 Panorama del limón en México.

Para Abril de 2014, México cuenta con cerca de 170,000 hectáreas dedicadas a la producción de limón. En el año 2008, se logró el volumen de producción más elevado jamás alcanzado con 2.2 millones de toneladas a nivel nacional. Según datos del INEGI, para el año 2012 la producción estuvo cerca de la cifra récord con 2,055,209 toneladas en una superficie de 149,194 (has), lo que arroja un rendimiento de 13.7 toneladas por hectárea en promedio. La siguiente figura muestra el rendimiento histórico de producción por hectárea del año 2000 y hasta el valor preliminar de producción para 2013. (Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero, 2014)

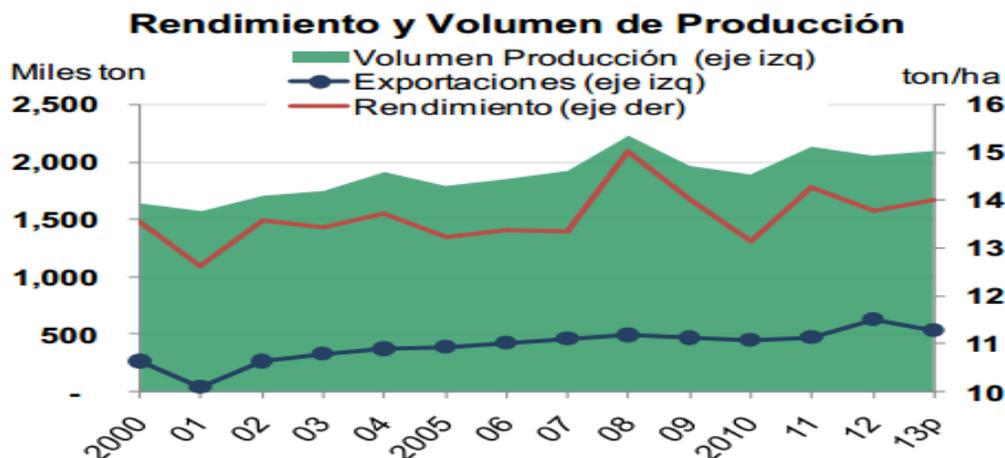


Figura 1.4 FND (2014). Rendimiento y volumen de producción por Ha. cosechada de limón (gráfica). Recuperada de www.financierarural.gob.mx

Actualmente, la producción de limón se concentra en las regiones del Golfo, pacífico sur, el occidente, parte de la península de Yucatán y el norte del país.

Tabla 1.7			
Principales estados productores de limón en la República Mexicana durante 2013 (INEGI)			
Estado	Hectáreas cosechadas	Producción (toneladas)	Valor (miles de pesos)
Veracruz de Ignacio de la Llave	39,170	605,033	\$1,816,570
Michoacán de Ocampo	39,374	518,598	\$1,882,063
Colima	18,729	269,555	\$932,013
Oaxaca	15,481	195,425	\$498,380
Yucatán	4,897	123,994	\$166,685
Tabasco	7,174	83,474	\$202,824
Tamaulipas	3,583	76,712	\$277,360
Guerrero	6,834	73,780	\$185,814
Jalisco	3,443	59,120	\$205,528
Puebla	2,365	30,791	\$72,074
Quintana Roo	1,107	21,510	\$93,235
Nayarit	2,265	16,998	\$41,505

Tabla 1.7: Estados de la República Mexicana con mayor producción de limón. Fuente: INEGI

Las variedades de limón producidas en México son el limón agrio o mexicano, la lima, el limón italiano, el limón real y el limón persa, siendo los más importantes el limón agrio con 51% de la producción total, el limón persa con 45% y el limón italiano con 4%. Al ser un cultivo perenne, la producción a lo largo del año es ininterrumpida, sin embargo, existe un repunte en los meses de mayo y junio considerando plantaciones que son de riego junto con las de temporal.

La estacionalidad por año de producción según cifras del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (2014), muestran a las mismas por año de calendario de la producción considerada como promedio en el periodo de 2003 a 2012. Se consideran en este cálculo las modalidades de cultivo de riego en conjunto con los de temporal.

Tabla 1.8 Estacionalidad por año de la producción de limón (SIAP)			
Mes	Mensual (Toneladas)	Acumulada (Toneladas)	Porcentaje Mensual
Enero	74,944	74,944	3.75
Febrero	110,560	185,504	5.53
Marzo	124,231	309,735	6.22
Abril	168,399	478,134	8.43
Mayo	211,680	689,814	10.59
Junio	217,855	907,669	10.9
Julio	188,342	1,096,011	9.43
Agosto	191,764	1,287,775	9.6
Septiembre	195,162	1,482,937	9.77
Octubre	184,789	1,667,726	9.25
Noviembre	182,054	1,849,780	9.11
Diciembre	148,397	1,998,177	7.43

Tabla 1.8: Estacionalidad por año de producción de limón. Recuperada de <http://www.siap.gob.mx/estacionalidad-de-la-produccion/>



Figura 1.5: SIAP. (2014). Estacionalidad promedio de producción de limón (gráfica). Recuperada de <http://www.siap.gob.mx/estacionalidad-de-la-produccion/>

México exporta cerca de la cuarta parte de la producción nacional, cantidad cercana a las 500,000 toneladas, siendo la principal variedad el limón persa con un 85% del total de la cantidad expedida. El principal destino de las exportaciones es los Estados Unidos de América, lugar a donde llega el 90% del total exportado.

Si bien es cierto que, como lo señalan Juscafresa (1978) y Polese (2007) el limón es un cultivo sumamente productivo, una de las causas de merma en el aprovechamiento es por plantas atacadas por plagas. En Colima, el ataque de la plaga del Huanglongbing (dragón amarillo) ha reducido desde 2008 la producción del limón mexicano hasta en 50% de lo que era hasta antes de la propagación de la plaga. No obstante, a nivel nacional la recuperación de la merma es compensada por los incrementos registrados en años recientes en las entidades federativas de Veracruz de Ignacio de la Llave en conjunto con el estado de Michoacán de Ocampo, motivo por el cual el nivel de producción nacional se mantiene en niveles estables a lo largo del tiempo.

La variación en favor del alza en los precios del cítrico durante los primeros meses del año 2014 se debieron, por un lado, por la recuperación del nivel de producción dentro de su comportamiento estacional, por otro lado por las condiciones no favorables en el estado de Michoacán para el traslado y comercialización del producto debido a problemas de inseguridad en la región.

1.3.3 El proceso de producción de limón.

En la transformación de materias primas intervienen diversos elementos que desarrollan una función específica, mismos que en la etapa inicial del proceso son conocidos como factores y serán transformados a la salida del proceso en productos mediante un conjunto de acciones interrelacionadas dinámicamente que hacen que el valor de los factores se incrementen.

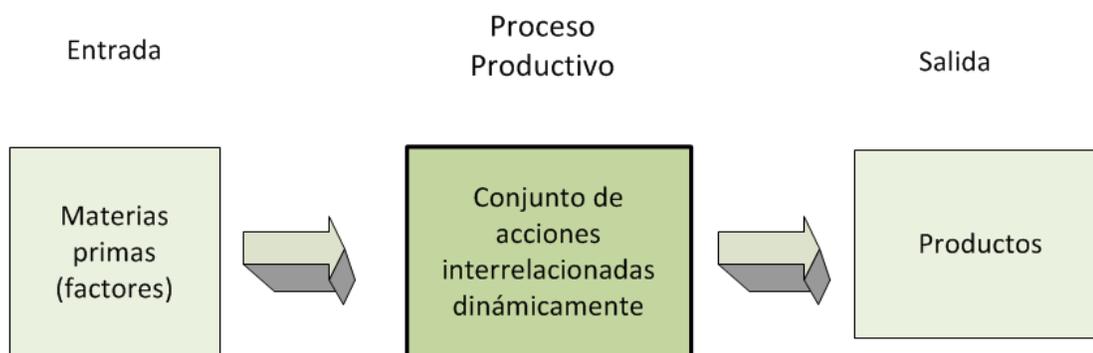


Figura 1.6: Proceso productivo en caja negra (esquema).

Particularmente para los cítricos, el proceso productivo comienza desde la selección y preparación del terreno donde se cultivará la planta, dado que el limonero requiere determinadas condiciones para entregar frutos con los factores intrínsecos que se hayan proyectado.

Juscafresa (1978) señala que la selección del terreno se basa en los siguientes parámetros:

- Deberá ser un terreno de riego con abasto garantizado de agua en abundancia.
- La tierra debe permitir la aireación de las raíces, es decir, debe ser permeable.
- El lugar debe estar provisto de una atmósfera húmeda, aunque también pueden servir climas templados y hasta calurosos.

Otros factores a tomar en cuenta son la variedad de limón a cultivarse, el método de propagación de la planta (por semilla o vía injertación) y la disponibilidad de los insumos necesarios en las cercanías de la zona de cultivo. Lo anterior evita condiciones de desabasto, asegurando la continuidad de la producción.

El buen diseño, así como el establecimiento de una plantación dependen de factores decisivos como la orientación, la distribución y la densidad del arbolado con las que se buscan optimizar la cantidad de cosechas futuras en conjunto con la calidad de los frutos, así como la rentabilidad de la plantación. Se ha de considerar que los árboles puedan captar la mayor cantidad de luz solar posible, una óptima aireación para cada uno de los árboles así como considerar espacio para callejones de trabajo. Cabe mencionar que un número reducido de árboles respecto a la superficie disponible

garantiza un desarrollo muy favorable, sacrificando el aprovechamiento del espacio, por consecuencia una cosecha reducida. Por otra parte, si la densidad del arbolado es muy elevada, los problemas potenciales por la competencia de nutrientes entre árboles, el escaso espacio para maniobras, la complejidad de la plantación, derivan en incremento de costos al favorecer estos factores en conjunto la proliferación de enfermedades entre árboles y la reducción de cosecha al tener una mayor cantidad de frutos no conformes con las características de calidad requeridas por los clientes. (Consejo Citrícola de Veracruz, 2004)

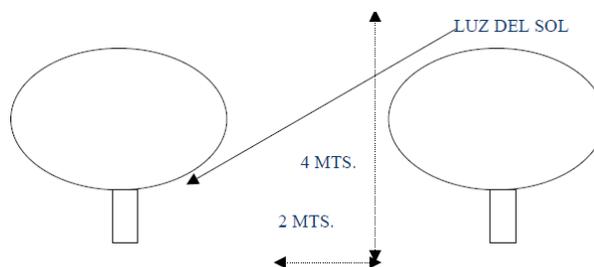


Figura 1.7: CONCITVER. (2004) Parámetros de distancia entre árboles para condiciones óptimas de iluminación y trabajo (esquema). Recuperado de <http://www.concitver.com/publicaciones.html>

Las dimensiones óptimas del terreno a cultivar pueden determinarse tanto por análisis de la demanda actual como la demanda pronosticada a mediano plazo, ya que si se ajusta sólo a la demanda actual, existe el riesgo de que no se satisfagan las necesidades del mercado en el futuro, a la postre la pérdida de competitividad del productor. Tales dimensiones deben estar sujetas al espaciado entre árboles, a su vez, dependen de la fertilidad del terreno y la pendiente del mismo, pues el limonero, al requerir una cantidad importante de minerales del suelo, tiende a competir por los nutrientes con las plantas aledañas. Además, el flujo de agua en las operaciones de riego varía en función de la pendiente del terreno, por lo que debe garantizarse un flujo adecuado asegurando el abasto de agua a todas las plantas. Juscafresa (1978) sugiere plantar los árboles en agujeros abiertos de 70 centímetros de profundidad con una anchura por lado de 70 centímetros. El espaciado, según el manual publicado en El Salvador por la Organización Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (1999) es el siguiente:

Tabla 1.9	
Distancias entre árbol y árbol en el cultivo de limón (OIRSA)	
Distanciamiento	Árboles por manzana
5m X 4m	350
5m X 5m	280
5m X 6m	233
6m X 6m	164
6m X 4m	292

Tabla 1.9: Distancias entre árboles. Una manzana = 7000 metros cuadrados. Recuperada de www.oirsa.org

Tales distancias deben quedar distribuidas de tal forma que los factores considerados líneas arriba queden optimizados. El Consejo Citrícola de Veracruz en su manual de Buenas Prácticas de Citricolas, Inocuidad y Control integral de la Mosca de la Fruta, señala la disposición de los árboles considerando los patrones de 8x4, 7x4, 6x4, hasta 3x3 para plantaciones con una distribución densa del arbolado, siguiendo las geometrías de rectángulo, tres bolillo, así como curvas de nivel para topografías quebradas. Tales configuraciones se muestran enseguida.

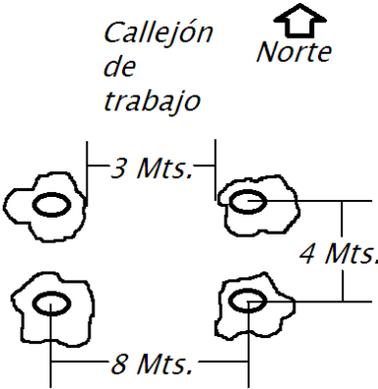


Figura 1. 8: CONCITVER. (2004) Configuración rectángulo para la siembra de los árboles (esquema). Recuperado de <http://www.concitver.com/publicaciones.html>

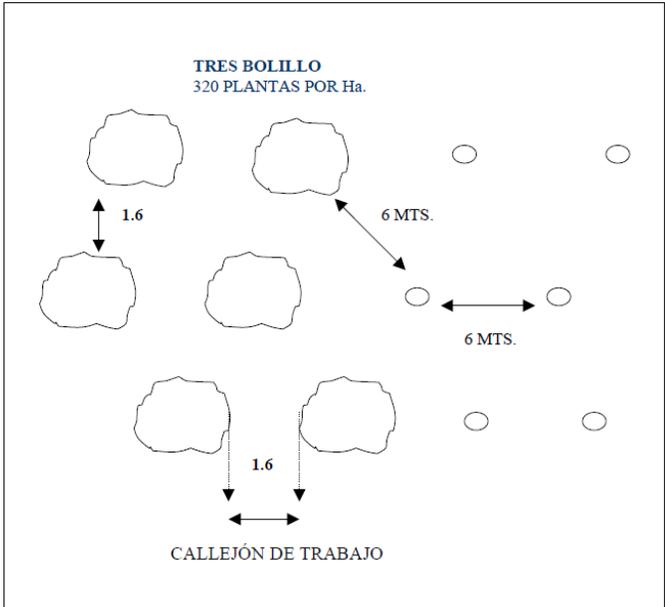


Figura 1.9: CONCITVER. (2004) Configuración tres bolillo para la siembra de árboles (esquema). Recuperado de <http://www.concitver.com/publicaciones.html>

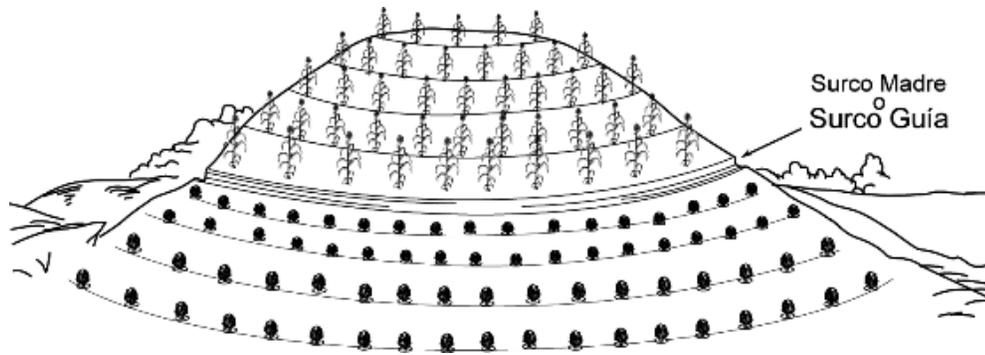


Figura 1.10: FUNDESYRAM. (2004). Siembra en curvas de nivel. Recuperado de <http://www.fundesyram.info/biblioteca/displayFicha.php?fichaID=510>

Una vez seleccionada la variedad de limón, el terreno de cultivo y el espaciamiento entre árboles, se procede a la siembra de los árboles considerando su naturaleza perenne. Bastará esperar 12 meses para la culminación del primer ciclo vegetativo para comenzar la producción continua.

La etapa más crítica del proceso de producción de limón es la recolección, en consecuencia se deben vigilar las cualidades del fruto, procurando sean adecuadas y si lo son, deben preservarse. Se dice que la recolección es la etapa más costosa de todo el proceso. Como bien lo señala Mazzuz (1996) la decisión del momento más oportuno para recolectar debe considerar:

- Aspectos relacionados con el fruto (madurez, color, calibre, cantidad de jugo, acidez).
- Aspectos climáticos para la facilidad de la operación (la escasa humedad de un día caluroso permite que la resistencia de los frutos sea de 4 kg/cm² a la compresión, lo que evita daños en la manipulación y transporte).
- Aspectos organizacionales y económicos.

El limón es un fruto que aún después de haber sido desprendido del árbol, continúa evolucionando, por tanto, los cuidados deben seguir durante el almacenamiento además del transporte hacia los centros de distribución y transformación.

1.3.4 La cosecha y sus prácticas.

En el proceso de cosecha de cítricos se debe tener especial cuidado cuando se trata de consumo local o para exportación como fruta fresca. Determinar la época de recolección es una labor que debe ser llevada a cabo por un productor con mucha experiencia. Es importante saber identificar las características del fruto al momento de recolectar en función del tipo de consumidor, pues estos prefieren productos frescos con una duración de 10 a 12 días después de haber sido comprados, hecho que incide directamente en el momento ideal para cosecha considerando los tiempos de entrega a los centros de distribución y de ahí al consumidor final.

A nivel mundial, la recolección se lleva a cabo de manera manual, esto convierte a esta operación en la más costosa dentro del proceso al tener que extremar los cuidados de manipulación de los frutos. Mazzuz (1996) expone 2 tipos de recolección de cítricos:

- A tirón: El fruto se inclina mediante una flexión respecto a la ramilla y luego se jala hacia abajo para desprenderlo. Es una manera rápida de recolección, incluso es la más común.

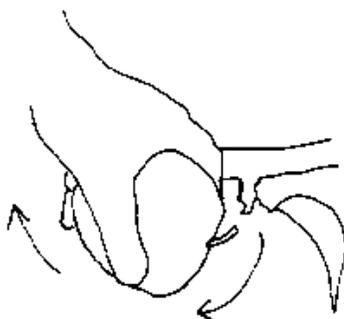


Figura 1.11: FAO. (1996). Recolección de cítricos "a tirón" (imagen). Recuperado de www.fao.org

- Por corte de pedúnculo: se utilizan tijeras cortas, a menudo tienen las puntas redondeadas que evitan dejar rasgaduras en la piel de los frutos.



Figura 1.12: Recolección de cítricos por corte de pedúnculo. Recuperado de <http://www.aequipos.cl/blog/>

La altura de los árboles de limón ocasiona que el trabajador lleve a cabo esta tarea estando de pie sobre el terreno mientras se guarda una distancia de 30 centímetros con

el árbol para evitar que las espinas de las ramas le produzcan lesiones, asimismo, es recomendable evitar una extensión excesiva de los brazos para reducir la fatiga en las labores de recolección. Cuando los frutos en los árboles se encuentran en las partes altas del árbol, se utiliza una escalera de doble pie para alcanzar los frutos. En algunos casos se utilizan tubos metálicos largos que son manipulados estando de pie sobre la tierra en aras de arrancar los frutos más altos. La comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria (COVECA) en su monografía del limón, apunta que este último método debe ser desechado debido a los daños producidos a los frutos cuando estos caen al suelo y por la falta de cuidado al desprender los frutos de sus pedúnculos implicando un riesgo potencial de producir magulladuras, roturas en la piel y otros daños mecánicos, derivando en la pérdida de frutos. (Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, 2011)

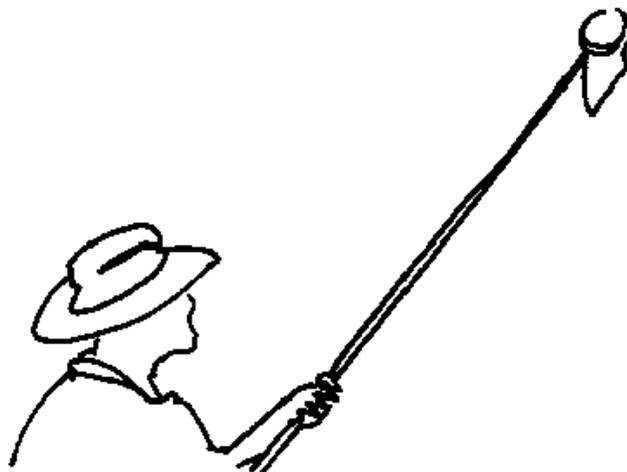


Figura 1.13: FAO. (1996). Uso de tubos o garrochas para cosecha. Recuperado de www.fao.org

El fruto a lo largo de todo el proceso productivo está expuesto a riesgos potenciales de afectación a sus características intrínsecas y por ende, a la calidad ofrecida a los consumidores, provocando pérdidas en el ingreso tras la cosecha por las mermas originadas. Señala Carina Mazzuz (1996), que la mala manipulación de productos frescos acarrea pérdidas cuantiosas en frutos, pues se ha invertido tiempo, utilización de maquinaria y de mano de obra. Los defectos más comunes producidos en frutos cosechados son:

- Magulladuras: producidas por ejercer demasiada presión en los frutos al momento de desprenderlo de la ramilla. Su aparición es común en los frutos impactados en el suelo tras haber sido desprendidos en condiciones de poco cuidado.
- Pedúnculos largos: son el resultado de un mal corte utilizando alicate o bien, un mal desprendimiento; es probable obtener como resultado pedúnculos muy largos. Si bien el fruto se conserva en el momento de la recolección, los pedúnculos largos causan daños durante el almacenamiento, pues dañan a los frutos mismos así como a los más cercanos, favoreciendo la aparición de podredumbres en la zona peduncular y en la zona donde se haya rasgado la piel

de los frutos adyacentes. Es especialmente peligroso en ambientes de humedad elevada porque propicia la pérdida de resistencia de la piel.

- Pérdida de cáliz: ambas operaciones de corte pueden provocar que el cáliz se desprenda por completo. Como consecuencia, el fruto se reseca con la inevitable aparición de podredumbre o moho.
- Arranques de piel: un manejo brusco de los frutos al momento de recolectar y especialmente en condiciones de humedad elevada, niebla o lluvia hace que la piel se desprenda en la zona peduncular, favoreciendo la aparición de podredumbre además de la incidencia de *Penicillium* (moho)
- Rasgaduras: se origina principalmente cuando la recolección se lleva a cabo por corte con alicate si las puntas de la herramienta de corte no tienen una geometría adecuada
- Oleocelosis: Es una consecuencia de la recolección con humedad excesiva, magulladuras, manejo brusco con exceso de presión en los frutos

Se han tomado medidas para evitar los daños que generen mermas en la producción de limón, las más comunes son según Mazzuz (1996) y la FAO (1996):

- El trabajador deberá tener las uñas cortas, no utilizar anillos u otros objetos similares. También es útil usar guantes al momento de la recolección. No deberá ejercer mucha fuerza sobre los frutos.
- Se recomienda el uso de tijeras especiales para cosecha de cítricos con las puntas redondeadas.
- Al efectuar la cosecha por corte con alicate, debe dejarse el pedúnculo con una longitud de 5 (mm) de largo como máximo sin afectar la piel de los frutos.
- Evitar golpear las ramas cuando se trabaja con escalera en árboles altos.
- Procurar que el tiempo que el fruto quede expuesto a la humedad sea el mínimo.
- Manejar con cuidado los recipientes y sacos de transporte para evitar magulladuras.
- Descartar los frutos caídos.
- Para observar y vigilar el cumplimiento de las medidas de prevención, es útil contar con mayordomos.

Posterior a la separación del limón del árbol, el fruto pasa de los sacos que llevan atados los trabajadores a unos recipientes de plástico en donde son almacenados de forma temporal. En la actualidad, se utilizan cajones de plástico de 11 kilogramos de capacidad con una geometría conveniente, pues permite se apilen entre sí, además pueden ser manipulados con un montacargas para ser trasladados a almacenes.

Ocasionalmente cuando el trabajador cosecha utilizando escalera, se procura no aplastar el saco con el cuerpo y contra los peldaños de la escalera de doble pie para evitar pérdidas por magulladuras. El uso de cestos o cubetas de capacidades similares también está implícito en la cosecha.



Figura 1.14: FAO. (1996). cestos y cubetas para cosecha. Recuperado de www.fao.org

Los cajones de plástico son relativamente caros, no obstante tienen el beneficio de ser duraderos, lavables. En algunos casos están configurados para apilarse uno dentro del otro cuando no están el uso para ahorrar espacio en el almacenamiento y transporte.



Figura 1.15: Cajón apilable. Recuperada de: www.spanish.alibaba.com

Las etapas posteriores a la recolección implican desde luego el tratamiento del fruto para agregarle valor. Se siguen las siguientes etapas del proceso en las que intervienen tanto la mano del hombre como maquinaria especializada.

- Las cajas se llevan hasta donde se encuentra un tractor con remolque.

Una vez llenas las cajas con la fruta, son llevadas por los trabajadores, la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS, 2013) recomienda que sean llevadas de una en una y caminar sobre piso seco por los callejones de trabajo utilizando calzado de seguridad para evitar lesiones por caídas al mismo nivel y golpes con las cajas, además de mantener libres de obstáculos dichos callejones.

- En el tractor, las cajas se trasladan hacia un camión.

Esta operación pese a parecer simple, debe efectuarse con cuidado debido a que en la mayoría de los casos los terrenos son irregulares y los frutos pueden golpearse con los movimientos bruscos, también se recomienda que el tractor transite por lugares donde el suelo no se encuentre con lodo.



Figura 1.16: Tractor trasladando los frutos recolectados hacia un camión (Fotografía). Recuperado de www.stps.gob.mx

- Primera selección.

En esta etapa del proceso, el fruto se coloca en una banda transportadora de rodillos para ser inspeccionada, los frutos que presenten defectos visibles se descartan de forma manual.



Figura 1.17: Primera selección de limón (fotografía). Recuperado de www.tierrafertil.com.mx

- Lavado.

Para esta etapa, se prepara una solución de agua con cloro diluido considerando un límite de 8 partes por millón en la concentración. Se ha de procurar que no se presenten fugas en los tanques, que los trabajadores conserven una distancia mínima de 50 (cm) del tanque y hacer la preparación de la mezcla a espaldas de las corrientes de aire.

- Cepillado, encerado y secado.

Se busca en esta etapa que el fruto tenga condiciones estéticas adecuadas para su comercialización, por lo que después del lavado, se cepilla para retirar impurezas incrustadas en la piel. Posteriormente, se deposita cera de carnauba grado alimenticio sobre la superficie del fruto, con este tratamiento se busca generar una barrera

permeable que le permita al fruto retardar su proceso de maduración, evitar la deshidratación y proveer al fruto una apariencia de brillo uniforme. Como fase final en esta etapa, el fruto se hace pasar por las salidas de aire de turbinas diseñadas para secar la cera y poder manipular el fruto. El trabajador debe evitar tener contacto con las partes calientes de los equipos de secado.

- Segunda selección (clasificación por tamaño).

Como propósito de esta etapa, se ha de clasificar a los frutos por su calibre y se lleva a cabo por máquinas clasificadoras en las que al paso de los frutos, encausan mediante mecanismos de expulsión, algunos de estos equipos son gobernados por controladores lógicos programables (PLC).



Figura 1.18: La clasificación por tamaño es automatizada en algunos casos (fotografía). Recuperado de www.limonesamatlan.com

- Empacado.

Una vez que la fruta ha quedado clasificada por tamaño, se procede a colocarla en recipientes de diversas presentaciones según el destino al que se tenga proyectado llegar. Se cuentan entre las formas de empaque el enmallado, colocado en cajas de cartón corrugado o en cajones de plástico. Los trabajadores deben observar las medidas de seguridad como el manejo adecuado de cargas, evitar proximidad con cajas en movimiento, no usar ropa holgada y evitar contacto con las partes móviles de los equipos.

- Almacenamiento en cuarto frío.

Para los casos que se requiera, por ejemplo para frutos destinados a exportación, una vez que los frutos han sido clasificados, pesados y empacados, se llevan a cuartos fríos para su conservación. Es conveniente mencionar que el personal que se encarga de tal tarea debe utilizar, además del equipo de protección personal habitual (calzado de

trabajo, guantes de carnaza, fajas para carga, casco), debe usar equipo para protegerse contra temperaturas abatidas en lugares confinados.



Figura 1.19: Limones almacenados en cuarto refrigerado (fotografía). Recuperado de www.limonesamatlan.com

- Embarque.

Al tenerse un destino para el fruto ya procesado, las cajas pequeñas se acomodan en tarimas y estas son paletizadas para un mejor manejo durante el transporte. En algunos casos, se ocupa el flejado de cajas para agrupar y estibarlas en tarimas.



Figura 1.20: Preparación para distribución de limón (fotografía). Recuperado de <http://184.107.190.194/~sicar/index.php/es/proceso>

1.3.5 Herramientas de corte utilizadas actualmente en la cosecha

Las actividades comprendidas en la cosecha han requerido el empleo de herramientas para facilitar la operación de cortar los frutos del árbol. En particular, las herramientas utilizadas actualmente tienen en común que son de accionamiento manual, esto favorece el manejo de las mismas y su adquisición al tener costos de adquisición contenidos. En la investigación del presente trabajo, se encontraron las siguientes herramientas utilizadas específicamente para la cosecha de limón.

Tijera para cítricos marca Manzana Nules modelo M01AM



Figura 1.21: Manzana N. (2016) Tijera Manzana Nules modelo M01AM (fotografía). Recuperado de <http://www.manzana-nules.com/productos.php>

Su diseño incorpora un gancho de sujeción en el mango para estabilizar la tijerilla con la mano. Sus cuchillas son de acero inoxidable, cuenta además con un resorte de compresión entre los mangos para ahorrar esfuerzo del trabajador al abrir la pinza, sino que ésta se abra apenas se deje de aplicar fuerza en los mangos.

Alicate para cítricos marca Manzana Nules modelo M96AM



Figura 1.22: Manzana N. (2016) Tijera Manzana Nules modelo M96AM (fotografía). Recuperado de <http://www.manzana-nules.com/productos.php>

Es una herramienta orientada a preservar la integridad de los cítricos al momento de la recolección, pues sus puntas redondeadas evitan rasguños en la piel de los frutos, incorpora además una curva en el mango que hace más cómodo su manejo.

Alicate de corte de cítricos Manzana Nules modelo M95DI



Figura 1.23: Manzana N. (2016) Alicate Manzana Nules modelo M95DI (fotografía). Recuperado de <http://www.manzana-nules.com/productos.php>

Esta herramienta de cosecha incorpora en sus mangos de aluminio, un gancho de sujeción para adaptarse mejor a la mano del trabajador, su sistema de corte By-pass garantiza que la cuchilla de corte no tenga desgaste por el uso y su filo se mantenga en condiciones óptimas por más tiempo.

Recolector para limones de fabricación casera (Fruit Picker)



Figura 1.24: Recolector de fabricación casera para limones. Recuperado de www.youtube.com

Se trata de un dispositivo sencillo conformado por un bastón de madera y en uno de sus extremos incorpora un tubo de plástico con entrada para los frutos, mientras la parte superior de tubo no tiene tapa pero sí un par de alambres que retienen al fruto y permite tirar de él. Está diseñado expresamente para recolectar los frutos de las partes altas del árbol.

1.4 Análisis de oportunidades y necesidades en el proceso de recolección de limón.

Se han descrito en líneas previas las herramientas más comunes utilizadas para la cosecha de cítricos mediante la técnica corte de pedúnculo. Como común denominador se tiene que todas las presentadas son de accionamiento manual, lo que implica que el trabajador encargado de la recolección deba aplicar fuerza directamente sobre la herramienta de cosecha y estar cerca del fruto que ha de recolectarse para tener un mayor control de los movimientos a efectuarse. Durante la recolección no siempre es posible que las dos condiciones mencionadas converjan en la ejecución de la tarea debido a que algunos frutos se encuentran en las partes altas de los árboles o bien, en el interior del follaje.



Figura 1.25: Armendariz, I. (2015) recolección del fruto en parte alta del árbol mediante garrocha de fabricación casera (fotografía)

Las características intrínsecas del árbol y de la posición en la que se encuentran algunos de los frutos a recolectar implican en muchos casos que el trabajador esté expuesto a factores perjudiciales para su integridad física. La técnica de recolección más extendida es desprender los frutos “a tirón” sin usar herramienta alguna, compromete al trabajador a valerse de medios como las escaleras de doble pie, utilizar garrochas para alcanzar los frutos situados en la copa del árbol y los que se encuentren en las partes intermedias de las ramas. Otra característica intrínseca del limonero son sus espinas en las ramas, implicando otro riesgo para el trabajador de sufrir alguna lesión no sólo en sus manos, sino en las partes del cuerpo que tengan contacto con las ramas al pretender el trabajador mantenerse lo más próximo posible del fruto a fin de tener mayor control de sus movimientos para evitar dañar el fruto, ya sea desprendiendo totalmente el pedúnculo, dejando caer al suelo los frutos, o bien desgarrando la piel del limón al momento de desprenderlo del árbol.

Nota final sobre capítulo 1

En 2012 México se posicionó como el 5to productor de cítricos en el mundo, esto da cuenta del gran potencial de aprovechamiento al tratarse de cultivos perennes y con una vida económicamente útil de 2 a 30 años. Unas condiciones adecuadas a lo largo del proceso de producción que garanticen la preservación de los frutos cosechados previene la aparición de mermas en la producción como se refleja en la tabla 1.3 para los cultivos cítricos, situación expresa por Mazzuz (1996) quien declara en su publicación que puede perderse desde un 25% y hasta un 80% de la producción por el mal manejo en fases posteriores a la cosecha, esta última es considerada por la autora como la etapa más crítica en el proceso de producción de cítricos, lo cual motiva a que en el capítulo 2 del presente trabajo, a analizar la manera de generar dichas condiciones con la finalidad de interpretar los requerimientos que se esperan de un dispositivo de recolección y estos a su vez, ser transformados en requerimientos técnicos orientados a la generación de una propuesta de diseño eficiente para las necesidades que sean detectadas.

Considerando las herramientas de cosecha analizadas, estas cumplen su función primaria y además atienden por lo regular otro factor involucrado en la manipulación del fruto, hecho que ha demostrado la entrega de resultados satisfactorios. No obstante, siguen existiendo otros factores implícitos en la cosecha sin ser tomados en cuenta, en aras de una recolección más eficiente que involucre aspectos como la comodidad del uso de la herramienta de cosecha combinado con la ergonomía en general de la tarea, la reducción de movimientos entre el corte de un fruto y otro sin importar la altura, la integridad del fruto procurando en lo posible que no se impacte contra el suelo tras el desprendimiento con la consecuente generación de mermas. Es por tanto importante considerar la necesidad del desarrollo de un diseño que cubra la mayor cantidad de factores posible presentes en la ejecución de la cosecha de limón, pues como Mazzuz (1996) señala, es de vital importancia atender el manejo de los frutos desde el momento de la recolección con el objetivo de preservar la calidad de estos a lo largo del proceso de producción.

Capítulo 2: Propuesta de diseño conceptual del prototipo para recolección de limón

2.1 Justificación del desarrollo del prototipo de un recolector de limón.

En el mundo, se reconoce a la globalización económica como una de las tendencias de interdependencia comercial entre países a ritmo creciente, al desarrollarse en éstas actividades contempladas en el marco económico mundial. Como parte de dicha tendencia, incrementa la cantidad de recursos destinados a la importación de productos terminados y materias primas para procesar, así también se ha incrementado el porcentaje de la producción destinada a la exportación. En ese contexto, las actividades productivas a llevar a cabo por las organizaciones deben obedecer a ser simples, ejecutarse en los menores niveles de costo y tiempo posibles a la par que se conserve o incremente la calidad de los productos con las características inherentes requeridas por el cliente. Acorde con lo anterior, el desarrollo de herramientas impulsoras de productividad tiene un alto impacto positivo dentro del marco de la globalización, siendo esta tarea señalada por González (2001), como el soporte de uno de los principales objetivos de los fabricantes: “crear mejores productos que la competencia”. Por ello, en el presente proyecto se propone el diseño de una herramienta de recolección de limón como una solución multipropósito orientada principalmente a reducir la cantidad de merma, considerando esperar que la herramienta sea uno de los medios para consolidar un equilibrio entre el esfuerzo invertido por producir y los beneficios previstos para la generación de ingresos mediante la producción de limón, además de incidir positivamente en la relación valor-precio con el efecto colateral de la permanencia en el mercado.

2.2 Comparativo de herramientas utilizadas actualmente

La cosecha de limón está auxiliada de instrumentos diseñados para este fin, persiguen ser herramientas útiles para optimizar la operación de recolección teniendo como premisas el fácil manejo, durabilidad, comodidad de uso y la preservación de la calidad del fruto cosechado. En el mercado, se encuentran diversas herramientas afines a la recolección que son accionadas de forma manual.

Tijera para cítricos marca Manzana Nules modelo M01AM



Figura 2.1: (2015) tijera para cítricos Manzana Nules modelo M01AM (fotografía). Recuperada de www.manzana-nules.com

Su diseño incorpora un gancho de sujeción en el mango que permite estabilizar la tijerilla con la mano. Sus cuchillas son de acero inoxidable y cuenta con un resorte de compresión entre los mangos para apertura sin esfuerzo.

Ventajas: Diseño ergonómico, materiales durables

Desventajas: La punta de las cuchillas no es redondeada y puede causar rasguños en la piel de los frutos

Precio: 11.4 euros

Alicate para cítricos marca Manzana Nules modelo M96AM



Figura 2.2: (2015) tijera para cítricos modelo M-96-AM (fotografía). Recuperado de www.manzana-nulez.com

Es una herramienta orientada a preservar la integridad de los cítricos al momento de la recolección, pues sus puntas redondeadas evitan rasguños en la piel de los frutos, incorpora además una curva en el mango para hacer más cómodo su manejo.

Ventajas: Cuchillas de acero al carbono con curvatura en la punta y sistema de corte by-pass

Desventajas: no tiene gancho de sujeción para adaptarse mejor a la mano.

Precio: 30 euros

Alicate para corte de cítricos Manzana Nules modelo M95DI



Figura 2.3: (2015) alicate para corte de cítricos Manzana Nules modelo M95DI (fotografía). Recuperado de www.manzana-nules.com

Esta herramienta de cosecha incorpora en sus mangos de aluminio, un gancho de sujeción para adaptarse mejor a la mano del trabajador, su sistema de corte By-pass garantiza que la cuchilla de corte se mantenga en condiciones óptimas por más tiempo.

Ventajas: Sistema de corte By-pass, gancho de sujeción, cuchillas de acero al carbono

Desventajas: precio

Precio: 33 Euros

Recolector para limones de fabricación casera (Fruit Picker)



Figura 2.4: (2013) recolector de frutos de fabricación casera (fotografía). Recuperado de www.youtube.com

Modo de interacción herramienta-usuario

Se trata de un dispositivo sencillo que incorpora en su diseño un bastón de madera, en uno de sus extremos cuenta con un tubo de plástico con entrada para los frutos, mientras la parte superior de tubo no tiene tapa pero sí un par de alambres que retienen al fruto y permite tirar de este. Está diseñado específicamente para recolectar los frutos de las partes altas del árbol.

Ventajas: facilidad de uso, diseño simple, materiales ligeros y disponibles en prácticamente cualquier parte.

Desventajas: el alcance de los frutos está limitado dado que la extensión es fija, el mecanismo para desprender los frutos del árbol está basado en el principio de la técnica “a tirón”, por lo que los frutos pueden sufrir desprendimientos de la piel o quedar con los pedúnculos largos.



Figura 2.5: detalle de recolector de frutos (fotografía) Recuperado de www.youtube.com

La no conveniencia de este dispositivo es que al jalar, se desprende el pedúnculo o se arranca buena parte de este, lo que implica que en la fase de transporte y almacenamiento, estos tallos dañan a los otros limones adyacentes, provocando podredumbres y consecuentemente, una baja productividad en la cosecha. Por otro lado, también implica llevar a cabo retrabajos para remover los tallos, con la consecuente inversión adicional de tiempo y esfuerzo.



Figura 2.6: Frutos recolectados con el dispositivo (fotografía). Recuperado de www.youtube.com

2.3 Descripción del problema y necesidades del cliente.

En el acápite precedente, están plasmados como antecedentes el entorno en el que México lleva a cabo la producción de limón, cifras del volumen de producción, la cantidad destinada para la exportación y las prácticas vigentes para llevar a cabo la cosecha. Se hizo mención también que la etapa más crítica del proceso de producción de limón es la recolección, en la cual existen algunos puntos importantes a atender, por lo tanto es preciso hacer énfasis en acciones concretas orientadas a obtener mejores resultados.

De todo lo anterior, destacan en importancia las siguientes particularidades presentes en la etapa de cosecha que producen desviaciones en la calidad de los frutos:

1. Los frutos situados en las partes altas e internas del árbol de limón llegan a ser poco accesibles.
2. El mal corte y desprendimiento de los frutos produce pérdidas en la cosecha.
3. Existe el riesgo de caer para los trabajadores cuando efectúan la recolección de frutos en las partes elevadas del árbol al utilizar escaleras de doble pie.
4. La cosecha llevada a cabo por “corte con alicate” implica movimientos repetitivos que deterioran la salud de los trabajadores.
5. La cosecha “a tirón” acelera la operación de recolección, pero generalmente daña los frutos, generando mermas importantes.
6. El fruto corre el riesgo de ser aplastado cuando tras desprenderlo, se deposita en un saco que lleva colgado el trabajador durante la recolección.
7. Factores como la humedad y el frío extremo contribuyen a la generación de mermas en la cosecha, incluso desde antes del momento de la recolección, debido a que la corteza de los frutos pierde resistencia mecánica.

Las particularidades *ut supra* son distintas entre sí y por lo tanto su análisis será más sencillo si se les agrupa de manera genérica de modo que guarden relación directa. El siguiente diagrama de afinidad agrupa y facilita el estudio de todos los factores involucrados:

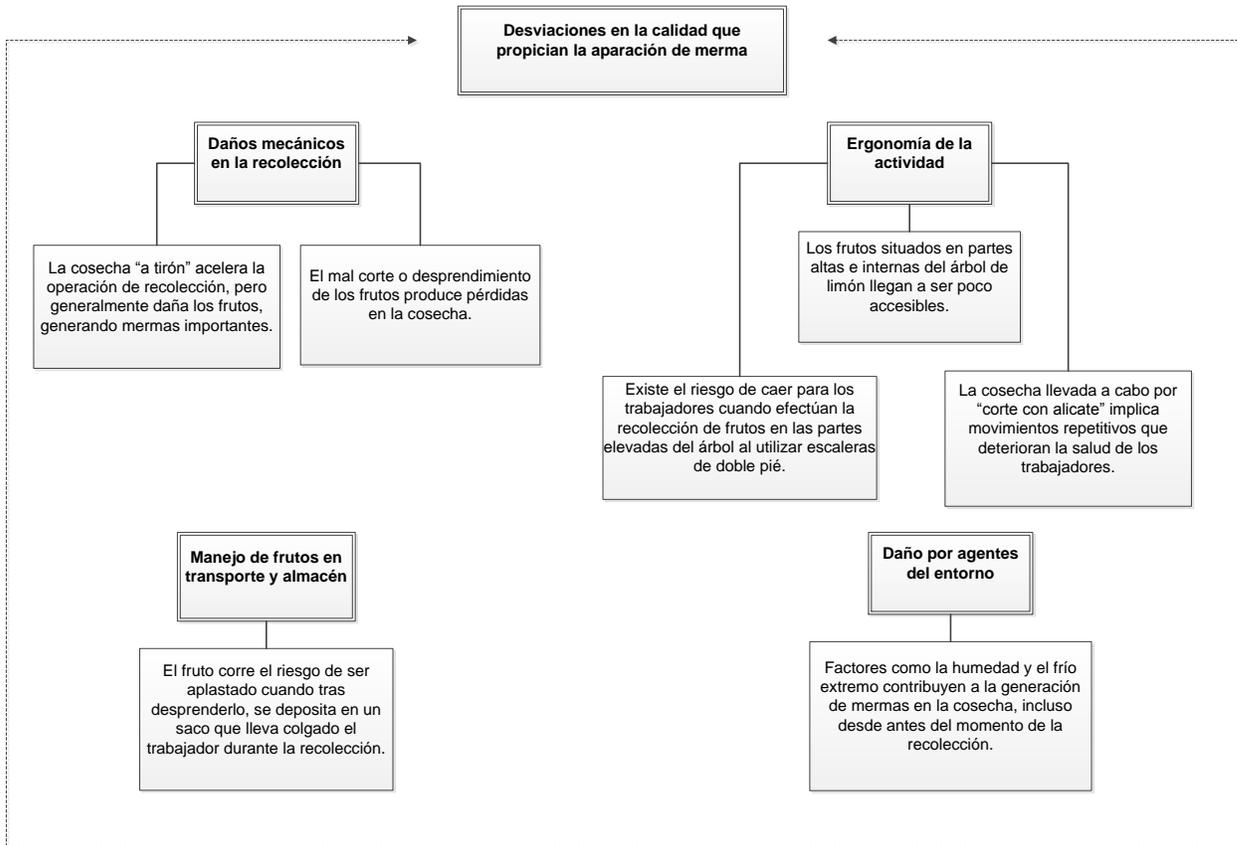


Figura 2.7: Diagrama de afinidad sobre particularidades presentes durante la recolección (Diagrama)

Resulta por tanto, indispensable el planteamiento de una solución orientada a cubrir la mayor cantidad de necesidades presentes en la recolección. Habiendo cubierto como primer paso a la propuesta de solución, la recopilación de información necesaria para poder comprender las necesidades presentes, es preciso hacer un análisis de dicha información y señalar al problema de la aparición de mermas en la etapa de recolección como un problema de calidad que tras conocer el proceso se entiende como el efecto de una o más causas convergentes. En ese respecto, resulta útil el uso de la herramienta conocida como diagrama de causa-efecto o diagrama de Ishikawa que indica gráficamente cuáles factores causales intervienen en una característica de calidad que satisfaga los requerimientos del cliente. Se muestran a continuación vertidas en un diagrama las causas del problema de aparición de merma en la cosecha.

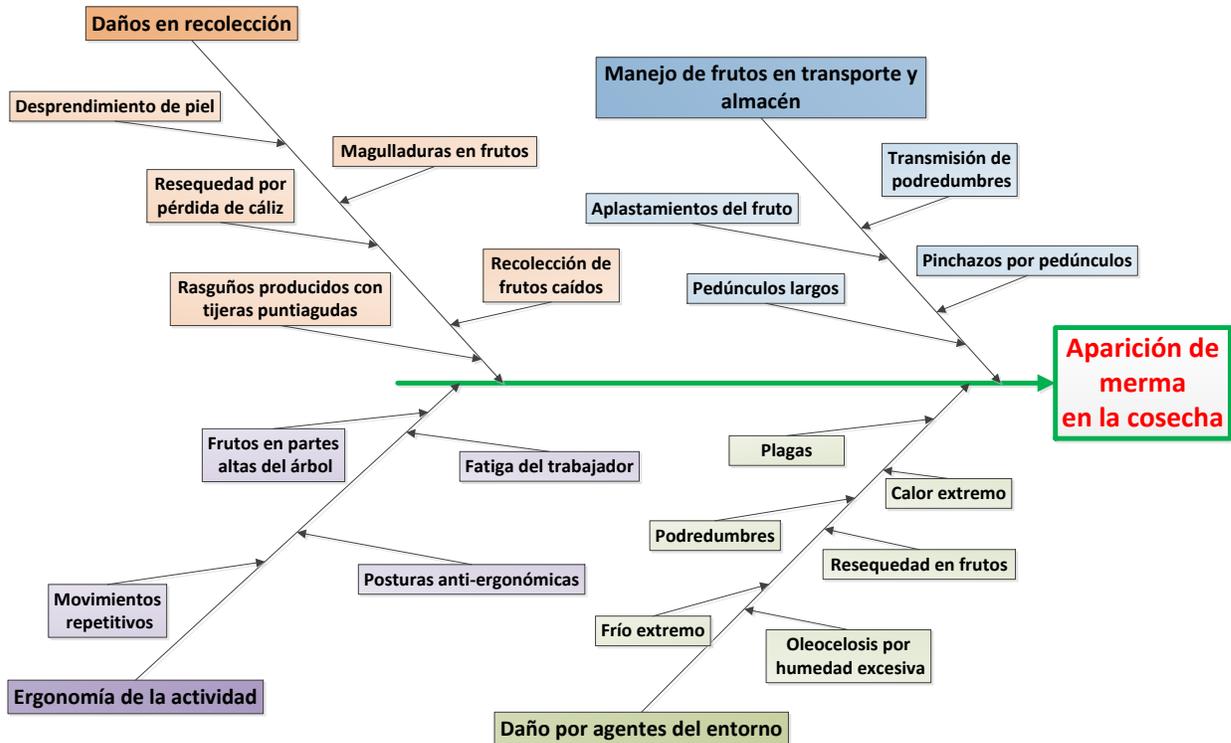


Figura 2.8: Diagrama Ishikawa orientado al problema de la merma en la cosecha (Diagrama)

2.4 Análisis de requerimientos del cliente

El desarrollo del prototipo planteado, de suyo pretende ser una solución a los problemas correspondientes a la etapa más crítica del proceso de producción de limón, lo que implica que los elementos *ut supra* sean considerados como requerimientos del cliente (en este caso los productores) para el diseño del prototipo. Para el diseñador, los requerimientos del cliente son la materia prima para comenzar a trabajar sobre un diseño conceptual, hacia tal efecto es válido echar mano de las herramientas disponibles en la literatura para relacionarlas con la necesidad presente y dar una interpretación adecuada. Compatible con esta necesidad, el método de gestión de calidad conocido como QFD (*Quality Function Deployment*) resulta ser una herramienta capaz de expresar las relaciones entre la voz (requerimientos) del cliente o consumidor con la voz del ingeniero o diseñador a cargo para el desarrollo de un producto, de tal suerte que esta herramienta es una base para la planificación de los productos, quedando representado por el diagrama conocido como La Casa de la Calidad, misma que es un nexo entre herramientas de calidad y herramientas de ingeniería en la que se presentan dichas relaciones en forma matricial (Gonzalez Espinoza, 2001).

2.4.1 Casa de la Calidad

El proceso de producción de limón como toda secuencia de actividades enfocadas a entregar un resultado, requiere de control. En palabras de Burt K. Scanlan, el control tiene como objeto cerciorarse que los hechos vayan de acuerdo con los planes establecidos (Carreto, 2008). Por ello, el bien ser del control depende de la consideración de 4 factores, a saber: la calidad, la cantidad, el tiempo y el costo. La recolección del limón como parte del proceso entero de producción, pasa a ser un subproceso y como tal, se adoptan las mismas medidas necesarias para el proceso entero en la medida adecuada. Tal subproceso es susceptible de ser medido y por supuesto, de ser mejorable. Teniendo en cuenta lo anterior, la metodología Seis Sigma se ofrece como una solución centrada en la reducción de la variabilidad en los procesos, consiguiendo reducir e incluso eliminar los fallos o defectos causantes de tales desviaciones, entendiendo como defectos, todo aquello fuera de los límites de unas especificaciones determinadas o bien, lo que no satisfaga al cliente.

Específicamente orientada a la necesidad del presente proyecto, se encuentra la Casa de la Calidad, una herramienta parte del Despliegue de Función de la Calidad (*QFD, Quality Function Deployment*) siendo esta una herramienta clave en el diseño para Seis Sigma. En su naturaleza dicha herramienta es capaz de traducir las necesidades presentes (para este caso) en la recolección de limón, en requerimientos de diseño para proporcionar una solución que habrá de asegurar las características requeridas de los frutos mediante la implementación de funciones de calidad para aportarle valor al diseño. Lo antes dicho es fundamental para llevar el proceso de diseño en la dirección correcta a fin de, por un lado, mitigar el problema de generación de mermas por mal manejo, y por otro, satisfacer los requerimientos de los clientes de productores, concurriendo en este apartado consumidores finales de frutos frescos o entidades transformadoras del sector secundario de la economía.

Concretamente para este caso, se toman en cuenta las particularidades que originan desviaciones de calidad mencionadas en el diagrama de Ishikawa con las que se hace una interpretación para abstraer las necesidades. Señala González (2001) que, “las operaciones de manufactura sirven como traductores de los requerimientos del cliente”, por lo que es preciso analizar qué se requiere hacer dentro de la etapa de recolección de limón y las etapas adyacentes del proceso que tengan relevancia para satisfacer dichas necesidades de manera puntual. En detalle se muestra a continuación para cada rama del diagrama de Ishikawa, la transformación de las necesidades del cliente en requerimientos de diseño, a su vez se emiten unas calidades exigidas que son consideradas como convenientes para el buen desempeño de un instrumento de recolección.

Tabla 2.1: Transformación de factores que desvían la calidad de los frutos en calidades exigidas		“Manejo de frutos en transporte y almacén”
Para	Se requiere	Calidades exigidas involucradas
Evitar aplastamientos del fruto y la transmisión de podredumbres	Prescindir del uso de sacos atados al cuerpo cuando se trabaja en alturas; evitar dejar pedúnculos largos, recoger frutos caídos y rasguñar la piel.	Preservación del fruto
Evitar pedúnculos largos para prevenir que estos dejen pinchazos en otros frutos	Cortar el pedúnculo sin dejarlo excesivamente largo en lugar de jalar los frutos	Precisión en el corte

Tabla 2.2: Transformación de factores que desvían la calidad de los frutos en calidades exigidas		“Daños por agentes del entorno”
Para	Se requiere	Calidades exigidas involucradas
Evitar dañar los frutos en climas extremos, además de poder prevenir la resequeidad de estos	Prescindir de la técnica “a tirón” y pasar a “corte de pedúnculo”, evitando desprendimientos de piel y cáliz.	Precisión en el corte
Evitar daño causado por plagas	Cosechar el fruto cuando empiece a madurar, establecer controles biológicos adecuados	Preservación del fruto Rapidez en la recolección
Evitar la aparición de podredumbres y oleocelosis por humedad del ambiente	Manejar el fruto sin dejar que caiga al suelo y sin presionarlo de forma excesiva en climas extremos para no desprender la piel	Preservación del fruto Precisión en el corte

Tabla 2.3: Transformación de factores que desvían la calidad de los frutos en calidades exigidas		“Ergonomía de la actividad”
Para	Se requiere	Calidades exigidas involucradas
Disminuir movimientos repetitivos	Efectuar pausas en los movimientos, cambiar la manera en que se efectúa la tarea	Comodidad de uso
Recolectar fácilmente frutos en partes altas del árbol	Hacer posible la recolección en partes altas del árbol	Facilidad de uso Rapidez en la recolección Corte de frutos en alturas
Evitar posturas anti-ergonómicas, reducir la fatiga del trabajador	Cambiar los movimientos anti-ergonómicos por movimientos que reduzcan la fatiga, Aumento en la frecuencia y en lo posible de la duración de los descansos	Comodidad de uso Tamaño compacto Peso reducido

Tabla 2.4: Transformación de factores que desvían la calidad de los frutos en calidades exigidas		“Daños en recolección”
Para	Se requiere	Calidades exigidas involucradas
Evitar el desprendimiento de piel, la resequead por pérdida de cáliz y rasguños producidos con tijeras puntiagudas	Usar la técnica de corte en lugar de jalar el fruto, con herramientas que no sean puntiagudas.	Precisión en el corte Preservación del fruto
Evitar magulladuras en los frutos por presión excesiva y por impactos contra el suelo	No presionar demasiado el fruto y evitar su caída al suelo después del corte	Preservación del fruto

En la tarea de diseño, las necesidades del cliente son prioridad al momento de traducirlas a los requerimientos de diseño. No obstante, en ocasiones el usuario primario (quien tiene contacto directo con el producto) no tiene en su perspectiva algunos factores, pues en su interacción con el producto es difícil que se enfrente a otras situaciones diferentes a la explotación de la función primaria. La siguiente tabla muestra unos factores adicionales que el usuario primario no considera al momento de utilizar el producto.

Tabla 2.5: Transformación de factores que desvían la calidad de los frutos en calidades exigidas		“Conveniencia de fabricación y mantenimiento”
Para	Se requiere	Calidades exigidas involucradas
Obtener una herramienta de cosecha de alta disponibilidad	Que las partes tengan una adecuada resistencia al desgaste de acuerdo al tipo de esfuerzos a los que se someterán	Durabilidad
Conservar el funcionamiento de la herramienta de cosecha a lo largo del tiempo	Que los mecanismos sean de funcionamiento simple y sin demandar el uso de herramientas muy especializadas	Mantenimiento
Abaratar la adquisición del dispositivo	Contener los costos de fabricación con materiales fáciles de adquirir. El diseño, manufactura y ensamble no deben ser muy complejos	Precio del dispositivo

Se consultó a un trabajador involucrado en el proceso de producción de cítricos originario de Martínez de la Torre, Veracruz, municipio caracterizado por sus numerosos cultivos de cítricos; con el objeto de obtener información de primera mano sobre las expectativas y opiniones de los dispositivos para cosecha actualmente presentes en el mercado. El trabajador con base en su experiencia de 7 años, señaló mediante una escala qué tan exigido es cada uno de los requerimientos de consumidor para las herramientas de cosecha, a fin de determinar los niveles de importancia de cada uno. Asimismo, se ha ponderado dicha información para hacer más objetivo el estudio con términos cuantitativos. El siguiente diagrama de matriz L resume dicha opinión reflejando de manera ponderada el grado en el que cada una de las alternativas satisface tales requerimientos.

Tabla 2.6: Diagrama de matriz L para niveles de importancia de demandas del cliente.

Voz del cliente	Simbología					Nivel de importancia
						
Precisión en el corte		1				4
Durabilidad	1					5
Comodidad de uso		1				4
Facilidad de uso			1			3
Preservación del fruto	1					5
Tamaño compacto			1			3
Corte de frutos en alturas			1			3
Peso reducido	1					5
Rapidez en la recolección		1				4
Mantenimiento				1		2
Precio del dispositivo		1				4

Simbología diagrama de matriz L

Fuertemente requerido (5)	
Requerido regularmente (4)	
Recomendado (3)	
Indiferente (2)	
No requerido (1)	

Líneas arriba se hizo mención sobre los factores de control en un proceso de producción debido a que es importante emplear diversos enfoques de investigación y compilación de información (Gonzalez Espinoza, 2001). Respecto al factor calidad según la norma ISO 9001 se dice que es el “grado en el que un conjunto de características cumple con los requisitos” (International Organization for Standardization, 2008); la cantidad se aplica a elementos en que la cuantificación es importante; con el tiempo se controlan las actividades que pasan de un estado a otro y con el costo se gestiona la eficiencia administrativa, ya que permite determinar las erogaciones de las actividades involucradas. De las calidades exigidas arriba presentadas, es posible clasificarlas dentro de los factores de control como sigue:

Tabla 2.7: Calidades exigidas de acuerdo a factores de control y nivel de importancia	
Factor de control	Calidad exigida (qué)
Calidad	Precisión en el corte
	Durabilidad
	Comodidad de uso
	Facilidad de uso
	Preservación del fruto
Cantidad	Tamaño compacto
	Corte de frutos en alturas
	Peso reducido
Tiempo	Rapidez en la recolección
Costo	Mantenimiento
	Precio del dispositivo

Autores importantes de la calidad han fundamentado los principios bajo los cuales funciona QFD. En palabras del Dr. A. V. Feigenbaum (1922-2014), define los sistemas de calidad como sistemas administrativos y procedimientos técnicos requeridos para producir y entregar un producto de estándares de calidad especificados; mientras que el Dr. J.M. Juran (1904-2008) en su enfoque de calidad total, asegura que las funciones de calidad son aquellas que forman la calidad. De lo anterior se dice que los sistemas de calidad son un arreglo lógico o secuencias de funciones de calidad. Puede entonces definirse de manera general a la metodología QFD, como “el despliegue de calidad a través de las funciones de calidad” (Akao, 1990). Expuesto lo anterior, es posible desplegar cada una de las calidades exigidas como el efecto de uno o más factores que toman el lugar de requerimientos técnicos o también llamados características de control.

Tabla 2.8: Despliegue de funciones de calidad	
Calidad Exigida	Despliegue de función de calidad
Precisión en el corte	<pre> graph TD A[Geometría de la cuchilla] --> C[Precisión en el corte] B[Resistencia al desgaste del filo] --> C </pre>
Durabilidad	<pre> graph TD A[Resistencia al desgaste del filo] --> B[Durabilidad] </pre>
Comodidad de uso	<pre> graph TD A[Diseño ergonómico] --> B[Comodidad de uso] </pre>
Facilidad de uso	<pre> graph TD A[Complejidad del dispositivo] --> B[Facilidad de uso] </pre>
Preservación del fruto	<pre> graph TD A[Inocuidad del dispositivo] --> C[Preservación del fruto] B[Ajuste de altura del dispositivo] --> C </pre>
Tamaño compacto	<pre> graph TD A[Complejidad del dispositivo] --> C[Tamaño compacto] B[Ajuste de altura del dispositivo] --> C </pre>
Corte de frutos en alturas	<pre> graph TD A[Ajuste de altura del dispositivo] --> C[Corte de frutos En alturas] B[Alcance de corte] --> C </pre>
Peso reducido	<pre> graph TD A[Construcción ligera Del dispositivo] --> B[Peso reducido] </pre>
Rapidez en la recolección	<pre> graph TD A[Corte de frutos en alturas] --> C[Rapidez en la recolección] B[Reducción de movimientos al operar] --> C </pre>
Mantenimiento	<pre> graph TD A[Complejidad del dispositivo] --> C[Mantenimiento] B[Resistencia al desgaste del filo] --> C </pre>
Precio del dispositivo	<pre> graph TD A[Costo de materiales y manufactura] --> B[Precio del dispositivo] </pre>

En el contexto de la calidad, se dice que todo cuanto es medible es mejorable, por tal razón, la metodología QFD considera en su alcance posibilitar los requerimientos del cliente (qué) con requerimientos técnicos (cómo) que son determinadas tras conocer el proceso de producción, y a su vez, asignarles una dimensión (cuánto). En seguida, se muestran en una tabla los requerimientos técnicos asociados a sus respectivas medidas cuantitativas

Tabla 2.9: Requerimientos técnicos y sus medidas cuantitativas	
Requerimientos técnicos (Cómo)	Medidas cuantitativas (Cuánto)
Inocuidad del dispositivo	Mala (M), Buena (B), Excelente (E)
Alcance de corte	Malo (M), Regular (R), Excelente (E)
Resistencia al desgaste del filo	Baja (B), Regular (R), Alta (A)
Ajuste de altura del dispositivo	Imposible (Im), posible (P)
Diseño ergonómico	Anti-ergonómico (Ae), Ergonómico (E)
Costo de materiales y manufactura	Pesos mexicanos
Reducción de movimientos al operar	Mala (M), Regular (R), Excelente (E)
Complejidad del dispositivo	Complejo (C), Simple (S), Muy simple (Ms)
Construcción ligera del dispositivo	Pesado (P), Regular (R), ligero (L)
Geometría de la cuchilla	Mala (M), Regular (R), Excelente (E)

La manera en que la casa de la calidad determina la correlación de la voz del cliente con la voz del diseñador o ingeniero es mediante una matriz donde se encuentran verdaderas las calidades exigidas del cliente. Se efectúa la relación entre sí de manera gráfica en la matriz con la forma del techo de una casa, tanto de calidades exigidas (qué) como de sus requerimientos técnicos asociados (cómo), pues González y Eckelman (1997) hacen énfasis en que la calidad de los productos, a pesar de depender de muchas variables puede ser controlada si se tienen claros los principales factores que intervienen en su determinación. Dicho de otra manera, se optimizan recursos al mejorar una variable de la que dependan otras haciendo uso del mismo esfuerzo.

La correlación cruzada entre los “qué” (parte lateral izquierda) y los “cómo” (parte superior), “sirve para depurar la información a fin de encontrar las relaciones que tienen que ver directamente con las expectativas del consumidor y los requerimientos del proceso que se están estudiando.” (Gonzalez Espinoza, 2001). Asimismo, dicha matriz se introdujo como concepto por Kiochi Nishimura y en palabras del profesor Koichi Aiba, como el diagrama básico para el diseño de calidad, pues al ser un instrumento de análisis para la conversión de requerimientos del cliente a la contraparte, se desarrolla un diseño que cumpla con los requisitos. (Akao, 1990)

La comparación de los dispositivos para cosecha que se están considerando se ha efectuado mediante la evaluación del desempeño esperado dentro del proceso para cada uno y asignándoles un valor de acuerdo a la escala que se ha determinado, es decir, se efectuó un *benchmarking* (parte lateral derecha). Tal actividad se encuentra representada en la casa de la calidad, permitiendo al diseñador generar un elemento útil para la toma de decisiones en pos de orientar el diseño a una mejor satisfacción del cliente. Para este caso se efectúa una evaluación competitiva por parte del trabajador entrevistado, desarrollada a partir de las calidades exigidas, considerando una escala de 1 a 5 (donde 1 refleja desempeño pobre y 5 desempeño muy satisfactorio) para las 3 alternativas más competentes, a fin de conocer las capacidades de cada una con el objeto de llevar a cabo acciones en pos de generar un producto que supere a los que ya existen. Adicionalmente, se pidió al entrevistado que señalara de entre las demandas del cliente establecidas, cuáles son las calidades exigidas más indispensables que debe tener un dispositivo de cosecha; estos se encuentran señalados en la siguiente tabla como puntos de venta.

Tabla 2.10: Valoración del consumidor por alternativa estudiada

Voz del cliente (calidades exigidas)	Puntuación por alternativa			Punto de venta
	Fruit Picker 	M96DI 	M01AM 	
Comodidad de uso	3	5	4	*
Facilidad de uso	5	5	4	
Preservación del fruto	3	3	2	*
Precisión en el corte	1	4	4	
Rapidez en la recolección	5	3	3	*
Peso reducido	4	5	5	*
Tamaño compacto	2	4	4	
Corte de frutos en alturas	2	3	3	
Precio del dispositivo	5	2	3	*
Durabilidad	3	5	5	*
Mantenimiento	5	5	5	*
Σ=	38	44	42	

Mediante una escala de impacto, se determina la importancia entre los requerimientos técnicos al compararlos uno a uno entre sí. Se muestra en seguida la escala de impacto en la que se asigna un “1” si el requerimiento es superior en importancia con el comparado, y “0” si no lo es. A la postre se suman los puntos obtenidos y se determina el porcentaje relativo de importancia.

Tabla 2.11: Escala de impacto de requerimientos técnicos para matriz QFD

Requerimientos Técnicos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL	% relativo
Inocuidad del dispositivo	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	7	15.91
Alcance de corte	2	0	1	0	1	1	0	0	0	1	4	9.09
Resistencia al desgaste del filo	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	4.55
Ajuste de altura del dispositivo	4	0	1	0	0	0	1	1	1	0	4	9.09
Diseño ergonómico	5	1	0	1	1	0	1	1	1	1	8	18.18
Costo de mat. y manufactura	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2.27
Reducción de mov. al operar	7	0	1	1	0	0	1	0	1	1	6	13.64
Complejidad del dispositivo	8	1	1	1	0	0	1	0	0	0	4	9.09
Constr. ligera del dispositivo	9	0	1	1	0	0	1	0	1	0	4	9.09
Geometría de la cuchilla	10	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	9.09
Total											44	100

La cuantificación de la información brindada por el consumidor que esta relacionada con sus demandas, permiten conocer el nivel de fortalezas y debilidades de las alternativas presentes en el mercado. Tales valores deben ser tratados de manera que exista una relación entre los aspectos que se han tomado en cuenta hasta este punto. Como referencia para el tratamiento de la información, se ha considerado la alternativa con el mayor puntaje en la valoración del consumidor, es decir, el alicate Manzana Nules M96DI. Se ha fijado un valor meta para cada una de las demandas del cliente en función de la valoración del consumidor y la alternativa de referencia, situándose justo a un lado del diagrama de matriz-L en la matriz de planificación de producto (casa de la calidad).

En seguida de los valores meta, se encuentra la columna de los puntos de venta determinados en la valoración *ut supra*. De manera sucesiva se encuentra la tasa de mejoramiento, indicador que refleja el grado de mejoramiento necesario para llegar al valor meta, respecto del valor obtenido en la evaluación competitiva de la alternativa de referencia. Se usa el siguiente modelo para su cálculo

$$tasa\ de\ mejoramiento = \frac{valor\ meta}{valor\ eval.\ competitiva}$$

Como siguiente columna, se encuentra el peso de la fila, tal indicador relaciona al nivel de importancia obtenido de la matriz-L con la tasa de mejoramiento y las demandas señaladas por el consumidor como puntos de venta, mismos que en la literatura tienen un valor de 1.19 (Gonzalez Espinoza, 2001) de acuerdo al siguiente modelo:

$$Peso\ de\ la\ fila = \left(\frac{nivel\ de}{importancia} \right) \left(\frac{tasa\ de}{mejoramiento} \right) \left(\frac{punto\ de}{venta} \right)$$

Asimismo, el indicador denominado “peso de la columna” para los requerimientos técnicos del producto (cómo), permite reforzar lo expuesto por los resultados de la escala de impacto, además de analizar de manera cuantificada la relación que guarda

cada requerimiento técnico con las calidades exigidas por el consumidor que han de desplegarse mediante el siguiente modelo:

$$\text{Peso de la columna} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\begin{array}{l} \text{nivel de} \\ \text{importancia} \end{array} \times \text{peso de la relación} \right]}{10}$$

Donde para la relación alta se asigna un valor de 9, para la normal 3 y para la débil 1.

Se resume entonces la información presentada hasta este punto en la casa de la calidad, también llamado diagrama de planificación de producto. Esta herramienta resulta especialmente útil en la toma de decisiones para establecer las prioridades al momento de diseñar, pues, de manera gráfica se presenta la traducción de la voz del cliente en la voz del ingeniero, es decir, puede apreciarse qué requerimientos de diseño efectúan el despliegue de cada una de las calidades exigidas por el consumidor.

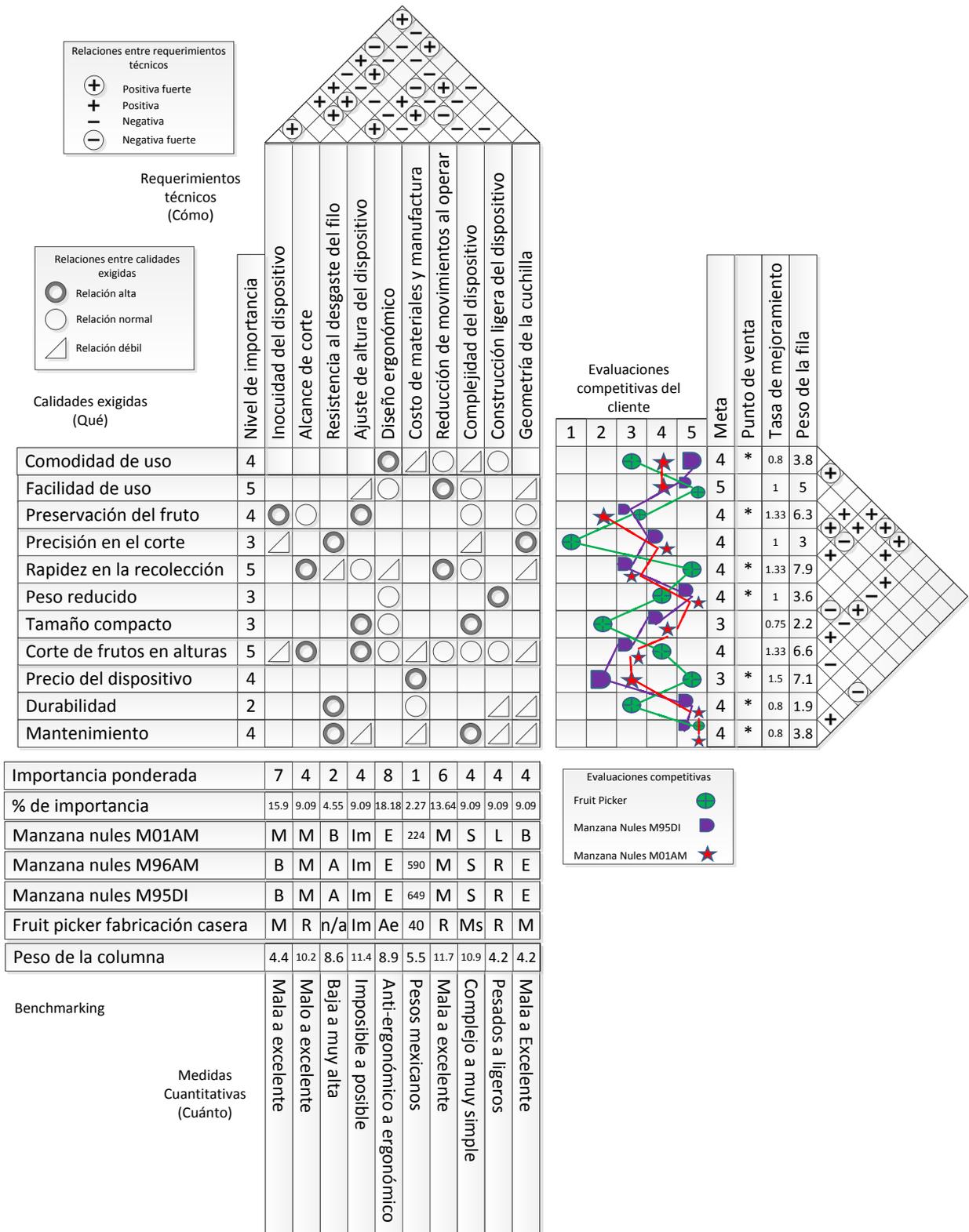


Figura 2.9: Diagrama de planificación de producto para un recolector de limón (Diagrama casa de la calidad)

Análisis de resultados de la Casa de la Calidad

Como se ha señalado líneas arriba, la Casa de la Calidad efectúa un nexo entre herramientas de calidad y herramientas de ingeniería, siendo las primeras, el medio para recopilar los elementos de entrada conformados por la información brindada por el trabajador y la disponible en la literatura, misma que fue gestionada para conformar los diagramas de afinidad e Ishikawa. Como resultado del tratamiento a la información recopilada, se determinó el nivel de importancia de las calidades exigidas en las herramientas de cosecha, su correlación con los requerimientos técnicos de las herramientas, la correlación que guardan entre sí dichos requerimientos; asimismo se determinó la importancia relativa de estos y en concordancia con las medidas cuantitativas determinadas se efectuó un *benchmarking* de herramientas presentes en el mercado para conocer el desempeño de cada una respecto a las demás.

El cúmulo de información constituido hasta este punto está orientado a la toma de decisiones orientada a agregar valor al diseño del prototipo objeto de la presente tesis. Señala González (2001), “la matriz de planeación de producto tal vez no solucione todos los problemas de diseño”, pues como salida de las correlaciones se ha determinado que existen requerimientos técnicos que encuentran dificultad para poder desplegar su función en el desempeño del producto respecto a otra u otras que son apreciables en la matriz de correlación cuya geometría invoca al techo de una casa.

Partiendo de la matriz de planeación QFD y tomando en cuenta el término japonés acuñado en favor de la mejora continua (*kaizen*) conocido como *gemba* (en el lugar de trabajo), se decidió recopilar la opinión de un trabajador que conoce el proceso de recolección. Además, en la matriz se toma en cuenta a la herramienta de cosecha con mejor valoración en la evaluación competitiva, siendo esta el alicate Manzana Nules M95DI, pues de esta manera, gracias a que se revelan las fortalezas y debilidades de las herramientas de la competencia, también se orientan los esfuerzos de diseño de un nuevo dispositivo de recolección hacia la posición más competitiva posible, procurando atestar las expectativas del consumidor.

Una vez lista la traducción de los requerimientos del consumidor en requerimientos de diseño, se procede a trabajar con estos últimos para llevar a cabo el despliegue de los primeros. Como datos de entrada, se cuentan con los pesos de columna de cada requerimiento técnico considerando a los de más alto peso, en conjunto con los porcentajes altos arrojados por la escala de impacto. Se verificará para los requerimientos prioritarios con cuales requerimientos de consumidor están relacionados así como el peso de tal relación. De las calidades exigidas relacionadas se cotejará si son o no puntos de venta, su tasa de mejoramiento, el peso de fila y los niveles de importancia resultado de la valoración efectuada por el consumidor. Se considera como un punto crítico de mejora, aquél requerimiento técnico asociado a un punto de venta y un elevado peso de fila

Como herramientas de ingeniería de diseño a utilizar, está disponible en la literatura una variedad de metodologías de diseño que se distinguen unas de otras por su orientación, ya sea para el rediseño de productos, el incremento de la funcionalidad de estos, el desarrollo de prototipos y la planeación de operaciones de manufactura, entre otros propósitos afines a la mejora de productos y desarrollo de nuevas propuestas que respondan adecuadamente a los requerimientos presentes del mercado.

Es menester para el presente proyecto hacer uso de la herramienta más adecuada en concordancia con la información obtenida mediante la aplicación de la metodología QFD, es así que la metodología que mejor se ajusta a las necesidades presentes es TRIZ. Uno de los principales recursos de TRIZ es el análisis de contradicciones, que resulta compatible con el carácter de oposición de despliegue entre requerimientos técnicos asociados a las calidades exigidas por el cliente, además se cuenta con principios de inventiva que han sido resultado de la investigación en el desarrollo de TRIZ desde 1946.

2.6 Diseño conceptual

Para el ingeniero de diseño, la necesidad de diseñar radica en que los nuevos productos deben ser de alta calidad al mismo tiempo que su costo sea reducido para que sea factible su producción. Lo anterior se debe a que hoy en día ha crecido la demanda de bienes y servicios, así como la calidad exigida por los consumidores haciendo cada vez más necesaria la innovación desde los procesos para la adición de valor, repercutiendo de manera importante en la permanencia en el mercado dentro de un ambiente competitivo.

La fase del diseño conceptual determina el principio funcional. Se establece mediante la abstracción de la esencia del problema, estableciendo estructuras funcionales buscando principios funcionales apropiados y combinando estos principios en la estructura de trabajo. (Pahl, Beitz, Feldhusen, & Grote, 2007). El desarrollo de la presente propuesta está basado en el conocimiento de las necesidades presentes en la fase de recolección de limón, la oferta de soluciones disponibles en el mercado y su posición dentro de este. Pahl señala que dicha información es útil como soporte para la fase de diseño conceptual, pues se ha identificado la esencia del problema de cosecha a partir del cual se buscan principios de solución en combinación con estructuras de función mediante la innovación sistemática utilizando recursos heurísticos de la metodología TRIZ.

2.6.1 Definición de TRIZ.

Las siglas TRIZ vienen del acrónimo *Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadach* en ruso y significa Teoría para la Resolución de Problemas de Inventiva. Ésta teoría fue desarrollada a partir del año 1946 por Genrich Altshuller en conjunto con su equipo de trabajo, teniendo como marco geográfico la antigua Unión Soviética. Altshuller generó la hipótesis de la existencia de principios universales de invención, que pueden servir de base para las innovaciones creativas y los avances tecnológicos (TRIZ, 2015). En su enfoque clásico, TRIZ se compone los siguientes elementos, conteniendo variados métodos con complejidad diversa.

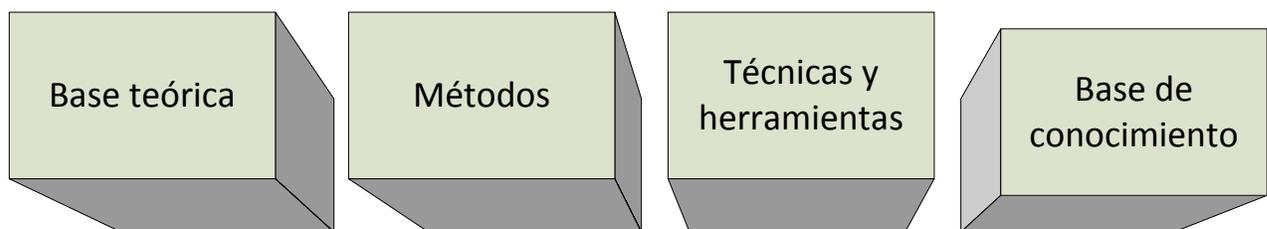


Figura 2.10: Estructura de TRIZ (esquema).

A partir de la estructura de TRIZ, pueden definirse diversas formas en las que pueden resolverse problemas de inventiva. Unificada a la necesidad del presente proyecto, se tiene el siguiente método TRIZ presentado en la tabla 2.12

Tabla 2.12: Método TRIZ a seguir para el desarrollo del prototipo		
Método	Técnicas y herramientas	Base de conocimiento
Análisis de contradicciones	Principios de eliminación de contradicciones técnicas (40 principios de inventiva y matriz de Altshuller)	Colecciones de invenciones avanzadas

El método de análisis de contradicciones permite distinguir entre las buenas ideas de diseño y las malas, pues al analizar al problema como una contradicción, se exponen dos lados del problema, no sólo el inconveniente del problema mismo, además en su estructura se incorporan las siguientes tareas:

- análisis y solución de contradicciones
- utilización de recursos disponibles

Como efecto, se incrementa la idoneidad del sistema tras eliminar las contradicciones al utilizar los recursos disponibles, incluso, aquellos recursos que permanecen aparentemente inactivos en el entorno donde tiene lugar el problema.

TRIZ es considerada una herramienta de innovación sistemática, entendiendo este hecho como la creación o modificación de un producto para su introducción al mercado, creado con base en principios probados para la resolución de problemas una vez que se conozca la zona donde estos operan. Tales principios fueron generados por Altshuller, su aplicación asegura la simplificación de procesos de producción y sus productos resultantes con la conveniencia de la reducción del tiempo de ciclo de desarrollo.

2.6.2 Fases de la metodología: Análisis de contradicciones.

(Rantanen & Domb, 2008) Proponen la siguiente metodología de 5 pasos. Se aborda cómo usar las herramientas más importantes de TRIZ en la solución de problemas. A pesar de tener un desarrollo de más de 50 años, en la industria es relativamente nuevo, no obstante se ha ido adaptando a las necesidades debido a que en su aplicación, busca la diferencia entre buenas y malas ideas, soluciones y productos.

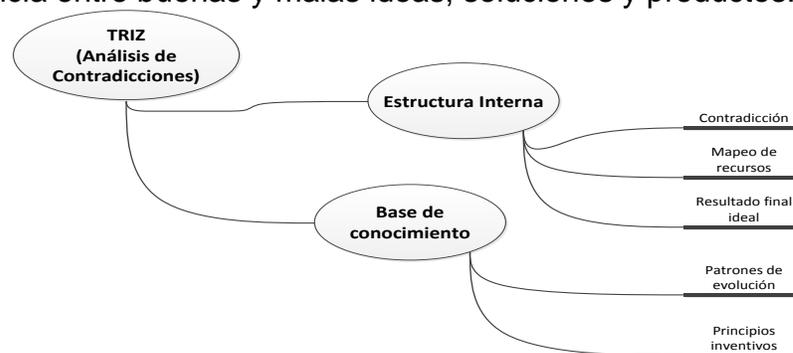


Figura 2.11: Estructura de TRIZ (esquema). Recuperado de “Simplified TRIZ: New problem solving applications for engineers and manufacturing professionals (2008)

2.6.3 Tipos de contradicciones.

Una contradicción es un conflicto en el sistema, mismo que está compuesto de una herramienta y un objeto en conflicto. De acuerdo con TRIZ, la solución de problemas inventivos se lleva a cabo de manera efectiva cuando se consiguen vencer las contradicciones, pues estas muestran donde y cuando ocurre un conflicto. Las contradicciones tienen lugar cuando se quiere conseguir mejorar un parámetro o característica, y al mismo tiempo se afecta otra característica en el sistema (Semyon, 2000).

Se han detectado 3 tipos de contradicciones en el estudio de TRIZ: Las de carácter administrativo, las de corte técnico y las contradicciones físicas. En el presente proyecto se considerarán dos tipos de contradicciones, se definen en seguida

- **Contradicciones técnicas:** una acción es simultáneamente útil y perjudicial, o causa una función útil y otra función perjudicial al mismo tiempo. Esto puede llevar al deterioro de los subsistemas o de todo el sistema en el que se encuentre. Representa en sí el conflicto entre dos subsistemas.

ocurren si al crear o potenciar una función útil, se genera una función perjudicial en el sistema; si al reducir una función perjudicial, deteriora otra función o subsistema útil; o bien, cuando se intensifica una función útil o se reduce una función perjudicial, se genera una complicación generalizada en todo el sistema.

- **Contradicciones físicas:** implica un requerimiento inconsistente a una situación física del mismo elemento del sistema.

Ocurren cuando se intensifica la función de un subsistema y al mismo tiempo se intensifica un efecto perjudicial en el mismo subsistema y cuando se reduce el efecto perjudicial de un subsistema al tiempo que se reduce su función útil.

Al elegir una contradicción en el sistema significa que hay una transición de una situación inventiva hacia la solución del problema. Usualmente la selección exitosa de una contradicción física muestra el núcleo del problema.

2.6.4 Matriz de contradicciones TRIZ e interpretación de soluciones.

La matriz de contradicciones de TRIZ fue propuesta por Altshuller siendo esta el primer instrumento de TRIZ aplicado en forma general para los sistemas técnicos que presenten algún conflicto (contradicciones). Como entrada, se hace una interpretación de los requerimientos técnicos en función de los 39 parámetros genéricos de ingeniería propuestos por Altshuller, tal interpretación debe ser adecuada en pos de garantizar la precisión de la solución que resulte del análisis, por tanto, se requiere de persistencia y disciplina (Semyon, 2000). En seguida, las contradicciones deben plantearse en un lenguaje que resulte claro y evidente de manera que permita ver cual parámetro va a mejorarse y el que va a empeorar. Ambos parámetros de ingeniería se buscan en la matriz de contradicciones quedando en las columnas el parámetro que se mejora en tanto que el parámetro que empeora queda en las filas. En la celda de intersección resultante se encuentran hasta 4 números de los 39 principios inventivos de Altshuller que habrán de aplicarse al problema en tratamiento, los cuales al ser genéricos, deben interpretarse de acuerdo al contexto del problema. Dichos principios inventivos son dependientes entre sí, pues existen principios duales que se invierten, además de otros que son complementarios en tiempo y espacio. De acuerdo con los expertos en TRIZ, para que un nuevo principio pueda aparecer como solución en la matriz de Altshuller, este debe aparecer en varias patentes de diversos campos de la ingeniería, debiendo ser las patentes de alto nivel sin existir un consenso de cuántas deban ser, sin embargo se considera que estar presente en al menos 10 y máximo en 500 patentes. Kalevi Rantanen y Ellen Domb en su modelo de resolución de problemas inventivos, señalan que también es posible aplicar las herramientas de TRIZ de manera directa para llegar a un resultado final ideal, hecho que implica conocer dichas herramientas, además de estar al tanto del problema para su correcta implementación (Rantanen & Domb, 2008)

Característica que empeora	Peso de objeto. en movimiento	Peso de objeto. estacionario	Long. De objeto en movimiento	Long. De objeto estacionario	Área de objeto en movimiento	Área de objeto estacionario	Volumen de objeto en movimiento
Característica que mejora							
Peso de objeto. en movimiento	PhC		15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28
Peso de objeto. estacionario		PhC		10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2	
Long. De objeto en movimiento	15, 8, 29, 34		PhC		15, 17, 4		7, 17, 4, 35
Long. De objeto estacionario		38, 28, 40, 29		PhC			
Área de objeto en movimiento	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4		PhC		7, 17, 10, 40
Área de objeto estacionario		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39		PhC	
Volumen de objeto en movimiento	2, 26, 29, 40		1, 7, 35, 4		1, 7, 4, 17		PhC

Figura 2.12: Altshuller, G. Fragmento de matriz de Altshuller. Recuperada de *Engineering of Creativity, introduction to TRIZ methodology* (2000). Nota: PhC – Contradicción física.

**Tabla 2.13:
Interpretación de los requerimientos técnicos dentro de los parámetros genéricos de ingeniería de Altshuller**

Requerimiento técnico	Parámetro de ingeniería según TRIZ	Número de parámetro de ingeniería
1.- Inocuidad del dispositivo	Confiabilidad	27
2.- Alcance de corte	Longitud de obj. en mov.	3
3.- Resistencia al desgaste del filo	Consumo de sustancia	23
4.- Ajuste de altura del dispositivo	Adaptabilidad	35
5.- Diseño ergonómico	Efectos secundarios perjudiciales	31
6.- Costo de materiales y manufactura	Consumo de sustancia	23
7.- Reducción de movimientos al operar	Reducción de tiempo de ciclo	25
8.- Complejidad del dispositivo	Complejidad	36
9.- Construcción ligera del dispositivo	Peso de objeto en movimiento	1
10.- Geometría de la cuchilla	Forma	12

Parámetros genéricos de ingeniería planteados por Altshuller

1.- Peso de objeto en movimiento	2.- Peso de objeto estacionario	3.- longitud de objeto en movimiento	4.- Longitud de objeto estacionario
5.- Área de objeto en movimiento	6.- Área de objeto estacionario	7.- Volumen de objeto en movimiento	8.- Volumen de objeto estacionario
9.- Velocidad	10.- Fuerza	11.- Tensión, presión	12.- Forma
13.- Estabilidad del objeto	14.- Resistencia	15.- Durabilidad de objeto en movimiento	16.- Durabilidad de objeto estacionario
17.- Temperatura	18.- Brillo	19.- Energía gastada por objeto en movimiento	20.- Energía gastada por objeto estacionario
21.- Potencia	22.- Desperdicio de energía	23.- Desperdicio de sustancia	24.- Pérdida de información
25.- Desperdicio de tiempo	26.- Cantidad de sustancia	27.- Confiabilidad	28.- Precisión de medición
29.- Precisión de manufactura	30.- Factores nocivos actuando sobre el objeto	31.- Efectos secundarios dañinos	32.- Manufacturabilidad
33.- Facilidad de uso	34.- Reparabilidad	35.- Adaptabilidad	36.- Complejidad del sistema
37.- Complejidad de control	38.- Nivel de automatización	39.- Productividad	

Con el mayor peso de columna (11.7) el requerimiento técnico “Reducción de movimientos al operar” está vinculado en la matriz de relaciones con 4 requerimientos del consumidor con los que guarda relaciones normales y altas. Dos de tales requerimientos son puntos de venta (comodidad de uso y rapidez en la recolección) en tanto que de estos últimos, la rapidez en la recolección tiene un alto peso de fila (6.3), además, la comodidad y facilidad de uso del dispositivo se ven beneficiadas en su despliegue, por lo que es considerado un punto crítico de mejora.

Requerimiento técnico: Reducción de movimientos al operar
 Peso de columna: 11.7

Req. consumidor	Nivel de importancia	Punto de venta	Tasa de mejoramiento	Peso de la fila	Relación
Comodidad de uso	4	*	0.8	3.8	3
Facilidad de uso	5		1	5	9
Rapidez en la recolección	5	*	1.33	6.3	9
Corte de frutos en alturas	5		1.33	6.6	3

Dentro de la matriz de correlaciones se encuentra que existe otro requerimiento técnico que dificulta el despliegue adecuado del requerimiento en estudio. A continuación se detalla la contradicción correspondiente y las soluciones propuestas tras el análisis en la Matriz de Altshuller.

*negativa

“Diseñar un dispositivo que reduzca los movimientos al operar favorece la cosecha rápida, pero incrementa la complejidad del dispositivo”

Principios de inventiva de Altzhuller aplicables

+25 Vs 36-

- 6 universalidad: Hacer que el dispositivo desempeñe funciones más allá de su función primaria (separar el fruto del árbol) para hacer más eficiente la cosecha. Es deseable que además de cortar con precisión el pedúnculo, también facilite el acceso a frutos distantes, sea cómodo e intuitivo de utilizar y asegure la integridad del fruto una vez desprendido del árbol.
- 29 neumática e hidráulica: Uso de espumas de alta densidad en componentes donde sea necesaria la flexibilidad y reducción de peso

El requerimiento denominado como “ajuste de altura del dispositivo” se encuentra en relación con 6 requerimientos de consumidor; destacando por su nivel de importancia (5), el mayor peso de fila (7.9) y el carácter de punto de venta el requerimiento “rapidez en la recolección”. Mayormente, los pesos de las relaciones restantes son normales y altos, contando 3 puntos de venta, pesos de fila sensiblemente altos. Por lo demás, puede observarse que los niveles de importancia adquieren valores desde 3 hasta 5, siendo este último valor el que predomina entre todos ellos. Se socorre el despliegue de calidades exigidas como la preservación del fruto, la facilidad de uso y la posibilidad de cortar frutos en alturas.

Requerimiento técnico: Ajuste de altura del dispositivo

Peso de columna: 11.4

Req. consumidor	Nivel de importancia	Punto de venta	Tasa de mejoramiento	Peso de la fila	Relación
Facilidad de uso	5		1	5	1
Preservación del fruto	4	*	1.33	6.3	9
Rapidez en la recolección	5	*	1.33	7.9	3
Tamaño compacto	3		0.75	2.2	9
Corte de frutos en alturas	5		1.33	6.6	9
Mantenimiento	4	*	0.8	3.8	1

Las contradicciones detectadas con otros requerimientos de diseño son dos negativas y una negativa fuerte, estas siguieron el tratamiento del requerimiento técnico anterior.

*Negativa

“Diseñar un dispositivo con capacidad de recolectar frutos en alturas posibilita que tenga ajuste de altura, pero se incrementa el costo de materiales y manufactura”

Principios de inventiva de Altshuller aplicables

+35 Vs 23-

- 2 remoción/extracción: Omitir la manufactura de componentes que se encuentren presentes en otros sistemas y que puedan ser útiles en la conformación del dispositivo.
- 10 acción previa: Uso de componentes previamente diseñados y manufacturados.
- 15 dinamismo:
 - *Diseñar el dispositivo considerando piezas comerciales o repuestos de otros sistemas que puedan ser útiles
 - *Diseñar considerando partes o materiales baratos donde sea factible su uso
 - *Hacer selección adaptativa a costos la selección de materiales y procesos de manufactura.
 - *Emplear materiales flexibles que se adapten a las formas de la extensión a fin de generar fricción.

Otros principios relacionados

- 24 intermediario: aplicar fuerza a un material flexible en contra de la superficie de la extensión usando un sistema de rosca y tuerca para generar fricción con el propósito de mantener el ajuste. Liberando el apriete del sistema, se libera también la superficie.

*Negativa fuerte

“Un dispositivo con la capacidad de ajuste de altura para un mayor alcance, facilita y acelera la cosecha, pero se incrementa la complejidad del dispositivo”

Principios de inventiva de Altshuller aplicables

+35 Vs 36-

- 15 dinamismo:
 - *Diseñar una extensión de longitud variable
 - *Adaptar el diseño de cada subsistema para un fácil ensamble
 - *Considerar niveles de extensión de acuerdo a la necesidad
 - *Utilizar opresores de acero con balín de acero inoxidable para la fijación temporal de la posición de la extensión, y barrenos de posición en la misma.
 - *Recubrir y reforzar zonas proclives al desgaste.
 - *Diseñar componentes adaptándolos a componentes comerciales
- 28 sust. Mecánica:
 - *Cuchilla de corte accionada por motor eléctrico
 - *Uso de imanes para unión de partes.
- 29 neumática e hidráulica: Usar espumas en puntos de contacto con el usuario para mayor confort
- 37 expansión térmica: Fijar componentes usando expansión térmica.

*Negativa

“Diseñar un dispositivo con capacidad de ajuste de altura para un mayor alcance, supone el incremento en la rapidez de recolección, pero se afecta la ligereza del dispositivo”

Principios de inventiva de Altshuller aplicables

+35 Vs 1-

- 8 contrapeso: Utilizar miembros del cuerpo del usuario como contrapeso
- 15: dinamismo:
 - *Que la correa a usar sea ajustable dependiendo de las características del usuario
 - *Distribuir el peso del dispositivo en las manos y cuerpo del usuario
- 29 neumática e hidráulica:
 - *Uso de espumas donde sea necesario para aligerar la construcción del dispositivo
 - *Uso de mecanismo de aire comprimido para extender/retraer el dispositivo

La complejidad del dispositivo como requerimiento técnico se considera como punto crítico de mejora al estar relacionado con 8 requerimientos del cliente, aquí tanto el tamaño como el mantenimiento poseen relaciones altas. Será sensible la atención adecuada a este requerimiento técnico considerando que tiene impacto en la comodidad de uso, preservación del fruto, rapidez en la recolección y el mantenimiento, estos anteriores son puntos de venta. Adicionalmente, la facilidad de uso que está ponderada como de gran importancia y con un peso de fila de alto valor cuantificado (5), colocan al requerimiento técnico en cuestión como prioritario.

Requerimiento técnico: Complejidad del dispositivo

Peso de columna: 10.9

Req. consumidor	Nivel de importancia	Punto de venta	Tasa de mejoramiento	Peso de la fila	Relación
Comodidad de uso	4	*	0.8	3.8	1
Facilidad de uso	5		1	5	3
Preservación del fruto	4	*	1.33	6.3	3
Precisión en el corte	3		1	3	1
Rapidez en la recolección	5	*	1.33	7.9	3
Tamaño	3		0.75	2.2	9
Corte de frutos en alturas	5		1.33	6.6	3
Mantenimiento	4	*	0.8	3.8	9

Es de esperarse por la naturaleza de la complejidad del dispositivo sea un requerimiento que se encuentre en conflicto con otros para su adecuado desarrollo, tan es así que las 2 contradicciones negativas fuertes en conjunto con otras 3 negativas hacen ver la necesidad de un análisis exhaustivo para todas ellas mediante TRIZ.

*Negativa fuerte

“Un dispositivo capaz de recolectar frutos en alturas es más inocuo con los frutos, pero se incrementa la complejidad del dispositivo”

Principios de inventiva de Altshuller aplicables

+27 V 36-

- 1 segmentación:
 - *Unir segmentos de extensión para lograr la longitud requerida
 - *Eliminar vértices pronunciados de la punta de la herramienta de corte con segmentos que se aproximen a una curva (principio 14)
 - *Sistemas modulares (extensión, corte, ajuste, ...)
- 13 reversa:
 - *En lugar de que la herramienta se mueva junto al trabajador, hacer que la herramienta se mueva estando el trabajador en un punto fijo (el suelo)
 - *Para recolectar frutos distantes al trabajador, acercar la herramienta de corte con una extensión en lugar de que el trabajador se acerque con la herramienta
- 35 cambio de parámetros y propiedades: En lugar de que el fruto cosechado se impacte contra una superficie dura y distante (el suelo), hacer que se impacte en una superficie blanda y próxima (saco recolector)

*Negativa

“Dotar a un dispositivo de cosecha con una extensión, amplifica su alcance de corte, con el inconveniente que la complejidad del mismo se incrementa”

Principios de inventiva de Altshuller aplicables

+3 Vs 36-

- 1 segmentación:
 - *Extensión conformada por varios elementos muy similares entre sí para proporcionar la altura requerida que tengan el mismo principio de construcción
 - *Usar guías para la extensión que sean pequeñas pero iguales con menor complejidad de manufactura.
- 19 acción periódica: colocar barrenos de posición espaciados a lo largo de la extensión.
- 24 intermediario:
 - *Diseñar el mecanismo de fijación temporal de manera que pueda cambiar de posición fácilmente
 - *Fijar los rieles de la extensión considerando colocar un material resistente y que copie la curvatura del tubo, entre los rieles y el tubo.
 - *Barrenar el tubo para las diferentes posiciones y recubrir la superficie que tenga contacto con el opresor para brindarle más resistencia al desgaste.
- 26 copiar imitar:
 - *Imitar mediante inercia la fuerza que accione la herramienta de corte en lugar de transmitirla. Uso de adhesivos para la fijación de componentes estáticos.
 - *Imitar “ver de cerca” lo que se pretende cortar mediante el uso de un espejo cóncavo con el objeto a una distancia inferior a la distancia focal

Otros principios relacionados

- 7 estructuras anidadas (principio aplicado sin la matriz de Altshuller): Hacer que una parte de la extensión pase por la cavidad de la otra, es decir, un tubo dentro de otro de mayor diámetro

*Negativa

“Una herramienta de cosecha con buen nivel ergonómico, favorece la comodidad de uso, pero se incrementa la complejidad del dispositivo”

Principios de inventiva de Altshuller aplicables

+31 Vs 36-

- 1 segmentación:
 - *Disponer de múltiples niveles de ajuste de altura para que el usuario sin importar su estatura pueda utilizar el dispositivo.
 - *Uso de espumas y/o geles contenidos en puntos de contacto con el usuario para incrementar la superficie de contacto con este mientras se usa el dispositivo.
- 19 acción periódica: accionamiento de la herramienta de corte mediante movimientos cortos de menos fuerza en lugar de un solo movimiento que demande mucha fuerza.

*Negativa fuerte

“Diseñar un dispositivo de cosecha con costo de materiales y manufactura bajos, favorece la reducción del precio, pero limita el nivel de complejidad que el dispositivo requiere para ser más adecuado”

Principios de inventiva de Altshuller aplicables

+36 Vs 23-

- 10 acción previa: utilizar componentes comerciales previamente diseñados y manufacturados
- 24 intermediario: para la extensión, utilizar tubos que sean baratos y no impliquen procesos de manufactura complejos para trabajarlos.
- 28 sust. mecánica: usar propiedades magnéticas para unir componentes o para mecanismos.
- 35 cambio de parámetros y propiedades:
 - *Uso de adhesivos como elemento de fijación de componentes.
 - *Accionar la herramienta de corte mediante inercia.

***Negativa**

“Un dispositivo de cosecha sofisticado conlleva el aumento de funciones de este, pero se perjudica el peso del mismo”

+36 Vs 1-

- 26 copiar, imitar:
 - *Uso de adhesivos para fijar componentes en lugar de mecanismos de sujeción.
 - *Uso de materiales baratos con propiedades mecánicas adecuadas y resistentes a la corrosión.
- 30 carcasas flexibles y películas delgadas: recubrir componentes que sean susceptibles a la corrosión
- 34 descartando y recuperando:
 - *Usar un gancho que se sujete de las ramas del árbol una vez que la herramienta de corte esté próxima al fruto a recolectar.
 - *Transferir el peso del dispositivo de los brazos del usuario a otras partes del cuerpo que toleren mejor las cargas.

Siendo el dispositivo en desarrollo del presente trabajo, uno que el usuario manipule sin la intervención de cualquier ente intermediario, la ergonomía es fundamental. Dicho requerimiento posee una ponderación de 8.9 en su peso de columna, quedando entre los más altos. Encuentra relación con 6 requerimientos de consumidor cuyos niveles de importancia son mayormente de 5, 3 de ellos puntos de venta y de estos, 1 tiene relación alta: la comodidad de uso. Resulta entonces imprescindible orientar los esfuerzos de diseño hacia un diseño ergonómico. Se trata pues, de humanizar la operación de cosecha en pos de incrementar la productividad a través de un dispositivo que sea fácil de usar, cómodo y que ofrezca la posibilidad de recolectar frutos poco accesibles por la altura en la que se encuentren.

Requerimiento técnico: Diseño ergonómico

Peso de columna: 8.9

Req. consumidor	Nivel de importancia	Punto de venta	Tasa de mejoramiento	Peso de la fila	Relación
Comodidad de uso	4	*	0.8	3.8	9
Facilidad de uso	5		1	5	3
Rapidez en la recolección	5	*	1.33	7.9	1
Peso reducido	3	*	1	3.6	3
Tamaño compacto	3		0.75	2.2	3
Corte de frutos en alturas	5		1.33	6.6	3

En oposición al despliegue del diseño ergonómico se encuentran los costos y de la matriz de Altshuller se recuperaron las siguientes soluciones

*Negativa

“El dispositivo de cosecha debe ser más ergonómico para favorecer la comodidad de uso, pero se incrementan los costos de materiales y manufactura”

Principios de inventiva de Altshuller aplicables

+23 Vs 31-

- 1 segmentación: Distribuir el peso del dispositivo en diversas partes del cuerpo del usuario.
- 10 acción previa:
 - *Uso de componentes comerciales o de otros sistemas.
 - *Preparar el dispositivo para que pueda ajustarse a diversas complejidades de posibles usuarios.
- 29 neumática e hidráulica:
 - *Uso de espumas de alta densidad para puntos de contacto con el usuario y para aligerar componentes.
 - *Uso de sistema neumático para extender/retraer la extensión
 - *Accionar la herramienta de corte mediante dispositivo neumático con conducto en espiral.
- 34 descartando y recuperando: Puntos de contacto con el usuario que se adapten al mismo y que vuelvan a su posición original cuando no estén en uso: mangos recubiertos de materiales flexibles, espumas, geles contenidos

La cosecha en cultivos perennes, implica una alta productividad de este y por tanto requiere herramientas de alta disponibilidad. Se ha definido a la resistencia al desgaste del filo como un requerimiento técnico importante, con peso de fila y porcentaje de importancia de 8.6 y 4.55%, respectivamente. Está asociado con 4 calidades exigidas por el cliente, 3 de las cuales son puntos de venta y dos de ellas, la durabilidad y el mantenimiento, en conjunto con la precisión en el corte tienen relación alta. Es importante notar que la rapidez en la recolección, pese a no ser de una relación obvia es un punto de venta con el peso más alto de fila de entre las calidades exigidas.

Requerimiento técnico: Resistencia al desgaste del filo

Peso de columna: 8.6

Req. consumidor	Nivel de importancia	Punto de venta	Tasa de mejoramiento	Peso de la fila	Relación
Precisión en el corte	3		1	3	9
Rapidez en la recolección	5	*	1.33	7.9	1
Durabilidad	4	*	0.8	1.9	9
Mantenimiento	2	*	0.8	3.8	9

En oposición a dicho despliegue, se encuentra 1 requerimiento con relación negativa:

***Negativa**

“Proveer a un dispositivo de cosecha con adecuada resistencia al desgaste del filo favorece la durabilidad, pero afecta la ligereza de los materiales de la herramienta de corte”

Principios de inventiva de Altshuller aplicables

+23 Vs 1-

- 3 Calidad local: forjar y aplicar tratamiento térmico solo al filo de la herramienta
- 5 fusionarse, unir, combinar: hacer el corte mediante 2 o más herramientas de corte para distribuir el desgaste.
- 31 materiales porosos y membranas:
*Introducir carbono en los intersticios del material del filo para incrementar su dureza (carburizado)
*Aprovechar la rugosidad del material para aplicar un recubrimiento que prevenga el desgaste.
- 35 cambio de parámetros y propiedades: aplicar carburizado en el filo de la herramienta de corte.

El desarrollo del prototipo objeto de la presente tesis está orientado a satisfacer en la mayor medida posible las expectativas del consumidor, lo que llevó a determinar que el alcance de corte es un requerimiento al que debe prestarse atención. Un porcentaje de importancia de 9.09% y un peso de columna de 10.2 le confieren dicho carácter. De las 3 demandas de muy alto nivel de importancia y peso de fila con las que tiene relación (una normal y dos altas), la rapidez en la recolección junto con la preservación del fruto son puntos de venta.

Requerimiento técnico: Alcance de corte

Peso de columna: 10.2

Req. consumidor	Nivel de importancia	Punto de venta	Tasa de mejoramiento	Peso de la fila	Relación
Preservación del fruto	4	*	1.33	6.3	3
Rapidez en la recolección	5	*	1.33	7.9	9
Corte de frutos en alturas	5		1.33	6.6	9

Para este requerimiento se encontraron 3 relaciones negativas que se trataron como contradicciones en la matriz de Altshuller

***Negativa**

“Un dispositivo que posibilite el corte de frutos en alturas, favorece la rapidez en la recolección, pero incrementa el costo de materiales y manufactura”

Principios de inventiva de Altshuller aplicables

+3 Vs 23-

- 10 acción previa: considerar en el diseño de la extensión a componentes comerciales de amplia disponibilidad.
- 14 esferoidalidad y curvado:

*Usar opresores con balín para retener el ajuste fijado por el usuario en la extensión acondicionada con barrenos para los ajustes.

*Usar cuchillas de geometría curva en la herramienta de corte que atrapen el pedúnculo para efectuar un corte preciso sin deslizamiento de este.

*Mantener el ajuste de altura utilizando un sistema de tuerca y rosca.

- 29 neumática e hidráulica: uso de sistema neumático para accionar la extensión o la herramienta.
- 39: atmósfera inerte: uso de tubos para la extensión. Es inerte en el sentido de no añadir costos altos a la manufactura y materiales.

Otros principios relacionados

- 15 Dinamismo: Recurrir a un medio flexible para transmisión de movimiento a fin de hacerlo adaptable a su operación en cualquier punto.
- 10 Acción previa: Mantener tenso el medio flexible para poder transmitir movimiento.
- Tensar mediante resorte de retorno y rebobinador
- *El cordón de transmisión debe ser largo cuando la extensión está extendida y debe ser corto cuando está retraída
- *El cordón debe estar tenso todo el tiempo para poder transmitir movimiento”

*Negativa

“Diseñar un dispositivo de cosecha que posibilite el corte de frutos en alturas favorece la preservación del fruto y la rapidez en la recolección, pero afecta a la construcción ligera del dispositivo”

Principios de inventiva de Altshuller aplicables

+3 Vs 1-

- 8 contrapeso:
 - *Compensar el peso del dispositivo con el peso del usuario mediante correas alrededor del cuerpo de este.
 - *accionar la herramienta de corte mediante un contrapeso inercial y resorte
- 15 dinamismo: Hacer empuñaduras, mangos y correas ajustables para el usuario.
- 29 neumática e hidráulica: Uso de materiales flexibles como espumas y geles contenidos para los puntos de contacto con el usuario
- 34 descartando y recuperando: Usar un mecanismo de anclaje con las ramas del árbol mientras el dispositivo se encuentre extendido en lo alto para eliminar carga para el usuario

*Negativa

“Diseñar un dispositivo de cosecha que posibilite el corte de frutos en alturas, favorece la rapidez en la recolección, pero afecta a la geometría de la cuchilla”

Principios de inventiva de Altshuller aplicables

+3 Vs 12-

- 4 asimetría: herramienta de corte con una cuchilla móvil y una fija, una chuchilla curva (móvil) y otra recta (fija)
- 5 fusionar, unir, combinar: usar mecanismo paralelo a la cuchilla de corte que mantenga a la cuchilla funcionando automáticamente sin que el usuario la accione

- 29 neumática e hidráulica: N/A
- 34 descartando y recuperando: restaurar la posición abierta de la herramienta de corte y dejarla lista para el siguiente corte

La primer impresión que dan los costos de materiales y manufactura es que, acorde al criterio inicial de selección de los requerimientos ya tratados, no tiene un peso de columna especialmente alto ni tampoco la importancia ponderada más elevada. Sin embargo, es preciso hacer énfasis en que tiene relación con 5 requerimientos de consumidor, 4 de ellos son puntos de venta y su nivel de importancia es, en promedio, muy alto. Radica en lo anterior, la importancia de considerarlo como prioridad al atenderlo.

Requerimiento técnico: Costo de materiales y manufactura

Peso de columna: 5.5

Req. consumidor	Nivel de importancia	Punto de venta	Tasa de mejoramiento	Peso de la fila	Relación
Corte de frutos en alturas	5		1.33	6.6	1
Precio del dispositivo	4	*	1.5	7.1	9
Durabilidad	2	*	0.8	1.9	3
Mantenimiento	4	*	0.8	3.8	1
Comodidad de uso	4	*	0.8	3.8	1

En la matriz de relaciones se destaca por obtener el mayor número de relaciones que no son favorables para su despliegue, entre las que figuran 3 relaciones negativas

*Negativa

“Dotar al dispositivo con la capacidad de garantizar la inocuidad del fruto favorece la preservación de este, pero empeora los costos de materiales y manufactura”

Principios de inventiva de Altshuller aplicables

+27 Vs 23-

- 10 acción previa:
 - *Uso de componentes comerciales y altamente disponibles
 - *Hacer que el fruto se detenga antes de llegar al suelo para evitar que se impacte
- 29 neumática e hidráulica: N/A
- 35 cambio de parámetros y propiedades: emplear un tubo flexible y elástico que detenga la caída de los frutos recolectados, al tiempo que los almacene temporalmente.
- 39 atmósfera inerte:
 - *Las partes que tengan contacto con el fruto no deben dañarlo
 - *Uso de materiales resistentes a la corrosión

*Negativa

“Orientar el diseño de un dispositivo de recolección hacia la construcción ligera, permite que su uso sea cómodo, pero se incrementa el costo de materiales y manufactura”

Principios de inventiva de Altshuller aplicables

+1 Vs 23-

- 6 universalidad: hacer que la extensión sirva de soporte para la herramienta, el saco recolector, mango de sujeción para el usuario, carcasa del dispositivo
- 23 retroinformación:
 - *Transmitir a lo largo de la extensión el impacto de la cuchilla cuando esta hace un corte
 - *Saco recolector translúcido que permita ver cuando este se encuentre lleno o vacío
- 35 cambio de parámetros y propiedades:
 - *herramienta de corte accionada por inercia
 - *herramienta de corte accionada magnéticamente
 - *herramienta de corte accionada eléctricamente
- 40 materiales compósitos: uso de materiales aleados que combinen sus propiedades (fibra de vidrio, carbono, metales aleados).

*Negativa

“La complejidad en la geometría de la cuchilla de corte favorece la precisión de corte, pero se incrementa también el costo de materiales y manufactura”

Principios de inventiva de Altshuller aplicables

+12 Vs 23-

- 3 calidad local: aplicar forja solamente al filo de la herramienta de corte
- 5 fusionar, unir, combinar:
 - *Accionar la herramienta de corte mediante contrapeso inercial y resorte
 - *Accionar la herramienta de corte con sistema automático de apertura y cierre en paralelo con la herramienta
- *Incorporar una barrera suave para que el fruto a recolectar no se mueva excesivamente
- 29 neumática e hidráulica:
 - *accionar la herramienta mediante sistema neumático
 - *adicionar al contorno no cortante de la herramienta con materiales suaves
- 35 cambio de parámetros y propiedades: cambio de cuchilla recta a cuchilla curva

2.6.5 Planteamiento de función primaria y funciones secundarias

Como parte del tratamiento de la información en la fase de diseño conceptual, los principios de trabajo se han obtenido gracias a los recursos heurísticos de TRIZ, de manera que a continuación se vierten dichos principios en la generación de alternativas para implementarse. Es conveniente definir la función primaria del dispositivo y considerar los requerimientos técnicos presentes en el diagrama de la casa de la calidad con el propósito de establecer tanto el principio mencionado, como las funciones secundarias. De los dispositivos presentes en el mercado, se tiene que su función primaria es separar al fruto del árbol de dos formas: a tirón y por corte de pedúnculo. En la investigación presentada en el capítulo anterior se considera más conveniente la separación mediante el corte del pedúnculo, por lo que se adopta lo dicho como función primaria. Las funciones secundarias sirven de soporte a la función primaria, estas se definen observando cómo se lleva a cabo la recolección habitualmente. En la figura 2.13 se han abstraído las actividades que el trabajador lleva a cabo de manera secuenciada cuando este utiliza un alicate de corte.

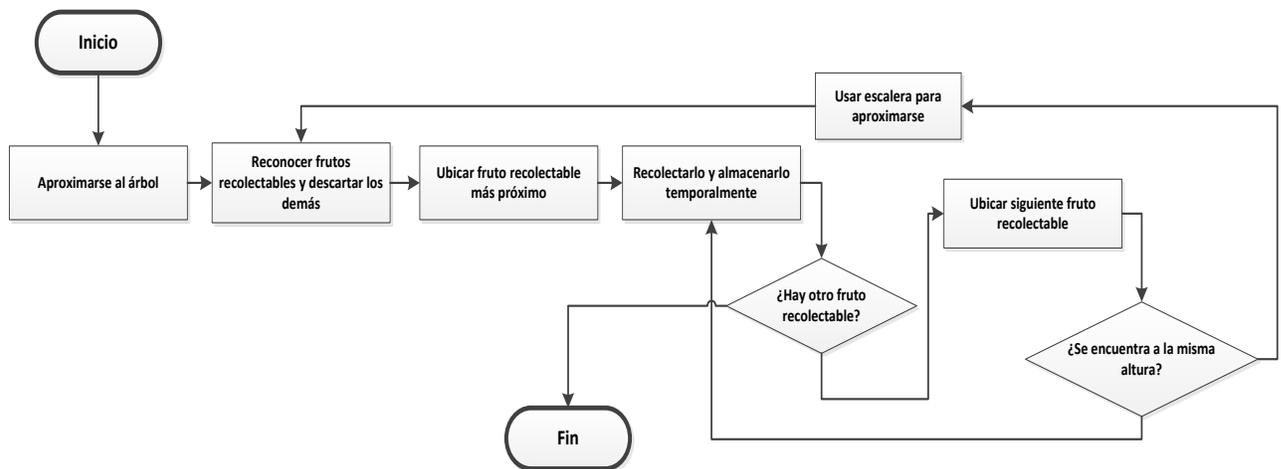


Figura 2.13: Secuencia de actividades correspondiente a la etapa de recolección con alicate de corte (diagrama de flujo)

Entonces,

Función primaria:

- Separar el limón de la rama del árbol mediante el corte del pedúnculo

Funciones secundarias:

- Alcanzar los frutos distantes
- Recuperar el fruto recolectado
- Almacenar temporalmente los frutos recolectados

Según Semyon (2000), la definición aceptada de sistema en la metodología TRIZ dice, “un sistema es un conjunto de subsistemas interactuando ordenadamente destinado

para la ejecución de funciones específicas. Posee comportamientos y propiedades que no pueden ser reducidas por los comportamientos de sus subsistemas trabajando por separado”. Para generar los subsistemas requeridos que conformarán los diseños conceptuales, es necesario asociar tanto la función primaria como las funciones secundarias, con los requerimientos técnicos que dan origen al despliegue de funciones de calidad expuestos en la tabla 2.8. Lo anterior es útil para seleccionar las soluciones que resultaron del empleo de la metodología TRIZ y los recursos heurísticos utilizados en el análisis de contradicciones mediante la matriz de Altshuller. Adicionalmente, los aspectos ergonómicos son considerados en el entendido de que el dispositivo para cosecha a diseñar, será de accionamiento manual con la consecuente participación activa del usuario para completar su función.

Tabla 2.14: Generación de subsistemas para el dispositivo de recolección en función de los requerimientos de actividad			
Para	Se requiere	Requerimientos técnicos involucrados	Subsistema a implementar
Separar el fruto del árbol	Cortar el pedúnculo que sostiene al fruto	<ul style="list-style-type: none"> • Inocuidad del dispositivo • Resistencia al desgaste del filo • Complejidad del dispositivo • Geometría de la cuchilla 	Corte
Alcanzar los frutos que se encuentren lejos del trabajador	Llevar la herramienta de corte hasta el punto donde se encuentran los frutos	<ul style="list-style-type: none"> • Alcance de corte • Ajuste de altura del dispositivo • Reducción de movimientos al operar 	Extensión
Posicionar la herramienta de corte a diferentes alturas del árbol	Posibilitar la modificación del alcance de corte	<ul style="list-style-type: none"> • Ajuste de altura del dispositivo • Alcance de corte 	Ajuste de altura
Recuperar los frutos recolectados	Evitar que caigan al suelo tras separarlos del árbol y después almacenarlos temporalmente	<ul style="list-style-type: none"> • Inocuidad del dispositivo • Reducción de movimientos al operar 	Recolección
Posibilitar el uso cómodo del dispositivo	Hacer que los mandos y el peso del dispositivo sean adecuados para su operación	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño ergonómico • Construcción ligera del dispositivo 	Interacción con el usuario

2.6.5 Generación de alternativas de diseño conceptual con base en las soluciones de la matriz de Altshuller.

La generación de alternativas de diseño conceptual expone el universo de principios de solución para cada una de las funciones del dispositivo. De acuerdo al diagrama de flujo presentado en la figura 2.13 es posible integrar los principios que brinden soporte a cada subsistema en alternativas conceptuales, que serán comparadas y evaluadas a fin de seleccionar la que ofrezca las mejores características orientadas al uso previsto.

2.6.5.1 Primera alternativa conceptual: Corte a distancia mediante inercia.

De acuerdo con el principio 13 “reversa” se implementó el subsistema de extensión que lleva a la herramienta de corte hacia el fruto estando el trabajador en un punto fijo, en lugar de que el usuario se mueva junto con la herramienta. Los principios de segmentación (1), universalidad (6) y estructuras anidadas (7) conforman a la extensión de manera modular quedando un segmento cilíndrico circular dentro de otro para hacer variar la longitud, además de fungir como soporte para la herramienta de corte, para el sistema de recolección y que a la vez funcione como mango para la transmisión de la fuerza que acciona al subsistema de corte.

El subsistema de corte será el que posibilite el despliegue de la función primaria, su funcionamiento consiste en accionar la herramienta de corte agitando la extensión, mientras que un contrapeso anclado a una palanca amplificará la fuerza aplicada para efectuar el corte. Finalmente, un resorte de compresión regresará a la cuchilla móvil a la posición de abierto para dejar listo al sistema y efectuar un nuevo corte. Lo anterior está implementado con base en los principios de imitar (26), contrapeso (8), cambio de parámetros y propiedades (35), y descartando y recuperando (34). Asimismo, la herramienta de corte presenta la aplicación en su geometría el principio de asimetría (4) contando con la cuchilla fija en forma recta en conjunto con la cuchilla móvil curva; ambas con bordes redondeados para evitar rasguñar el fruto.

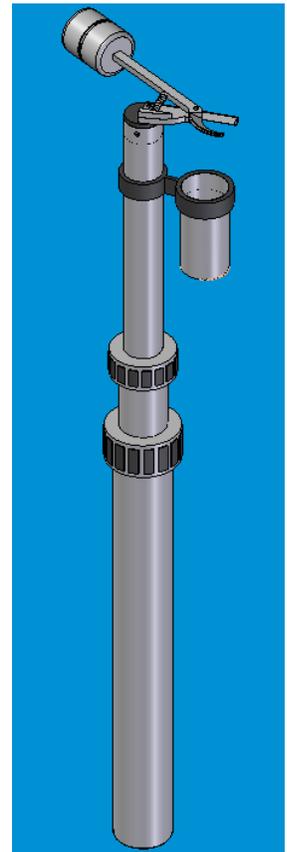


Figura 2.14: vista isométrica de la alternativa 1.

El subsistema de recolección, el cual se presenta como un recipiente que se encuentra cerrado en su parte inferior por un medio elástico que detenga y amortigüe la caída de los frutos, permite además al usuario verificar si hay frutos en su interior. Dicha solución se encuentra fundamentada en los principios fusionar (5), cambio de parámetros y propiedades (35), acción previa (10) y atmósfera inerte (39).

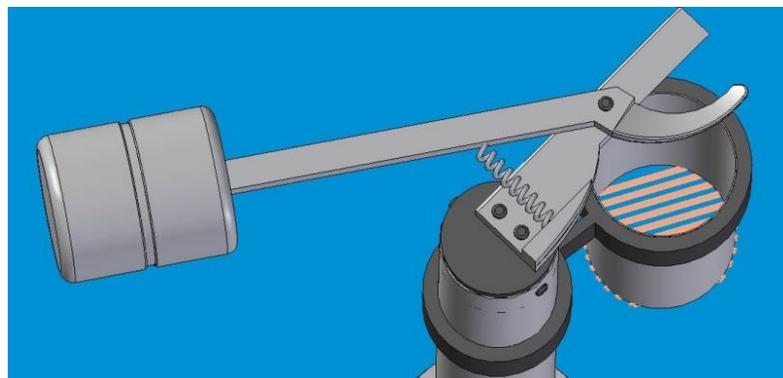


Figura 2.15: subsistema de corte y subsistema de recolección

El ajuste de altura es otra de las funciones secundarias que sirve de apoyo a la función primaria. En esta primera alternativa de diseño conceptual la solución está basada en los principios de intermediario (24) y esferoidalidad y curvado (14). El primer principio sugiere que el mecanismo de fijación debe ser temporal y de fácil remoción para futuros ajustes, mientras que el segundo alude a la idea de pasar de una solución de secciones rectas y planas, a curvas y esféricas. Expuesto lo anterior la implementación de la solución consiste en un mecanismo de sujeción basado en una rosca y una tuerca de apriete, donde el módulo de la extensión tendrá un extremo roscado donde se acopla la tuerca, misma que a su vez aloja en su interior un o-ring al final de la cuerda. Al dar apriete, la tuerca empuja al o-ring contra la superficie del segmento interior de la extensión generando una fricción tal que bloquee el desplazamiento de este.

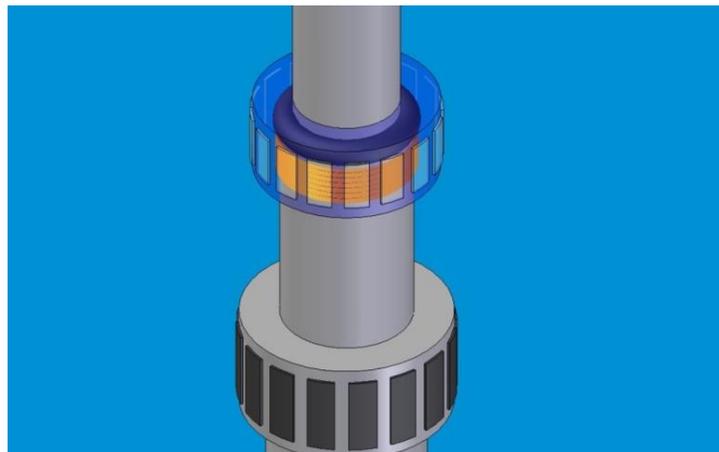


Figura 2.16: Detalle de mecanismo de ajuste por rosca, o-ring y tuerca

Siendo un dispositivo de accionamiento manual, es preciso considerar que la interacción con el usuario debe ser lo más óptima posible. La compatibilidad ergonómica con los posibles usuarios está propuesta por los principios de segmentación (1), acción previa (10) y dinamismo (15), cuya implementación está provista por la adaptación al dispositivo de un arnés con libertad de ajuste en hombros y tronco; lo anterior implica que los puntos de contacto con el usuario son flexibles y adaptables a las diferentes complejiones y tallas de los usuarios potenciales. Considerando que no es un dispositivo compacto se infiere que tampoco será del todo ligero, por lo que el arnés reparte el peso del dispositivo en diversas partes del cuerpo del usuario.



Figura 2.17: Propuesta de arnés a adaptar al dispositivo

2.6.5.2 Segunda alternativa conceptual: Corte a distancia mediante cordón tensado

Para la segunda alternativa conceptual, los principios de aplicados en la conformación del subsistema de extensión han sido los mismos que en la primer alternativa de diseño conceptual, en tanto a los otros subsistemas del dispositivo presentan cambios. Conservando el principio de corte de pedúnculo para la función primaria, el subsistema de corte en esta alternativa de diseño se acciona mediante un medio flexible de transmisión de fuerza que debe permanecer en tensión para cumplir su función (principio de acción previa, 10). Dado el carácter de longitud variable de la extensión, el principio de dinamismo (15) se sirve de la naturaleza flexible del medio de transmisión para adaptar la longitud de este a la del sistema extensor mediante un rebobinador situado en la parte inferior del dispositivo, al tiempo que lo mantiene en tensión conjuntamente con un resorte de tracción en la herramienta de corte.

Tanto la cuchilla fija como la móvil son curvas en esta alternativa (principio de esferoidalidad y curvado, 14), donde la móvil se encuentra acoplada a un resorte de tracción anclado a la fija. El mecanismo es accionado manualmente por el usuario tirando del medio flexible de transmisión para cerrar la herramienta, mientras que el resorte le devuelve la posición de abierto para poder efectuar un nuevo corte. Ambas cuchillas presentan bordes redondeados para evitar rasguños en la piel del fruto.

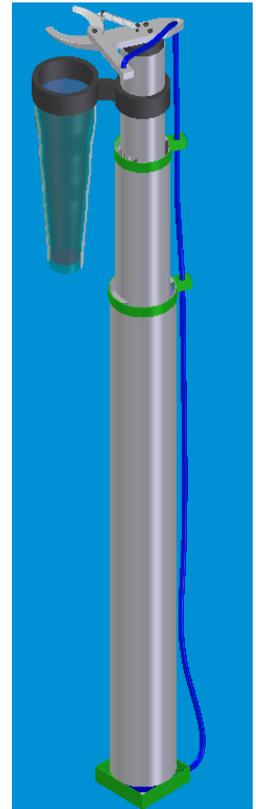


Figura 2.18: vista isométrica de la alternativa 2.

Tras haber separado el fruto del árbol, es preciso detener su caída hacia el suelo, por lo que este cae en un recipiente translúcido (principio de retroinformación, 23) el cuál debe ser suave para amortiguar la caída y elástico para retraerse cuando no se encuentre en uso (cambio de parámetros y propiedades, 35) donde se almacena el fruto temporalmente (universalidad, 6). La implementación para este subsistema considera un saco textil transparente con elásticos textiles cosidos en los costados. Las partes que lo requieran habrán de recubrirse para evitar la corrosión por humedad excesiva al ser un dispositivo de uso en la intemperie (carcasas flexibles y películas delgadas, 30).



Figura 2.19: Subsistemas de corte y recolección; detalle de rebobinador para subsistema de corte.

Siendo la extensión de longitud variable, es conveniente que el subsistema de ajuste de altura esté basado en el principio intermediario (24) para una remoción fácil en pos de hacer ajustes posteriores sin mucho esfuerzo. Se implementó como dispositivo de fijación a un arreglo de opresores con balín de acero inoxidable (esferoidales y curvado, 14) que permiten resistencia a esfuerzos cortantes. Una vez venciendo la fuerza del muelle opresor, el balín se retrae y puede rotar, facilitando el movimiento. Las posiciones de ajuste están definidas por barrenos espaciados por los que se desplazan los opresores (acción periódica, 19) en un material resistente y ligero adherido a las paredes internas de cada segmento (intermediario, 24).

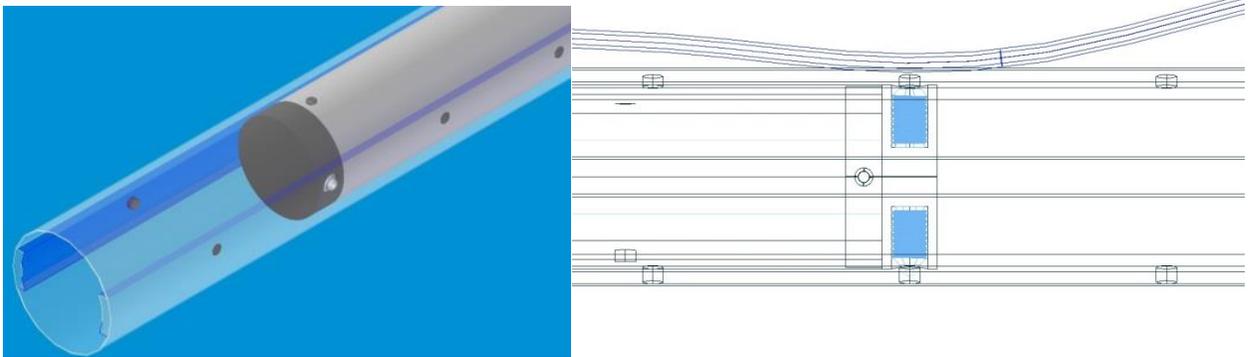


Figura 2.20: Detalle del subsistema de ajuste de altura (vista isométrica externa y lateral interna)

De forma similar a la primer alternativa, tanto el tamaño y el peso del dispositivo son variables a considerar para una adecuada ergonomía. En este caso mediante los principios de segmentación (1), contrapeso (8) y descartando y recuperando (34) resulta útil implementar una correa de un grado de ajuste anclada al dispositivo con los puntos de contacto con el usuario acolchonados con espumas densas o geles contenidos que permitan copiar la fisionomía del usuario para repartir adecuadamente el peso (principios dinamismo, 15; neumática e hidráulica, 29).



Figura 2.21: Correa de un grado de ajuste propuesta para anclar al dispositivo.

2.6.5.3 Tercera alternativa conceptual: Corte a distancia mediante motor eléctrico

Una tercera alternativa conceptual considera, como en las otras dos, los mismos principios para el subsistema de extensión modular de longitud variable: estructuras modulares anidadas en las que la mayor aloja a la de menor tamaño, sucesivamente, para llevar la herramienta hacia donde se encuentran los frutos sin que el trabajador cambie de posición, con la diferencia de una geometría cuadrada en lugar de cilíndrica circular. La función primaria en este caso es facilitada vía una herramienta de corte accionada por un motor eléctrico, solución fundamentada en los principios fusionar (5) y cambio de parámetros y propiedades (35). La herramienta en este caso está implementada bajo el principio de esferoidalidad y curvado (14), es decir, ambas son curvas y poseen bordes redondeados. Se considera para las 3 alternativas el principio de cambio de parámetros y propiedades (35) en conjunto con calidad local (3) y materiales porosos (31) aplicados a la herramienta de corte, implementándose un carburizado para incrementar la resistencia al desgaste del filo.

El subsistema de corte queda conformado por la herramienta de corte, donde la cuchilla fija está anclada a la extensión mediante una abrazadera, y la cuchilla móvil tiene en su brazo de palanca una rueda dentada que empalma con un motor eléctrico de c.c. en cuya flecha va acoplado un engrane. La alimentación del motor es mediante un cable en espiral que se encoge igual que un cable de teléfono fijo. Un botón en el segmento de la extensión que aloja a todos los demás acciona la herramienta de corte considerando que al cerrarse la herramienta, esta abra automáticamente para quedar lista para el siguiente corte.

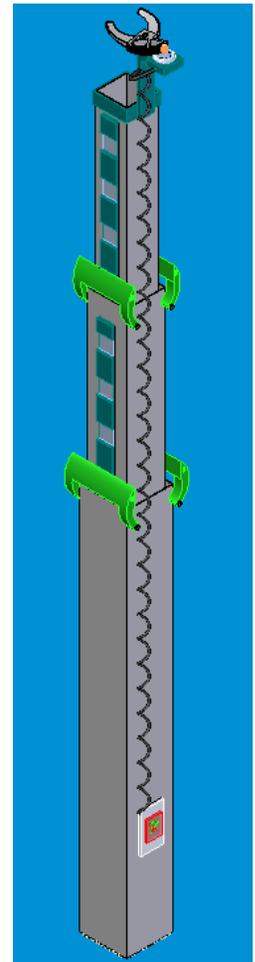


Figura 2.22: vista isométrica de la alternativa 3.

En seguida de la separación del fruto del árbol, este cae en el espacio que queda dentro de las estructuras anidadas hasta llegar a la más próxima al suelo donde es retenida por una barrera suave que amortigua el impacto para evitar dañarlo. La aplicación de los principios de universalidad (6) y atmósfera inerte (39) encuentran lugar en esta solución.

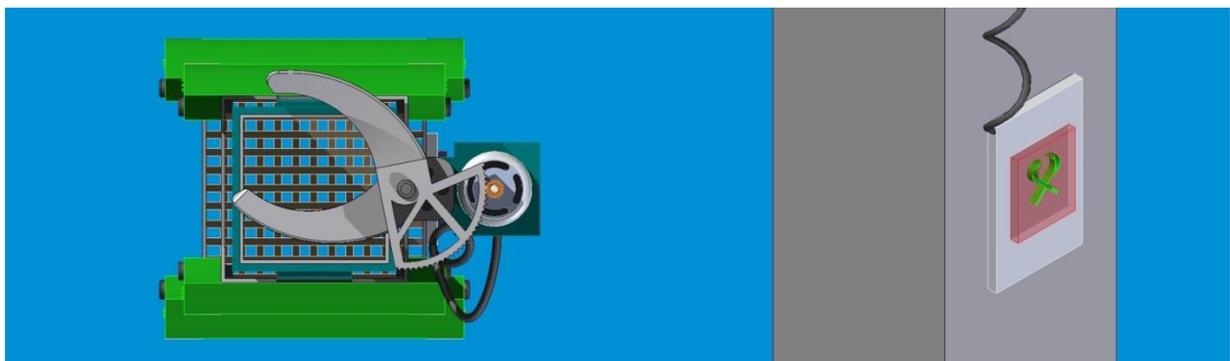


Figura 2.23: Vista superior del dispositivo, detalle del subsistema de corte y de recolección



Figura 2.24: Detalle del subsistema de corte (vista isométrica)

El subsistema de ajuste de altura para la extensión encuentra una implementación adecuada con el principio de intermediario (24) para una fácil remoción del ajuste. Adicional a este principio, la sustitución mecánica (28) y por supuesto el cambio de parámetros y propiedades (35) sugieren a los medios magnéticos como sustitución de componentes mecánicos para la unión de piezas. Se implementó en esta alternativa una variante del subsistema utilizado en la alternativa 2 aprovechando la geometría plana que tienen las secciones de la extensión para este caso, también, unos arcos de posición que portan el imán a unirse en unos segmentos de acero dispuestos de manera uniformemente espaciada a lo largo de los segmentos que conforman la extensión. Como medida de seguridad tipo “cinturón y tirantes”, las posiciones en la extensión tienen un desnivel marcado para que, además de que el imán pueda entrar y hacer contacto con la superficie metálica, la extensión no se deslice hacia abajo por el peso quedando retenida por la sección transversal protuberante del arco de posición.

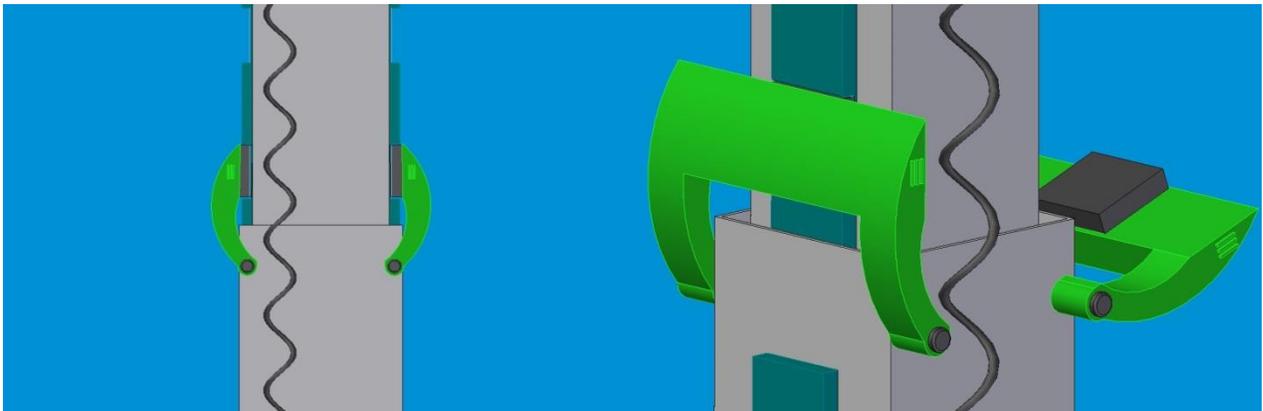


Figura 2.25: Subsistema de ajuste de altura, vistas lateral e isométrica

Debido al número de componentes que conforman esta tercera alternativa, el sistema de interacción con el usuario que se prevé anclar al dispositivo es el mismo presentado en la alternativa 1, con mayor superficie de contacto con el usuario para distribuir mejor el peso del dispositivo y así tener un mejor control al utilizarlo. Aplican los principios de segmentación (1) para los ajustes, acción previa (10) para la predisposición a diferentes complejiones de usuarios, y dinamismo (15) para los rangos de ajuste.

2.6.6 Selección del diseño conceptual más adecuado.

Las alternativas de diseño conceptual presentadas hasta este punto despliegan una combinación de las soluciones que tuvo origen en la aplicación de la metodología TRIZ en conjunto con el despliegue de la función de calidad (QFD), procurando abarcar la mayoría de todas ellas y descartando aquellas cuya implementación no es viable al elevar tanto el costo como la complejidad del dispositivo, con el inconveniente a la postre de no ser viable para su conformación. Cada combinación ofrece una forma diferente de satisfacer los requerimientos del cliente de diseño (en este caso, los trabajadores que se dedican a la recolección de limón). Sin embargo, cabe la posibilidad de que una alternativa satisfaga mejor tales requerimientos que las demás, por lo tanto, es importante contemplar en la fase de diseño conceptual, un modelo sistemático que abarque al usuario, al entorno y el propósito de la actividad.

En favor de seleccionar la mejor alternativa por ser la que con sus características inherentes, cumpla en mayor grado con los requisitos planteados en la matriz de planificación de producto (casa de la calidad), se recurre a una matriz de decisión basada en una escala de Likert de 5 niveles que contempla el desempeño esperado de cada alternativa en la actividad. El valor de dicha escala está determinado por el siguiente modelo:

$$\text{Valor escala Likert} = \sum_{i=1}^n (\text{valoración } i)(\text{peso de columna } i)$$

Donde i es cada criterio técnico, la valoración es otorgada a cada alternativa en función del desempeño esperado respecto a cada requerimiento técnico (pésimo: 1; mejorable: 2; regular: 3; adecuado: 4; excelente: 5), y el peso de columna es el determinado para cada requerimiento técnico en la matriz de la casa de la calidad.

Tabla 2.15: Matriz de decisión fase diseño conceptual											
Peso de la columna	4.4	10.2	8.6	11.4	8.9	5.5	11.7	10.9	4.2	4.2	Valor escala Likert
Criterios técnicos	Inocuidad del dispositivo	Alcance de corte	Resist. al desgaste del filo	Ajuste de altura del disp.	Diseño ergonómico	Costo de mat. y manufactura	Reducción de mov. al operar	Complejidad del dispositivo	Const. ligera del dispositivo	Geometría de la cuchilla	
Alternativa											
Alternativa 1	4	5	5	4	4	5	3	4	4	3	328.4
Alternativa 2	5	5	5	5	5	4	4	4	4	5	367.7
Alternativa 3	4	5	5	3	2	3	3	2	3	5	270.6

Es preciso mencionar que se optó por elegir la evaluación sobre los requerimientos técnicos debido a que el peso de columna implica una relación ponderada entre estos y los requerimientos del cliente considerando los niveles de importancia de estos últimos cuya valoración fue determinada por el cliente (ver diagrama de planificación de producto).

$$\text{Peso de la columna} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\text{nivel de importancia} \times \text{peso de la relación} \right]}{10}$$

Donde i es cada requerimiento del cliente relacionado, el nivel de importancia es el asignado por el entrevistado a cada uno y el peso de la relación es el valor asignado a la relación entre el requerimiento técnico y un requerimiento del cliente (9: relación fuerte; 6: relación normal; 3: relación débil)

En la matriz de decisión es apreciable la ventaja de la segunda alternativa sobre los otros dos conceptos, puede decirse que en cuanto a la inocuidad del dispositivo, dicha alternativa supera a las otras por almacenar el fruto en un medio flexible y suave; el ajuste de altura se consideró más conveniente gracias a que el usuario sólo tiene que realizar un movimiento para poder efectuarlo (jalar un segmento de la extensión hacia arriba o hacia abajo hasta el punto de ajuste predeterminado que se desee, en lugar de efectuar dos o más movimientos como en las otras dos alternativas, lo que se traduce en tiempo y movimientos extra). El diseño ergonómico también es una ventaja, pues en la alternativa 1 y 3 se propone un arnés con al menos dos grados de ajuste, hecho que incide en tiempo extra en adaptar dicho componente al usuario, en posibles errores en la configuración que el mismo usuario efectúe, y también para la tercera alternativa la geometría cuadrada no resulta cómoda al manipularla, pues la mano al cerrarse copia más la geometría de un cilindro que de un cuadrado, además del hecho que una geometría cuadrada implica una cantidad de masa adicional en los segmentos de la extensión. Los movimientos esperados a realizar son menores en la alternativa 2 que en las demás por el tipo de ajuste de altura y por la operación de la herramienta de corte, que pese a ser de accionamiento eléctrico en la alternativa 3, no brinda retroinformación al usuario sobre si el corte se efectuó o no, lo que deriva en más pulsaciones al comando de accionamiento y por ende más tiempo.

Tanto la complejidad de la geometría de la cuchilla como en general de todo el dispositivo, son más elevadas en la alternativa dos, aunque el hecho de que los pesos de columna sean contenidos para dichos requerimientos técnicos, no impacta de manera numérica en la decisión final, pero si lo hace en el despliegue de las funciones tanto primaria como las secundarias, haciéndoles más adecuados. Citando a la geometría de la herramienta de corte, se encuentra que es más compleja siendo ambas cuchillas curvas, sin embargo, dicha geometría ayuda a que el pedúnculo no se deslice mientras la cuchilla móvil se aproxima a la fija y a la vez atrape al mismo, lo que permite un corte preciso y limpio. Las soluciones tanto del alcance de corte como la resistencia al desgaste del filo, son las mismas en las tres alternativas, razón por las que existe un empate en la valoración para tales requerimientos técnicos.

Nota final sobre el capítulo 2

A lo largo de este segundo acápite, se dio tratamiento a las necesidades encontradas en el capítulo previo, clasificándola e interpretando con base en ello las calidades exigidas por el cliente de diseño. Se efectuó un *benchmarking* entre herramientas existentes en el mercado para conocer sus fortalezas, debilidades y la manera en que cubren las necesidades presentes. La casa de la calidad como nexo entre herramientas de calidad e ingeniería, fue útil para determinar los requerimientos de diseño, establecer de manera objetiva la relación existente entre estos y los del cliente, además de poder determinar cuáles requerimientos técnicos son establecidos como prioritarios y la forma en que el despliegue de cada uno beneficia al cliente al agregar valor al diseño. Se determinaron también cuales requerimientos técnicos encontraban dificultad para su despliegue, particularidad que fue atendida mediante la utilización de los recursos heurísticos de TRIZ y la implementación de las soluciones proporcionadas por dichos recursos.

En la aplicación de la metodología TRIZ, se generó un universo de principios de solución que fueron implementados en 3 alternativas de diseño conceptual, de entre las cuales de manera metódica y objetiva se elige cuál ha sido la mejor desde una perspectiva combinada entre el cliente de diseño y el diseñador, utilizando para ello una escala de Lickert en conjunto con información generada en el análisis de la casa de la calidad.

Con la alternativa de diseño seleccionada se busca lograr la conformación de ese conjunto de principios de solución en la fase de diseño de conformación, a fin de aportar más valor al diseño, establecer especificaciones concretas para cada uno de los componentes, aportar robustez al subsistema de la función primaria y una vez hecho esto, establecer los vínculos pertinentes para con los demás subsistemas del dispositivo, a fin de que brinden soporte a dicha función. Posteriormente se generará la documentación de producción en la fase de diseño de detalle cuando se hayan afinado todos los pormenores para la alternativa seleccionada como la que mejor cumple con los requerimientos del cliente.

Capítulo 3: diseño de conformación.

3.1 Diseño de conformación

La creación de un nuevo producto que sea la solución a una necesidad presente en la sociedad, debe atravesar por un proceso de diseño cuyas etapas habrán de tener información de entrada proveniente de las actividades previas, y unas salidas que serán la información de entrada para las actividades siguientes, sucesivamente. Durante esta fase de diseño, se comienza a partir del concepto seleccionado en la fase de diseño conceptual y se determinara la estructura de un sistema técnico mediante la aplicación de los principios de solución presentes en el concepto, estos deben concretizarse a fin de establecer dimensiones, materiales adecuados a cada aplicación y uso previstos, así como otros parámetros que hagan posible el mejor desempeño de tales funciones.

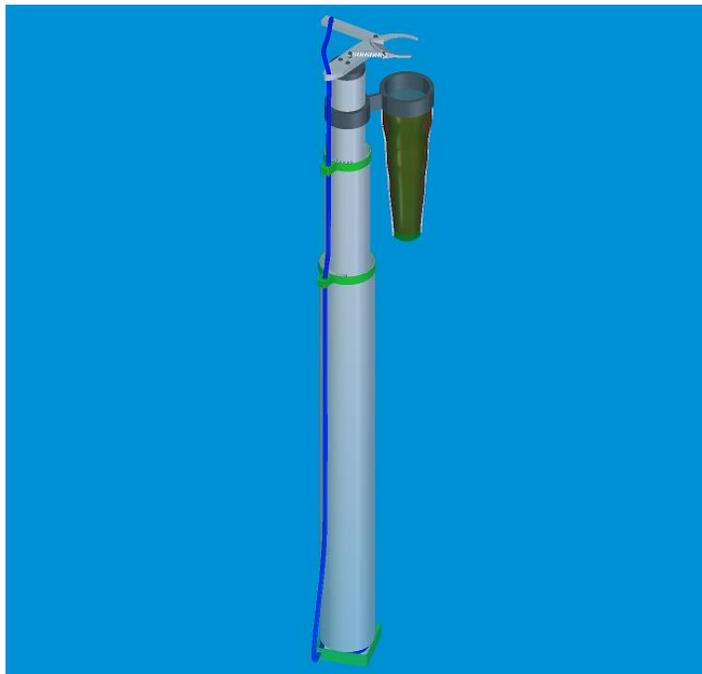


Figura 3.1: Alternativa 2 seleccionada como mejor alternativa conceptual.

Resulta pues, el diseño de conformación en la especificación de la distribución que deriva en una distribución definitiva que provee un medio para revisar las funciones, compatibilidad espacial mediante el establecimiento de parámetros técnicos, ergonómicos, los relacionados a la actividad y los relacionados a la calidad del fruto. La tabla 3.1 muestra los parámetros correspondientes a cada subsistema del concepto a conformar.

Tabla 3.1: Parámetros a considerar para cada subsistema		
Subsistema	Requerimientos técnicos involucrados	Parámetros a considerar
Corte	<ul style="list-style-type: none"> • Inocuidad del dispositivo • Resistencia al desgaste del filo • Complejidad del dispositivo • Geometría de la cuchilla 	<ul style="list-style-type: none"> • Radio y conicidad de cuchillas • Materiales y sus propiedades • Conveniencia de manufactura • Fuerzas de los resortes
Extensión	<ul style="list-style-type: none"> • Alcance de corte • Ajuste de altura del dispositivo • Reducción de movimientos al operar 	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud de extensión • Diámetros y cédulas de segmentos • Rigidez del material
Ajuste de altura	<ul style="list-style-type: none"> • Ajuste de altura del dispositivo • Alcance de corte 	<ul style="list-style-type: none"> • Espaciado entre posiciones • Profundidad para anclaje del opresor • Opresor a implementar • Características de los rieles • Longitud de cada segmento
Recolección	<ul style="list-style-type: none"> • Inocuidad del dispositivo • Reducción de movimientos al operar 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad del saco recolector • Apertura a la entrada del saco recolector
Interacción con el usuario	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño ergonómico • Construcción ligera del dispositivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Variables antropométricas • Longitud de correa a utilizar • Dimensiones de punto de contacto • Peso del dispositivo

3.1.1 Conformación del subsistema de corte.

El presente subsistema es el encargado de ejecutar la función primaria del dispositivo que es separar el fruto del árbol mediante el corte del pedúnculo. La geometría curvada de las cuchillas permite que al irse cerrando la herramienta, el pedúnculo sea menos proclive a deslizarse, de este modo es posible obtener un corte limpio y preciso. Dada la geometría de los frutos, regularmente se encuentran unidos al árbol quedando el fruto hacia abajo por efecto de la gravedad, tal condición hace conveniente que la apertura de la herramienta antes del corte permita que un limón pase libremente entre las cuchillas, de esta forma el usuario podrá posicionarla para el corte incluso cuando el pedúnculo no quede a la vista. En el capítulo 1 se mencionaron las variedades de limón que más se producen en México, siendo estas el agrio (mexicano), el persa y el italiano, con 51%, 45% y 1% del total de la producción, respectivamente. Considerando a la variedad de limón predominante en México, la NMX-FF-07-SCFI-2001 especifica los calibres de limón mexicano en función del diámetro ecuatorial del fruto una vez que estos han alcanzado el grado de madurez o punto sazón. El código de calibre 1 ha sido suprimido en dicha NMX debido a que ya no se admiten calibres inferiores a 31 (mm).

Tabla 3.2: Calibres del limón mexicano según la NMX-FF-07-SCFI-2001	
Código	Diámetro en milímetros
1	
2	31.1 – 34.0
3	34.1 – 37.0
4	37.1 – 39.0
5	<39.1

La Norma citada en líneas previas expresa que existen tres grados de calidad: Extra, primera y segunda. Pretendiendo que el dispositivo sea un medio para la preservación de la calidad, se orienta el diseño hacia los requisitos del grado extra, el cual especifica que los frutos no deben presentar defectos salvo los que no afecten su calidad, conservación y presentación una vez que sea envasado (Secretaría de Economía, 2001). Para cubrir lo anterior, el radio interno de la cuchilla debe hacer el menor contacto posible con la piel del fruto, por lo que un radio de 25 (mm) hará que de haber un contacto, este sea tangencial en un solo punto para frutos de hasta 49 (mm) de diámetro ecuatorial. Asimismo, para hacer al dispositivo compatible con el mayor número de calibres, el espacio entre las puntas de la herramienta cuando esta se encuentra abierta será de 45 (mm).

El diseño conceptual ilustra el principio de solución para la geometría de cada cuchilla en aras de cumplir con el principio TRIZ de esferoidalidad y curvado (No. 14), además de poseer las puntas curvas para prevenir que eventualmente estas produzcan rasguños en la piel de los frutos a recolectar. En tanto al material que habrá de utilizarse, el acero al carbono es una solución para la fabricación de las herramientas de corte más competitivas consideradas en la comparación del capítulo 1, además, posibilita en el presente caso la aplicación del principio TRIZ de materiales porosos y membranas (No. 31) al insertar carbono en los intersticios del material para cambiar sus propiedades mecánicas (carburizado). Es preciso señalar que el cambio de propiedades en la superficie del material está orientado a la aplicación del principio TRIZ de calidad local (No. 3), para poder cumplir con el requerimiento técnico relacionado a la resistencia al desgaste del filo, que está vinculado con el requerimiento de durabilidad por parte del cliente de diseño.

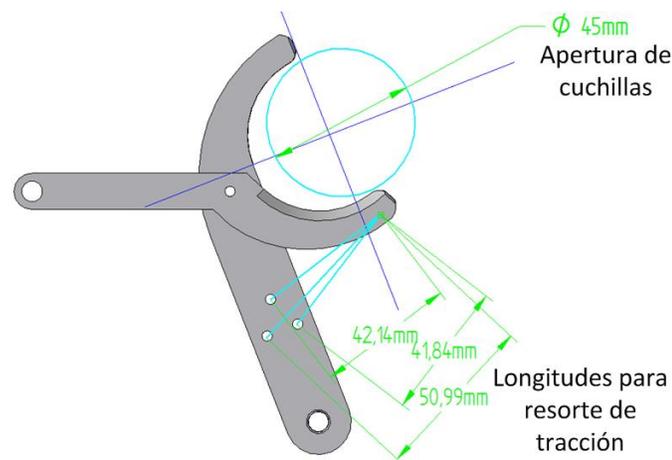


Figura 3.2: Dimensiones para apertura de cuchilla y resorte de tracción para herramienta de corte.

Para generar la arista aguda que produzca el cizallado del pedúnculo en una geometría como la planteada, es necesario prestar especial atención a las características elementales de la herramienta de corte a fin de simplificar su manufactura. Entendiendo que tales características son la geometría curva con sus dimensiones, la adición de puntas redondeadas y la implementación del material planteado; resulta entonces compatible la conformación a partir de una lámina de acero de medio carbono calibre 11 (3 mm de espesor) con aplicaciones para la fabricación de herramientas, cuchillas,

piezas de maquinaria y palas; de esta forma es posible que la herramienta tenga la rigidez necesaria y una sección transversal que permita la remoción de parte del material sin que se pierda soporte para los esfuerzos al cortar. Para la manufactura es viable partir de un segmento de lámina para ser cortado mediante láser para generar la geometría externa de cada cuchilla, y para los barrenos (con o sin rosca) considerados serían maquinados ya sea en equipo convencional o de control numérico computarizado (CNC); como proceso compatible, la abrasión se recomienda para el desbaste de material que dará lugar al filo, siendo este de 45°.

Para determinar los valores de las variables para el subsistema de corte se planteó su funcionamiento de acuerdo al siguiente diagrama donde se detallan los diferentes estados de operación.

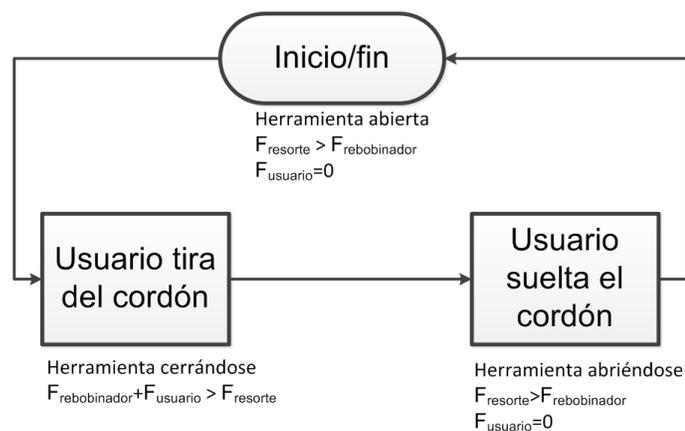


Figura 3.3: Estados de operación del subsistema de corte (diagrama).



Figura 3.4: Representación de las fuerzas en el subsistema de corte.

Es conveniente entonces que la fuerza del resorte sea mayor a la del rebobinador cumpliéndose que ninguna de las dos habrá de ser mayor a las fuerzas de los opresores como condición de estabilidad de todo el sistema, de esta forma la extensión no se retraerá y la efectividad de los subsistemas de ajuste de altura y de extensión se mantendrán acorde a lo previsto para brindar el soporte adecuado a la función primaria. El resorte de tracción de la herramienta de corte funciona como restricción mecánica

para la apertura de esta toda vez que al estar en su longitud mínima, ya no moverá a la cuchilla móvil para así quedarse en su posición de apertura completa (figura 3.2).

De acuerdo al principio TRIZ de acción previa (No 10), tanto el resorte de tracción para la herramienta de corte, como el resorte de fuerza constante para el rebobinador son seleccionados de entre los disponibles en el mercado, considerando una fuerza máxima de 5 (N) para evitar la inestabilidad en todo el dispositivo mientras está siendo utilizado. Para el rebobinador, es posible utilizar resortes de fuerza constante presentes en flexómetros y para el presente caso será empleado un resorte presente en el flexómetro de 3(m) marca Irwin modelo 1822419, con fuerza de 3.2 (N).

Teniendo como dato de entrada el valor de fuerza para el resorte de fuerza constante del rebobinador, se determina que la fuerza del resorte de tracción para la herramienta de corte habrá de superar dicha fuerza, que pueda anclarse a pernos de 1/8" y tenga una longitud mínima compatible con las dimensiones de la herramienta de corte. La información del resorte compatible con los requerimientos expuestos se detallan en la tabla 3.3 en conjunto con los del resorte de fuerza constante.

Tabla 3.3: Resortes seleccionados para la conformación del subsistema de corte				
Tipo de resorte	Fabricante	Modelo o no. parte	Cargas (N)	Material
Tracción	Lee spring	LE 031B 07	4.001 (inicial) 31.7 (máxima)	Acero inoxidable
Fuerza constante	Irwin	Resorte para flexómetro de 3 (m)	3.2 (constante)	Acero al carbón

El medio que servirá para la transmisión de movimiento que accionará la herramienta de corte habrá de ser ligero, resistente a las condiciones de intemperie y de amplia disponibilidad en el mercado. Como alternativas se tienen las siguientes opciones

Tabla 3.4: Alternativas de medios de transmisión para subsistema de corte			
Alternativa	Material	ventajas	desventajas
Cadena de eslabones pequeños	Metal, plástico	Alta resistencia mecánica	Mayor volumen al rebobinar, mayor peso
Cordón	Nylon torcido, henequen	Resistente, ligero	El henequén es aspero al tacto y se desgasta mucho con la fricción

De manera que es conveniente implementar un cordón de nylon torcido conocido también como piola, pues al ser de alta disponibilidad y fácil manejo es sencillo reemplazarla en caso de que falle. Se selecciona una piola de ¼" por su disponibilidad y comodidad para sujetarlo con las manos.

Conforme con las condiciones de operación del subsistema de corte, el medio de transmisión se encuentra sometido a carga constante por la tensión de ambos resortes, cargas cíclicas al accionar la herramienta de corte y fricción con elementos del

dispositivo, condiciones que implican desgaste en el cordón con la consecuente falla prematura del subsistema de función primaria. El análisis del modo y efecto de la falla para el diseño (D-AMEF) es una herramienta útil para anticipar los efectos que puede tener una falla en el diseño mediante la identificación de modos potenciales de falla, se evalúan los riesgos asociados a estos modos para llevar a cabo acciones correctivas sobre los problemas presentes de mayor importancia. Para tal análisis es necesario considerar como entradas los requerimientos del cliente de diseño, entorno de uso, así como actividades centradas en la confiabilidad como las pruebas basadas en física de falla de materiales; se posibilita entonces la corrección de errores en el diseño antes de su implementación y de esta forma se integra a la confiabilidad como un factor en la fase de diseño de conformación del dispositivo. (HBM Prensaia Inc.)

Tabla 3.5: Análisis de modo y efecto de la falla para subsistema de corte					
Función de subsistema	Modo potencial de falla	Efecto potencial de modo de la falla	Severidad	Causa potencial del modo de la falla	Acciones correctivas y preventivas
Separar el fruto del árbol mediante el corte de pedúnculo	El medio de transmisión se desgasta por el uso y es proclive a fallar prematuramente	La herramienta de corte ya no se puede accionar	Alta	Cargas constantes y cíclicas, fricción con vértices de otros componentes	Eliminar vértices en las zonas de contacto Evitar que el cordón de transmisión opere en ángulos agudos o rectos.

Como acciones a llevar a cabo en el presente subsistema se considera la colocación en ángulo obtuso del rebobinador respecto a la vertical del dispositivo, generar un doblaje para generar un ángulo obtuso en la cuchilla fija en la zona por donde pasará el cordón y avellanar los barrenos por donde se hará pasar en todo el dispositivo.

3.1.2 Conformación de subsistema de extensión.

El principio TRIZ acción previa (No. 10) se ha interpretado como el hecho de recurrir a soluciones que previamente se han diseñado, manufacturado e implementado en otros entornos y aplicaciones. Con base en lo anterior, los materiales cuyos parámetros favorecen la implementación de los demás principios expuestos para este subsistema en el diseño conceptual son: tubos de cloruro de polivinilo (PVC), tubos de polipropileno copolímero random (PP-R) y tubos de Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS); dichos tipos de tubo son utilizados para la conducción de fluidos tanto en la industria como para aplicaciones domésticas, caracterizándose por ser de amplia disponibilidad.

Tabla 3.6: Características de las alternativas para conformar la extensión			
Material	Densidad (g/cm³)	Fabricante	Presentación de fábrica
Tubería sanitaria métrica PVC (norma NM)	1.4	Futura Industrial S.A. de C.V.	Tubos de 6 (m)
Tubería polipropileno copolímero random PP-R	905 (kg/m ³)	Reboca S.L.	Tubos de 4 (m)
Tubería ABS	1.03	Georg Fischer	Tubos de 1 (m)

El principio TRIZ de segmentación (No. 1) y estructuras anidadas (No. 7) requiere que una medida de tubo quede dentro de otra mayor. Se ha considerado como adecuado que sean 3 los componentes tubulares que conformen la extensión, pues esto ayuda a que las combinaciones de configuración sean las menos posibles al tiempo que se mantenga efectiva la conveniencia de variar la longitud. La tabla 3.7 expone los diámetros más convenientes para dicha implementación para cada uno de las alternativas.

Material	Diámetros externos (mm)	Diámetros internos (mm)	Cédulas (mm)
Tubos PVC	40, 50 y 75	38.2, 48.2 y 73.2	1.8
Tubos PP-R	20, 32 y 50	13.2, 21.2 y 33.4	3.4, 5.4 y 8.6
Tubos ABS	25, 32 y 40	22.7, 30.1 y 37.6	2.3, 1.9 y 2.4

Para todos los casos, los materiales son resistentes a las condiciones de intemperie que implica su uso previsto: calor por radiación solar, humedad, climas gélidos e incluso impactos a los que pudiera estar expuesto en eventuales caídas y por manejo brusco.

Siendo un dispositivo de accionamiento manual, la participación del usuario es deliberada y por lo tanto el diseño debe estar lo más orientado posible hacia el usuario. Factores como las cargas y los movimientos repetitivos derivan en la fatiga del usuario siempre que se excedan las capacidades individuales debido a los esfuerzos requeridos para llevar a cabo cualquier actividad. Pahl (2007) refiere a la ergonomía como la disciplina que trata con las características, capacidades y necesidades de los humanos; en particular, las interfaces entre humanos y productos técnicos. Como recurso para el diseño de productos más adecuados al ser humano, los datos antropométricos contemplan tanto dimensiones como puntos de referencia en el cuerpo humano que varían dependiendo de la situación geográfica, raza, edad y género; deben entonces reconocerse cuáles son las necesidades puntuales relacionadas al desempeño de cada subsistema.

El principio TRIZ de reversa (No. 7) alude a la altura de los árboles citada en el capítulo 1 de entre 3 y 6 metros, entendiendo que para fines de producción una altura de más de 4 metros no resulta funcional, por lo que no está considerada en los cultivos. Además, una longitud excesiva implica que el material se flexione, con la consecuente pérdida de efectividad en la función de la extensión. Se considera entonces una altura de 3.5 metros para los árboles como dimensión de referencia para fines de recolección. Por otra parte, considerando a los usuarios potenciales, se hayan relacionadas al subsistema de extensión, las dimensiones antropométricas de diámetro de empuñadura, la altura del codo flexionado a 90° y la anchura de la mano. El compendio de dimensiones antropométricas de Ávila, Prado y González (1999) considera como trabajadores industriales a aquellos sujetos de entre 18 y 65 años, siendo hombres y mujeres.

Tabla 3.8: Datos antropométricos relacionados al subsistema de extensión (trabajadores industriales de 18 a 65 años)

Dimensión	Mujeres (mm)					Hombres (mm)				
	\bar{X}	σ	P ₅	P ₅₀	P ₉₅	\bar{X}	σ	P ₅	P ₅₀	P ₉₅
Diámetro de empuñadura	45	3.14	40	45	50	44	3.63	39	45	50
Altura al codo flexionado a 90°	969	39.52	906	969	1044	969	40.81	906	969	1046
Anchura de la mano	93	6.9	83	92	104	93	6.83	83	92	103

El alcance de corte como requerimiento técnico despliega su función al conocerse la relación entre altura objetivo (3.5 metros) y las capacidades de los usuarios. Esta última está determinada por la posición del dispositivo respecto al cuerpo del usuario, pues se pretende que la parte más baja de la extensión coincida con la altura al codo cuando el dispositivo esté siendo utilizado. Dicha relación se plantea en el siguiente modelo:

$$\text{Longitud de extensión} = \text{altura objetivo} - \text{altura del codo flexionado a 90 grados}$$

Para este caso, el percentil utilizado para la altura del codo será el de menor cota para hombres y mujeres, de esta forma se asegura que los usuarios de menor estatura puedan alcanzar la altura objetivo con el dispositivo, por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Longitud de extensión} &= 350\text{cm} - 906\text{mm} \left(\frac{1\text{cm}}{10\text{mm}} \right) \\ \text{Longitud de extensión} &= 259.4\text{cm} \approx 260\text{cm} \end{aligned}$$

Otro punto de interacción es la extensión misma. El dispositivo no contempla una carcasa adicional a la extensión, por lo que el usuario manipularía el dispositivo sosteniéndolo con las manos. La restricción ergonómica para este caso está dada por el percentil 50 del diámetro de empuñadura para hombres y mujeres, esto implica resolver con un punto intermedio la necesidad de poder manejar el dispositivo de manera cómoda para manos grandes y pequeñas. Siendo entonces el diámetro de empuñadura seleccionado de 45 (mm), los materiales que resultan más adecuados son el tubo de polipropileno copolímero random PP-R y el tubo de acrilonitrilo butadieno estireno ABS, pues de la tabla 3.4 se tiene que el diámetro externo del segmento más grande es de 50 (mm) a diferencia del tubo de cloruro de polivinilo, cuya dimensión respectiva es de 75 (mm) sin la posibilidad de hacer reducción en el diámetro debido a lo estrecho de su cédula. La confiabilidad de la extensión está dada por la rigidez del material, dado que será un componente de gran longitud respecto a su sección transversal. Dicho parámetro está determinado por el módulo de Young y el de flexión, mismos que son proporcionados por el fabricante:

Para ABS:

- Esfuerzo en el punto Yield a 23°C: 38(N/mm²) en concordancia con EN ISO 527-1
- Módulo de elasticidad E a 23°C: 1800(N/mm²) en concordancia con EN ISO 527-2

Para PP-R:

- Resistencia a la tracción en el punto Yield: 26 (MPa) en concordancia con ISO 527-2
- Módulo elástico de flexión: 815 (MPa) en concordancia con ISO 178

Efectuando las conversiones a (N/mm²) para PP-R:

$$\text{Resistencia a la tracción en punto Yield} = (26(\text{MPa})) \left(\frac{1000\text{Pa}}{1\text{Mpa}} \right) = 26,000\text{Pa}$$

$$\begin{aligned} \text{Pero Pa[=]} & \frac{N}{m^2} \\ = & \left(26,000 \left(\frac{N}{m^2} \right) \right) \left(\frac{1m^2}{1,000,000mm^2} \right) = 0.026 \left(\frac{N}{mm^2} \right) \end{aligned}$$

$$\text{Módulo elástico de flexión} = 815(\text{MPa})$$

$$= (815(\text{MPa})) \left(\frac{1000\text{Pa}}{1\text{MPa}} \right) = 815,000(\text{Pa})$$

$$= \left(815,000 \left(\frac{N}{m^2} \right) \right) \left(\frac{1m^2}{1,000,000mm^2} \right) = 0.815 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

Por lo tanto:

Tabla 3.9: Parámetros de rigidez para material de extensión		
Material	Módulo de Young (N/mm²)	Módulo de flexión (N/mm²)
Tubos ABS	38	1800
Tubos PP-R	0.026	0.815

De la tablas 3.6 y 3.9 se determina que los tubos ABS son los más adecuados para implementarse en la extensión por sus dimensiones, propiedades mecánicas y densidad; aunado a la conveniencia de procesado, pues su maquinabilidad es similar a la de materiales no ferrosos, por lo que puede se puede tornearse, fresarse, troquelarse y barrenarse con herramientas ampliamente utilizadas en los equipos de máquinas-herramientas de mayor difusión de uso en la industria. Si bien es apreciable en la vida cotidiana la rigidez, amplia disponibilidad y ligereza del tubo PVC, existe el inconveniente al final de su vida útil debido a la implicación de riesgos ambientales y para la salud cuando se incinera al reciclarlo por la presencia de cloro en su composición; la liberación de dioxinas en el proceso pueden causar cáncer, atacar el sistema inmune y afectar al sistema reproductivo (Ecología Verde , 2017).

Los puntos de contacto son otro aspecto a considerar al diseñar el dispositivo. En este caso, el principio TRIZ de neumática e hidráulica (No. 29) se implementa como complemento al diámetro de 40 (mm) una lámina de espuma de polietileno con espesor de ¼ de pulgada (6.35 mm). De las dimensiones antropométricas de la tabla 3.8 se tiene que la anchura de la mano más grande corresponde al percentil 95 para mujeres con 104 (mm), medida considerada como mínima para los puntos de contacto. La aplicación de dicho material será mediante adhesivo, permitiendo que además de evitar que la

mano se deslice por la extensión al momento de sostenerla, brinde comodidad al entrar en contacto con un material suave. Se implementará en la parte baja de la extensión destinada a ser el mango del dispositivo la mayor parte del tiempo.

3.1.3 Conformación de subsistema de recolección.

Tras efectuar el corte del pedúnculo para separar el fruto del árbol, el subsistema de recolección desarrollará su función de forma pasiva al detener la caída del fruto y almacenarlo temporalmente. Teniendo en cuenta que los movimientos repetitivos derivan tanto en fatiga como en peligro potencial de lesión para los trabajadores, se limitará la capacidad del saco recolector, esto debido a que la postura y movimientos esperados durante el uso del dispositivo implican tener los codos flexionados para orientar los brazos en posición elevada. La inclusión de pausas para estas condiciones favorece el flujo sanguíneo en movimientos musculares estáticos, además de hacer variar las actividades y movimientos con el fin de mitigar el tedio implícito en la actividad.

En la NMX-FF-07-SCFI-2001 se ha considerado la cantidad de frutos por kilogramo en función de los códigos de tamaño mencionados líneas arriba, estos se presentan a continuación:

Tabla 3.10: Relación de unidades de producto por kilogramo y el código de tamaño según la NMX-FF-07-SCFI-2001.		
Código	Intervalo (mm)	Unidades de producto por kilogramo
1*		
2	31.1 – 34.0	41 – 36
3	34.1 – 37.0	35 – 30
4	37.1 – 39.0	29 – 24
5	39.1 en adelante	Menos de 24

Fundamentado en que como característica principal, el dispositivo será un objeto significativamente largo, la capacidad del saco recolector será de 1 kilogramo, resultando un máximo de 41 movimientos de corte de pedúnculo antes de efectuar una pausa para vaciar el saco recolector en otro recipiente más grande colocado en el suelo.

En la fase de diseño conceptual se planteó la entrada al saco recolector como una geometría de cilindro circular recto, el cual puede no ser efectivo durante la recolección de los frutos más altos del árbol. De acuerdo a la tabla 3.10, la mayor cantidad de calibres de limón quedan por debajo de los 40 (mm) por lo que se toma esa medida como referencia de tamaño. Es conveniente dejar un margen que permita el libre paso de los frutos de la entrada hacia el saco, de manera que un diámetro a la entrada de 55 milímetros es considerado como adecuado. Dicha geometría fue establecida por ser conveniente para posibilitar el desplazamiento del dispositivo entre las ramas y hojas del árbol cuando se tiene un follaje espeso en los árboles, así como para fines de visibilidad del área de corte. Se aplica entonces el AMEF para resolver el inconveniente expuesto.

Tabla 3.11: Análisis de modo y efecto de la falla para subsistema de recolección					
Función de subsistema	Modo potencial de falla	Efecto potencial de modo de la falla	Severidad	Causa potencial del modo de la falla	Acciones correctivas y preventivas
Recolectar los frutos tras separarlos del árbol	Dimensiones reducidas a la entrada del saco recolector Disposición inconveniente de los frutos (apuntando los lados y hacia arriba) Escasa precisión de movimientos en alturas	Los frutos caen y se impactan contra el suelo, generando merma	alta	Geometría con desempeño pobre a la entrada del saco recolector	Amplificar la entrada al saco mediante un cono de material suave que guíe los frutos hacia el interior.

Atendiendo el resultado del análisis efectuado en la tabla 3.11, un material flexible que sea resistente a las condiciones de intemperie previstas y que además sea durable, es el caucho neopreno, mismo que se ha considerado en un espesor de 1/8 de pulgada para la conformación de la entrada al saco recolector. En la práctica el dispositivo no funcionará de manera totalmente vertical, sino que en todo momento existirá una inclinación al momento de efectuar el corte. Con base en lo dicho, es conveniente que la ampliación de la entrada al saco sea suficiente y que la altura del cono sea pequeña para evitar que este sea muy intrusivo e impida una visibilidad adecuada del área de trabajo. Se establece entonces un cono que amplifique la entrada hasta los 113 milímetros, resultando un ángulo de conicidad de 34°.

También, es útil considerar qué tan alejado debe quedar la entrada del subsistema de recolección respecto del área de corte, entendiendo que la visibilidad se ve afectada si quedan muy cerca. El ángulo que genera el cono a la entrada del saco permite inclinaciones del dispositivo de 45° que es útil cuando se quieren alcanzar frutos que queden muy distantes. Tomando en cuenta que pueden existir ramas entre la zona de corte y la entrada, 10 centímetros resultan funcionales para evitar que el fruto se desvíe y caiga al suelo. Para unir el subsistema de recolección con el sistema, se implementará un anillo de nylamid tipo M (color hueso) de una pulgada de espesor, dado que es adecuado por su resistencia mecánica, dureza, rigidez y por su inocuidad, pues es un material aprobado para entrar en contacto con alimentos. Gracias a la estabilidad dimensional de este material, es posible maquinarlo considerando tolerancias cerradas y unirlo al subsistema de extensión mediante adhesivo.

En lo que concierne al saco recolector, se ha establecido su capacidad máxima en 1 kilogramo. El diseño conceptual ha considerado unas bandas textiles elásticas a los costados del saco para retraerlo cuando no tenga frutos en su interior, esto permite que mientras el saco se encuentre vacío, este no ocupe tanto espacio y por ende, la visibilidad sea óptima. Como material de conformación se considera la malla plástica de nylon, dicho material se ha implementado por muchos años en la confección de bolsas de bajo costo para transportar frutas y legumbres de consumo cotidiano, por lo que de manera cualitativa queda demostrada su conveniencia de aplicación para este subsistema, pues cumple con ser translúcida y flexible de acuerdo con los principios de TRIZ retroinformación (No. 23) y cambio de parámetros y propiedades (No. 35). Como dimensiones del saco recolector se consideró inicialmente una entrada circular de 50 (mm) de diámetro, mientras que las dimensiones para el largo quedan determinadas en función de los diámetros ecuatoriales del fruto.

El fondo del saco tendrá el ancho suficiente para alojar hasta 3 frutos del diámetro de referencia, en tanto que el largo queda definido por el número de frutos que conforman un kilogramo de producto, siendo este de 24 para el diámetro de 40 (mm), de modo que, si al fondo del saco se alojan 3, las 24 piezas encuentran el espacio para ser almacenadas temporalmente en 24 centímetros si estos quedan colocados una fila justo encima de otra. Por otro lado, se tiene que a la entrada del saco recolector existe una reducción en la sección transversal del saco, por lo que una longitud de 30 centímetros proporciona el espacio adecuado de almacenamiento.

3.1.4 Conformación de subsistema de ajuste de altura.

En la etapa de diseño conceptual se planteó el uso de opresores con balín debido a que su mecanismo facilita la implementación del principio TRIZ de intermediario (No. 24). En el mercado existe una amplia variedad de opresores en los que varía el tamaño, material y tipo de opresor. La fuerza del opresor está especificada en Newtons y de acuerdo al fabricante, es conocida tanto con el balín hacia afuera (presión al inicio de la carrera) como una vez recorrido hacia adentro con el resorte comprimido (presión final al final de la carrera).

Tabla 3.12: Alternativas de opresores a implementar en subsistema de ajuste de altura								
Opresor	Características			Presiones (N)		Balín		
	peso (g)	longitud (pulg - mm)	rosca	inicial	final	diámetro (mm)	carrera (mm)	material
TE-CO B-5H	10	37/64" - 14.684	5/16-18	6	17	0.156"	0.040"	Acero inox.
TE-CO 83-052-922	20	63/64" - 25.003	5/8"-11	7	50	0.375"	0.096"	Acero inox.
TE-CO B-6H	10	5/8" - 15.875	3/8"-16	6	21	0.187"	0.048"	Acero inox.

En el uso previsto del dispositivo se tiene que llegará un momento en el que el subsistema recolector estará lleno, esto añade peso al del dispositivo completo. En esas condiciones los opresores deben soportar todo el peso conjunto para que la extensión

no se retraiga y pierda funcionalidad. Además, se ha establecido que la longitud máxima del dispositivo será de 260 centímetros, dicha longitud puede derivar en riesgos para el usuario al mantener elevada una carga por mucho tiempo debido a que a nivel fisiológico, en los movimientos musculares estáticos el flujo sanguíneo es estrangulado y se retarda la recuperación del músculo, por lo tanto, las cargas grandes solo pueden ser sostenidas por periodos cortos de tiempo (Pahl, Beitz, Feldhusen, & Grote, 2007).

El peso combinado máximo de acuerdo al uso previsto será sostenido muy poco tiempo, pues tan pronto se llene el saco recolector, este deberá ser vaciado en un contenedor tanto para evitar lesiones al usuario, como para evitar dañar el dispositivo debido al momento que genera el peso de los frutos a través de la extensión. Acorde con lo anterior, la capacidad máxima del recolector en peso se estableció en 1 kilogramo. Teniendo en cuenta además el peso del dispositivo mismo, este se estima que sea de 3 kilogramos considerando todos sus componentes, por lo que el peso combinado será de 4 kilogramos. Dicha cifra queda comprendida dentro de los límites de carga máxima establecidos en la Norma Técnica NT-CNEM-001 del Colegio Nacional de Ergonomía en México, en la que 20 (kg) quedan especificados como cantidad máxima de carga por personas (Colegio Nacional de Ergonomía en México A.C., 2009)

$$\begin{aligned} \text{Fuerza en Newtons} &= 4kg \left(\frac{9.8066N}{1kg} \right) \\ &= 39.2266 (N) \end{aligned}$$

El diseño conceptual considera un arreglo de 2 opresores, por lo que al quedar el peso repartido en dos puntos de apoyo, el opresor que mejor se adapta a las necesidades del dispositivo es el TE-CO B-6H. En cuanto al material del balín, el acero inoxidable representa una ventaja dadas sus propiedades de dureza y resistencia mecánica, lo que prolonga la vida útil del mecanismo y por ende, su confiabilidad al permanecer constante su capacidad para rodar sin dificultad.

Por otro lado, la fuerza que una persona puede ejercer debe resultar compatible con las condiciones del dispositivo cuando se encuentra en uso. En ese respecto, la National Aeronautics and Space Administration creó la NASA-STD-3000 en donde define los requerimientos genéricos para instalaciones espaciales y equipo relacionado que está en contacto directo con la tripulación en exploraciones espaciales. Los resultados de las fuerzas presentadas en seguida fueron estudiadas en un entorno de 1.0G, es decir, a nivel superficial terrestre (National Aeronautics and Space Administration, 1995).

Figure 4.9.3-4 Arm, Hand, and Thumb/Finger Strength (5th Percentile Male Data)

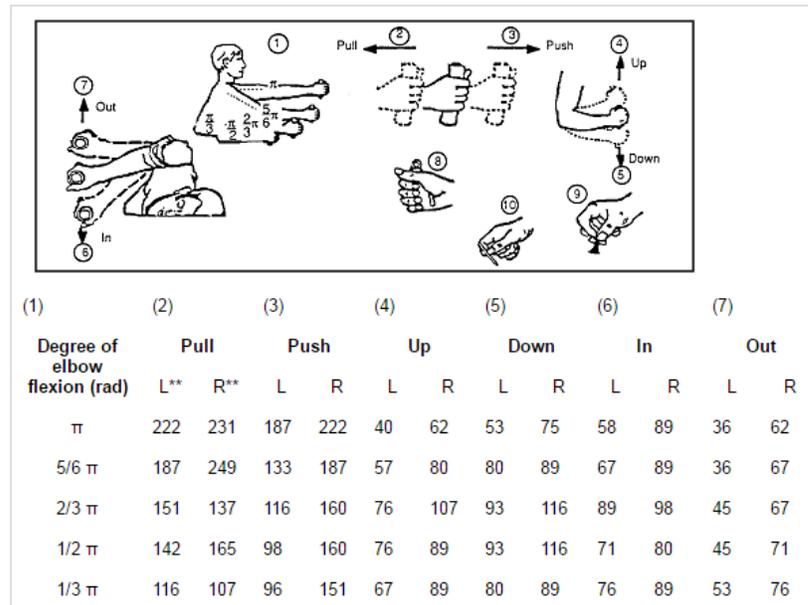


Figura 3.5: Fuerzas en Newtons que ejercen brazos, mano y dedo pulgar en diferentes condiciones (diagrama). Recuperado de <https://msis.jsc.nasa.gov>

De los datos presentes en la figura 3.5 se tiene que con el brazo extendido, un hombre adulto puede ejercer 222 y 231 Newtons para jalar con los brazos izquierdo y derecho, respectivamente; mientras que al empujar lo efectúa ejerciendo 187 y 222 Newtons. Estas condiciones de movimiento son las que mejor se aproximan a los movimientos esperados para el ajuste de la altura, cabe decir que resultan compatibles para la operación pues pueden efectuarse aún con un holgado margen.

En la conformación de un producto se dice que el usuario debe encontrar intuitivo su uso, es decir, requiere que se piense lo menos posible para operarlo y que además, las operaciones para configurarlo y utilizarlo no deben ser ajenas u opuestas a otras operaciones que el usuario previamente ya ha aprendido (Pahl, Beitz, Feldhusen, & Grote, 2007). La solución de un arreglo de opresores con balín que trabaje de manera conjunta con un patrón de barrenos distribuidos a lo largo de la extensión, requiere que dicha distribución sea adecuada para un cambio de configuración sin mucho esfuerzo. La secuencia de pasos para efectuar dicha configuración comienza con el usuario en posición de pie sosteniendo la extensión con ambas manos, cada una en un segmento distinto. A continuación, con una de las manos el usuario desliza hacia afuera el segmento más estrecho desde una posición hasta la que desee dependiendo de la altura que pretenda alcanzar y en caso necesario, el usuario repetirá la operación.

Conocida la rutina para cambiar la configuración de la extensión, es preciso consultar los datos antropométricos que resulten compatibles con los movimientos descritos. En aras de ofrecer una operación que implique el menor esfuerzo posible, se evitará que entre una posición de barrenos y otra, el usuario realice un esfuerzo excesivo al extender el brazo hacia arriba, por lo cual es conveniente considerar el punto inicial del movimiento (altura al hombro) y el punto final (alcance máximo vertical).

Tabla 3.13: Datos antropométricos relacionados al subsistema de ajuste de altura (trabajadores industriales de 18 a 65 años)

Dimensión	Mujeres (mm)					Hombres (mm)				
	\bar{x}	σ	P ₅	P ₅₀	P ₉₅	\bar{x}	σ	P ₅	P ₅₀	P ₉₅
Altura al hombro	1291	49.17	1209	1290	1380	1380	58.49	1281	1377	1477
Alcance máximo vertical	1896	76.78	1761	1899	2026	2042	113.5	1900	2043	2200

Se plantea entonces, la distancia del movimiento mediante la siguiente expresión:

$$\text{Recorrido mov. de ajuste} = \text{alcance máx. vertical} - \text{altura al hombro}$$

Considerando las variaciones en las alturas y alcances de los usuarios potenciales, los percentiles son útiles para determinar cuál será la distancia de recorrido tanto la más larga como la más corta, de esta forma es posible definir cuál distancia de recorrido es la más conveniente para implementar. Teniendo en cuenta que para una persona de estatura pequeña, la distancia de recorrido será sensiblemente menor que para otra persona de mayor estatura, es más conveniente diseñar para la distancia más corta. A lo largo de esa distancia se consideran 3 posiciones: la inicial, una central y una final, de esta forma todos los usuarios comprendidos en el rango de los datos antropométricos consultados podrán efectuar el cambio de ajuste de altura con el menor esfuerzo posible. Adicionalmente, se colocarán barrenos al inicio y al final del recorrido de cada segmento que son convenientes para maximizar el alcance así como para mantener al dispositivo totalmente retraído para su transporte y almacenamiento.

Entonces, partiendo del percentil 50 con las cotas más bajas en la tabla 3.13 (mujeres de entre 18 a 65 años):

$$\text{Recorrido mov. de ajuste} = 1899\text{mm} - 1290\text{mm}$$

$$\text{Recorrido mov. de ajuste} = 609\text{mm} \left(\frac{1\text{cm}}{10\text{mm}} \right)$$

$$\text{Recorrido mov. de ajuste} = 60.9\text{cm} \approx 60\text{cm}$$

Por lo tanto,

$$\text{Espaciado entre posiciones} = \frac{60\text{ cm}}{3}$$

$$\text{Espaciado entre posiciones} = 20\text{ cm}$$

Durante la fase de diseño conceptual, se planteó la posibilidad de que los rieles donde se sitúan los barrenos de posición quedaran conformados dentro de los segmentos de la extensión que albergaran al segmento inferior, tal solución resulta conveniente como diseño, sin embargo al ser segmentos muy largos resulta complicado implementar la manufactura de dicha solución en las paredes internas de los tubos ABS.

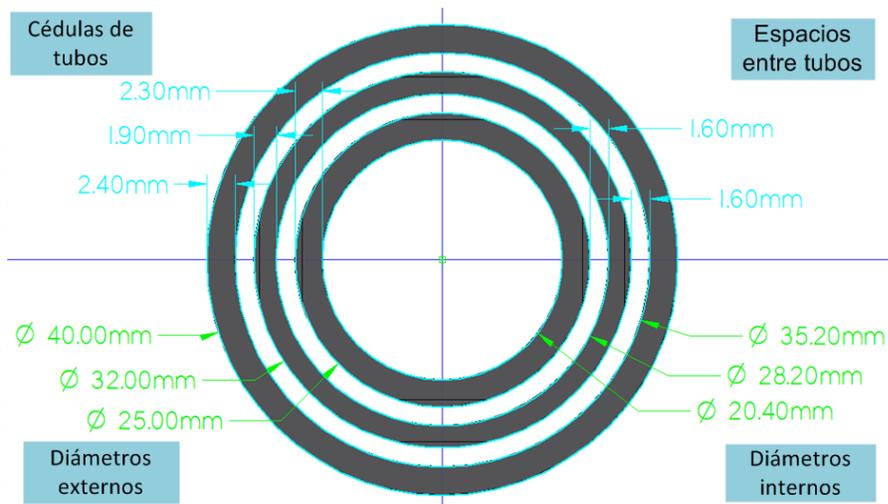


Figura 3.6: Dimensiones de los tubos ABS.

Ante lo estrecho del espacio entre tubos, es viable que los opresores puedan situarse de forma externa de modo que los barrenos queden en los segmentos internos, simplificándose sustancialmente la manufactura al no tener que añadir más material. La geometría de cilindro circular recto supone desventajas que derivan en la falla de la función que desempeña la extensión, pues los segmentos internos pueden girarse dentro de los segmentos más grandes ocasionando un funcionamiento no deseado; además, el espacio entre tubos puede producir un movimiento de inclinación inesperado cuando la extensión se encuentre desplegada. Se aplica entonces el análisis del modo y efecto de la falla para corregir las situaciones planteadas.

Tabla 3.14: Análisis de modo y efecto de la falla para subsistema de ajuste de altura					
Función de subsistema	Modo potencial de falla	Efecto potencial de modo de la falla	Severidad	Causa potencial del modo de la falla	Acciones correctivas y preventivas
Llevar la herramienta de corte hasta el punto deseado en alturas sin que el usuario se mueva de su posición (el suelo)	Los segmentos internos pueden girarse dentro de los segmentos externos debido a su geometría.	Se desvía la posición de la herramienta de corte de forma inesperada	Media	Geometría de los segmentos de la extensión.	Generar restricciones mecánicas que guíen a los segmentos internos para que no se giren.
	Existe juego entre los segmentos de la extensión cuando se encuentran anidados.	La extensión es inestable al desplegarse y puede colapsar	Alta	Falta de superficie de contacto para soporte	Acercar las superficies de los segmentos uno al otro mediante aporte de material en el punto de contacto.

Puede considerarse aplicar el principio TRIZ de reversa (No. 13) respecto de la solución planteada en el diseño conceptual para generar un riel en la superficie externa de los segmentos internos, sin embargo, las cédulas de dichos elementos son de 2.3 (mm) para el tubo de 25 (mm) de diámetro, y de 1.9 mm para el de 32 (mm) de diámetro, mismas que resultan muy estrechas para poder remover material y generar el riel, pues

al realizarse, existe la inconveniencia de reducir la sección transversal del tubo y generar concentradores de esfuerzos.

Ambos problemas analizados tienen origen en el mismo lugar (el espacio existente entre los tubos, de 1.6 milímetros), hecho que lleva a implementar una misma restricción mecánica que resuelva los 2 problemas. Por el lado de la geometría redonda de los segmentos, basta con remover sólo una parte del material de la superficie para generar un plano cada 90° en la sección transversal, por lo que se generan 4 planos para emular una geometría cuadrada. Para evitar la remoción excesiva de material, dichos planos se generarán quitando cerca del 20% de la cédula del tubo.

Tabla 3.15: Profundidades de corte y secciones planas para tubos ABS anidados				
Diámetro externo de tubo (mm)	Cédula del tubo (mm)	Profundidad del corte	Ancho del plano generado (mm)	
25	2.3	2.3mm/4~0.6	7.6	
32	1.9	1.9mm/4~0.5	7.9	

Al incrementarse en dichas secciones el espacio entre tubos, se compensará la remoción de material con tiras guía de sección transversal rectangular y 3 pulgadas de longitud. Conociendo que el punto crítico donde los dos problemas aparecen es el extremo superior de cada tubo externo, la restricción mecánica consiste entonces en un anillo montado en dicho punto, cuyo diámetro interno aloje las tiras guía que compensan la falta de material que además de suprimir el juego existente, mantengan orientado al segmento inferior para que no se gire. En el extremo inferior de los segmentos internos estará acoplado un anillo tope de 2 pulgadas de alto definido por el diámetro interno del segmento exterior, de manera que tal restricción mecánica permita tener apoyo en ese extremo y también sirva como tope para evitar que se salga de la extensión. Adicionalmente, el anillo porta opresores estará ligado al subsistema de corte haciendo pasar a través de un barreno en este, el cordón de transmisión para accionar la herramienta de corte, por lo que las dimensiones del diámetro externo del anillo habrán de ser suficientes para albergar también un barreno de ¼ de pulgada por donde pasará el cordón.

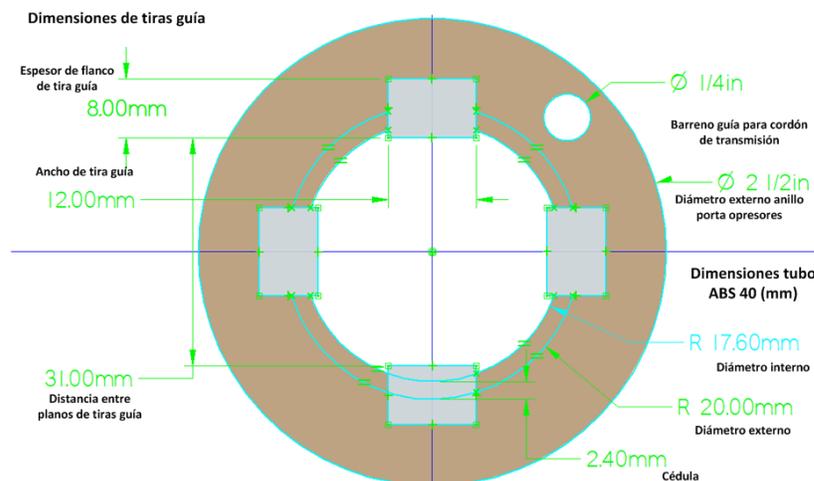


Figura 3.7: Dimensiones de corte transversal para el anillo porta opresores (tubo 40mm) y tiras guía.

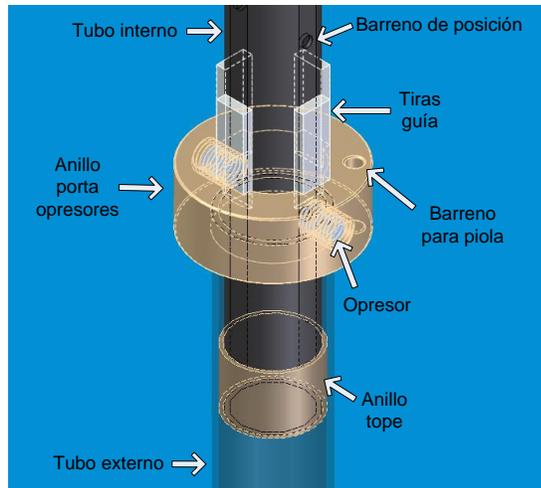


Figura 3.8: Distribución de restricciones mecánicas del subsistema de ajuste de altura.

Los barrenos de los segmentos internos tendrán lugar en uno de los pares de planos generados, mismos que serán dispuestos acorde al cálculo previamente efectuado, además de que serán barrenos cilíndricos completos a guisa de eliminar un poco de peso en los segmentos, simplificar la manufactura y evitar generar vértices que concentren esfuerzos. Las longitudes de cada segmento quedan definidas por la presentación en la que se comercializan los tubos de ABS y por la longitud objetivo del subsistema de extensión, siendo de 1 metro y 2.6 metros, respectivamente. El segmento de 40 milímetros de diámetro externo conservará la longitud original debido a que este anidará a los otros dos, mismos que para cumplir su función sacrifican longitud debido a la longitud anidada en la posición de extensión máxima.

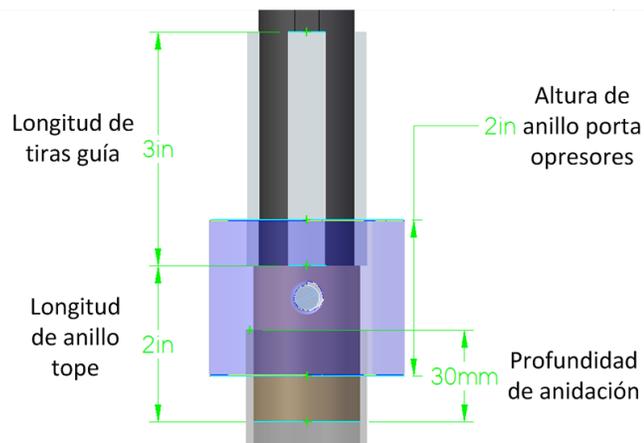


Figura 3.9: Distribución de dimensiones de componentes para subsistema de ajuste de altura.

El anillo porta opresores contiene en su interior una cavidad para el acoplamiento del tubo externo y para las tiras guía cuya profundidad es de 15 (mm) para cada caso. Tales dimensiones aplican para los dos porta opresores, por lo que las longitudes de las superficies de contacto son las mismas para cada caso; de esta forma se consiguen 5 pulgadas de soporte longitudinal distribuidas en estática (tiras guía, 3(in)) y móvil (anillo tope, 2(in)) lo que brinda estabilidad a la extensión sin importar el ajuste de longitud que tenga. Al no existir otros componentes que resten longitud efectiva a los segmentos de la

extensión, la longitud restante de la misma para ambas es de 160 centímetros, resultando en una longitud efectiva de 80 centímetros para cada segmento con 3 (cm) de longitud anidada. Al redondear, cada segmento queda con una longitud total conveniente de 85 (cm).

3.1.5 Conformación de subsistema de interacción con el usuario.

La participación deliberada del usuario para el adecuado despliegue de las funciones del dispositivo, requiere de una operación intuitiva, cómoda y que implique el menor esfuerzo posible por parte del usuario. En la conformación de los demás subsistemas se han relacionado las características de los materiales empleados con datos antropométricos como restricción a fin de plantear las soluciones más convenientes para el usuario y el desarrollo de la actividad de manera conjunta con el fin de posibilitar el incremento de la productividad mientras se mantiene o mejora la calidad de los frutos recolectados.

Manipular una carga de 1 kilogramo como lo es el saco recolector lleno, no representa complicaciones mayores en condiciones normales, sin embargo en el presente caso, la extensión actúa como un brazo de palanca cuya reacción tiene lugar en las extremidades superiores del usuario, derivando en fatiga y pérdida de productividad. Conforme a lo propuesto en la fase de diseño conceptual, la implementación de los principios TRIZ de contrapeso (No. 8) y descartando y recuperando (No. 34) se consigue transfiriendo el peso del dispositivo con el saco a su máxima capacidad, al tronco del usuario, de esta forma se consigue liberar a los brazos parte de la carga estática mientras estos se encuentran en posición elevada para sostener, orientar y accionar el dispositivo. La correa a implementar deberá ser compatible en todo el rango de dimensiones antropométricas de los usuarios que se espera van a utilizar el dispositivo. La tabla 3.16 muestra los datos antropométricos considerados para esta conformación.

Tabla 3.16: Datos antropométricos relacionados al subsistema de interacción con el usuario (trabajadores industriales de 18 a 65 años)

Dimensión	Mujeres (mm)					Hombres (mm)				
	\bar{x}	σ	P ₅	P ₅₀	P ₉₅	\bar{x}	σ	P ₅	P ₅₀	P ₉₅
Ancho del cuello	110	3.5	97	109	123	110	7.94	97	109	122
Diám. Máx. bideltoideo	443	40.42	389	435	521	478	41.17	422	472	544
Diám. transversal tórax	314	31.31	268	310	374	342	34.12	293	338	398
Profundidad tórax	267	31.64	224	263	328	238	28.32	169	235	287
Altura al codo flexionado	969	39.52	906	969	1044	969	40.81	906	969	1046
Altura al hombro	1291	49.17	1209	1290	1380	1380	58.49	1281	1377	1477

Se pretende que para dicha correa, uno de los extremos se encuentre anclado en un punto intermedio del segmento más grande de la extensión; a lo largo del recorrido, entrará en contacto con el usuario rodeando uno de los hombros y la espalda alta del usuario para descender hasta el lado opuesto de la cintura respecto al hombro de apoyo. Finalmente el extremo se encontrará anclado en un punto de la base del dispositivo. Aludiendo al principio TRIZ de acción previa (No. 10) se tiene que en el mercado existen

soluciones adecuadas que son compatibles con el despliegue del principio de neumática e hidráulica (No. 29) para los puntos de contacto con el usuario y que por su conformación también hacen posible que los principios citados en líneas anteriores sean posibles de implementar en el dispositivo. Se presentan entonces las alternativas que mejor se adecuan a la conformación del dispositivo.

Alternativa 1: Cinturón de reemplazo desmontable para bolsos de hombro marca Qishare



Figura 3.10: Correa desmontable para bolso marca Qishare. Recuperado de www.amazon.es

Datos:

Longitudes: mín: 83cm, máx: 133cm

Anclaje y ajuste: ganchos giratorios metálicos y hebilla metálica

Ancho de correa: 3.8 cm

Área acojinada: deslizable, 6.5 cm de ancho y 21 cm de largo

Precio: 6.99€

Alternativa 2: Correa de hombro acolchada ajustable con ganchos marca Pixnor



Figura 3.11: Correa de hombro acolchada ajustable con ganchos marca Pixnor. Recuperado de www.amazon.es

Datos:

Longitudes: Mín: 65cm, máx: 150cm

Anclaje y ajuste: ganchos giratorios metálicos y hebilla metálica ¼ pulgada

Ancho de correa: 3.8cm

Área acojinada: fija, de 6 cm de ancho y 20 cm de largo

Precio: 7.99€

Para ambos casos se dispone de un grado de ajuste como se estableció en la fase de diseño conceptual. También, el principio de neumática e hidráulica se cumple mediante el área acojinada de contacto que copia con una espuma la superficie del usuario,

distribuyendo el peso en un área mayor para mayor comodidad. Los ganchos para anclar son adecuados toda vez que estos son metálicos, además, poseen un mecanismo giratorio para evitar que la correa se tuerza y se haga más estrecha, concentrando la presión de la carga en un área menor. En tanto al área acojinada, es preciso analizar los datos antropométricos para conocer cuál es la más adecuada, por lo que es necesario conocer las dimensiones del hombro para los usuarios potenciales. El uso de la correa está previsto que sea cruzado para maximizar el área de contacto con el usuario, de esta forma el área acojinada quedará más cerca del cuello que de la parte externa del hombro; se dispone entonces del ancho del cuello y del diámetro máximo bideltoideo como variables antropométricas.

$$\text{Ancho del hombro} = \text{diam. máx. bideltoideo} - \text{anchura de cuello}$$

Para determinar la dimensión planteada se determinarán tanto la dimensión de hombro más grande como la más pequeña de acuerdo a las cotas de los percentiles correspondientes a los trabajadores industriales (hombres y mujeres de 18 a 65 años), en el caso del ancho del cuello, los percentiles son muy próximos para ambos géneros, mientras que para el diámetro máximo bideltoideo las cotas son sensiblemente mayores para el caso de los hombres.

Anchura mínima (percentil 5 para mujeres).

$$\begin{aligned} \text{Ancho del hombro} &= 389(\text{mm}) - 97(\text{mm}) \\ &= 292(\text{mm}) \end{aligned}$$

Anchura máxima (percentil 95 combinado).

$$\begin{aligned} \text{Ancho del hombro} &= 544(\text{mm}) - 123(\text{mm}) \\ &= 421(\text{mm}) \end{aligned}$$

Para determinar la longitud de la correa requerida es útil considerar al tronco del cuerpo humano como si se tratase de un prisma rectangular en el que la altura estará definida por la diferencia entre la altura al hombro y la altura al codo flexionado, la anchura por el diámetro transversal del tórax, y profundidad por la profundidad del tórax (figura 3.12).

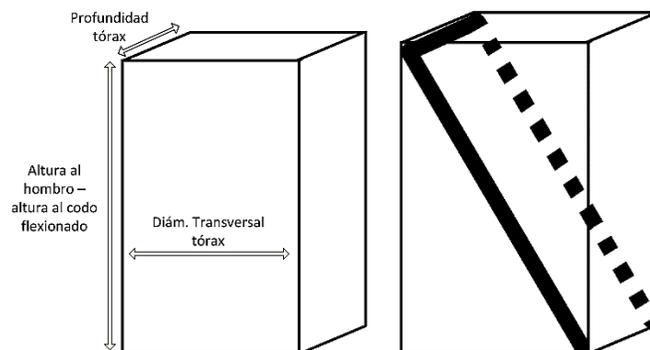


Figura 3.12: Aproximación de las dimensiones del tronco humano y trayectoria de la correa (línea gruesa).

De forma similar al caso anterior, se determinan las dimensiones mínima y máxima.

Longitud mínima (percentil 5 para mujeres):

$$\begin{aligned} \text{Alto} &= \text{Altura al hombro} - \text{altura al codo flexionado} \\ &= 1209(\text{mm}) - 906(\text{mm}) \\ &= 303(\text{mm}) \end{aligned}$$

$$\text{Ancho} = \text{Diám. transversal tórax} = 268(\text{mm})$$

$$\text{Profundidad} = \text{Profundidad tórax} = 224(\text{mm})$$

Línea diagonal mediante el teorema de Pitágoras

$$\begin{aligned} \text{Diagonal}^2 &= \text{alto}^2 + \text{ancho}^2 \\ &= 303^2(\text{mm}) + 268^2(\text{mm}) \\ &= 91809(\text{mm})^2 + 71824(\text{mm})^2 \\ \text{Diagonal}^2 &= 163633(\text{mm})^2 \\ \text{Diagonal} &= 404.51\text{mm} \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Longitud total} &= 2(\text{Diagonal}) + \text{profundidad} \\ &= 2(404.51(\text{mm})) + 224(\text{mm}) \\ &= 1033.02(\text{mm}) \left(\frac{1\text{cm}}{10\text{mm}} \right) = 103.3\text{cm} \end{aligned}$$

Longitud máxima (percentil 95 combinado):

$$\begin{aligned} \text{Alto} &= \text{Altura al hombro} - \text{altura al codo flexionado} \\ &= (1477\text{mm}) - (1046\text{mm}) \\ &= 431(\text{mm}) \end{aligned}$$

$$\text{Ancho} = \text{Diám. transversal tórax} = 398(\text{mm})$$

$$\text{Profundidad} = \text{Profundidad tórax} = 328(\text{mm})$$

Línea diagonal mediante el teorema de Pitágoras

$$\begin{aligned} \text{Diagonal}^2 &= \text{alto}^2 + \text{ancho}^2 \\ &= 431^2(\text{mm}) + 398^2(\text{mm}) \\ &= 185761(\text{mm})^2 + 158404(\text{mm})^2 \\ \text{Diagonal}^2 &= 344165(\text{mm})^2 \\ \text{Diagonal} &= 586.65\text{mm} \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Longitud total} &= 2(\text{Diagonal}) + \text{profundidad} \\ &= 2(586.65(\text{mm})) + 328(\text{mm}) \\ &= (1501.3\text{mm}) \left(\frac{1\text{cm}}{10\text{mm}} \right) = 150.13\text{cm} \end{aligned}$$

De los cálculos anteriores, se define a la alternativa 2 como la más adecuada, debido a que el ajuste de su longitud es compatible con las longitudes máxima y mínima. En cuanto a la superficie de contacto, las dimensiones son muy próximas entre las dos alternativas, los 6 centímetros de ancho del área acojinada pueden situarse sin problema sobre un hombro de la anchura mínima determinada (29.2cm), así como los 20 centímetros cubren casi en su totalidad la profundidad torácica de una persona de talla pequeña (22.4 cm) y para el caso de un usuario de mayores dimensiones, se cubre en dos terceras partes (32.8cm). Se tiene además que el punto de contacto acojinado es fijo, lo cual representa una ventaja al evitar deslizamientos durante su uso.

La compatibilidad hacia la diversidad de usuarios también considera a personas diestras y zurdas, esta se consigue con la colocación de los anclajes para la correa. En la parte inferior del dispositivo se colocará una argolla para anclar uno de los extremos de la correa, mientras que el otro extremo quedará anclado a 80 centímetros de la base mediante una segunda argolla. Esto tomando en cuenta que la diagonal máxima calculada es de 58.6 (cm) y que debe existir una holgura que habrá de ser compensada por el usuario según su complexión mediante el grado de ajuste de la correa. Para posibilitar que el dispositivo pueda ser utilizado accionando la herramienta de corte con la mano izquierda o derecha, la segunda argolla estará implementada por un anillo de nylamid acanalado en donde se situará una argolla alambroón de acero de $\frac{1}{4}$ ", este tendrá un diámetro significativamente mayor al diámetro interno del canal, pero inferior al diámetro del anillo de nylamid, de tal suerte que exista una holgura que permita el anclaje de la correa y que el gancho se desplace angularmente hacia la izquierda o la derecha según se requiera. La argolla de alambroón de acero será implementado mediante un segmento de alambroón de 20 (cm) de largo.

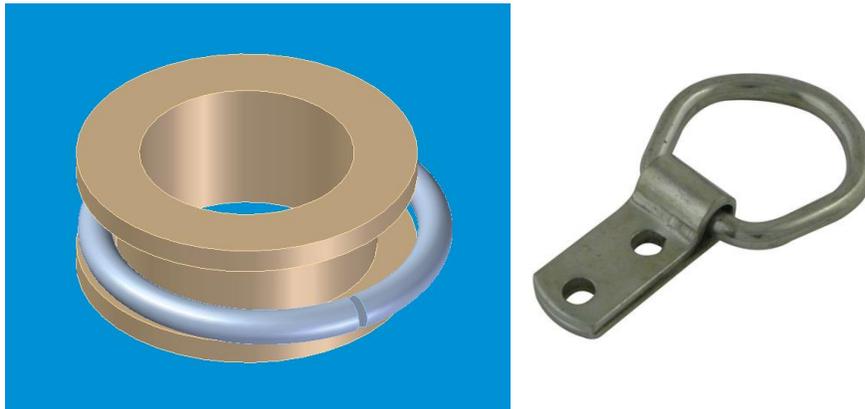


Figura 3.13: Subensamble de anclaje móvil para correa (izquierda) y argolla fija para parte inferior del dispositivo (derecha).

Nota final sobre el capítulo 3

En la fase de diseño de conformación para el diseño del prototipo se especificó la distribución de los principios de solución determinados en el diseño conceptual que cubren tanto los requerimientos del cliente como los requerimientos de diseño con base en los requisitos a cumplir establecidos en el capítulo 2. Por lo tanto, se ha involucrado a la calidad como factor de diseño en el presente proyecto mediante el despliegue de las funciones de calidad requeridas. En materia de confiabilidad, su aplicación está enfocada a la prevención de fallas en el desempeño de funciones a fin de evitar la presencia de fallos bajo las condiciones de trabajo especificadas.

Acorde con lo dicho, la función primaria del dispositivo está cubierta por el subsistema de corte que es accionado de forma manual. Además, se consolidó el cumplimiento de dicha función mediante el análisis de modo y efecto de la falla para el diseño (D-AMEF) aplicado a dicho subsistema y en el despliegue de las funciones secundarias llevadas a cabo por los subsistemas de extensión, ajuste de altura, recolección e interacción con el

usuario, mismos que fueron conformados considerando restricciones tanto de materiales como ergonómicas, con el objetivo de brindar la robustez necesaria para cumplir con dichas funciones al tiempo de adaptar el diseño al conjunto esperado de usuarios potenciales, de manera que la actividad de recolección se espera sea lo más amigable posible con el trabajador, llevada a cabo con menores contratiempos empleando las menores cantidades de tiempo y esfuerzo posibles para el incremento de la productividad, y manteniendo e incrementando la calidad en los frutos recolectados.

La ergonomía se ha incorporado como factor al diseño al tratarse de un dispositivo accionado de forma deliberada por el usuario. Para los casos donde fue necesario, se utilizaron como restricción las variables antropométricas relacionadas al desempeño de cada subsistema a fin de concebir un diseño de prototipo que se adapte al usuario, esperando facilitar el desempeño de la actividad de recolección y evitar patologías derivadas de movimientos y esfuerzos repetitivos al accionar un alicate. Al cambiar la forma de accionar la herramienta de corte, se pasa de hacerlo con movimientos musculares de alto nivel de fuerza fina, a una combinación de fuerza fina con mayor empleo de movimientos musculares de bajo nivel de fuerza gruesa; de esta forma se previenen trastornos como el síndrome de túnel carpiano que pueden llegar a ser deudores de tratamiento quirúrgico. La validación de la distribución definitiva para el diseño del prototipo se ha efectuado durante la fase de conformación considerando la conveniencia de manufactura, integración y adaptación de las soluciones generadas en el diseño conceptual, la resistencia requerida para el uso previsto, el entorno de funcionamiento, la viabilidad de implementación de partes disponibles en el mercado y los efectos de algunos materiales al final de su vida útil para contener el efecto negativo de impacto ambiental.

Como entradas para la fase de diseño de detalle, se han determinado en la fase de conformación los materiales, geometrías, y dimensiones de componentes a utilizar en la conformación del dispositivo. Tales entradas serán especificadas en detalle en la siguiente fase de diseño para dar origen a la documentación de especificaciones en forma de planos donde de manera minuciosa para cada componente, e instrucciones de ensamble para conformar cada uno de los subsistemas y la integración de estos que dan forma al diseño final del prototipo del dispositivo de recolección.

Capítulo 4: Diseño de detalle.

4.1 Detallado de distribución definitiva

Una vez declarada la distribución tanto de componentes como de subsistemas, el diseño de detalle, “es la parte del proceso de diseño que completa la conformación de un producto técnico con las instrucciones finales sobre las formas, dimensiones, propiedades de las superficies de todos los componentes individuales y la selección definitiva de materiales.” (Pahl, Beitz, Feldhusen, & Grote, 2007). La integración de los subsistemas es también especificada en la fase de diseño de detalle considerando la secuencia y métodos de ensamble del sistema de manera que se asegure el adecuado desempeño tanto de cada subsistema como de cada componente que lo integra, pues en palabras de Semyon (2000), el comportamiento y propiedades del sistema entero no pueden ser reducidos por los comportamientos de los subsistemas trabajando por separado; la fase del diseño de detalle resulta pues en la especificación de información en forma de documentación de producción.

4.1.1 Detallado de subsistema de corte.

La cuchilla fija desempeña 2 funciones, por la función primaria complementa la operación de corte con la cuchilla móvil, además de conservar la posición de la herramienta de corte en el sistema completo.



Figura 4.1: Cuchilla móvil

Esta queda unida al dispositivo mediante una base de nylamid tipo M al tubo ABS de 25 (mm) de diámetro, la sujeción mecánica consiste en 3 tornillos de cabeza plana M3X0.5 de 14 (mm) de longitud que une la cuchilla a la base, y de la base al tubo de 25 (mm) la sujeción se logra mediante 2 barrenos con rosca M3X0.5 en la parte inferior del vástago para posibilitar el anclaje al tubo ABS y del anillo de sujeción para el subsistema de recolección.

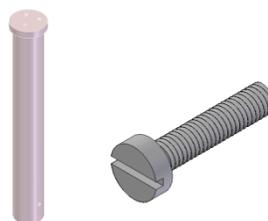


Figura 4.2: Base de nylamid para cuchilla fija y tornillo M3X0.5 cabeza plana

La cuchilla móvil se desplaza angularmente en torno a un perno que la une a la cuchilla fija, mismo que tiene un extremo con rosca M4X0.7 para enroscar una contratuerca hexagonal que limitará el desplazamiento vertical de las cuchillas y las mantendrá en su posición para poder efectuar el corte; ambas cuchillas serán de acero de medio carbono bajo la denominación AISI 1030 con un rango porcentual de entre 0.28 a 0.34 de contenido de carbono, 0.6 a 0.9 de manganeso, 0.030 de fósforo, 0.035 de azufre y 0.35 de silicio calibre 11 (3.0mm).

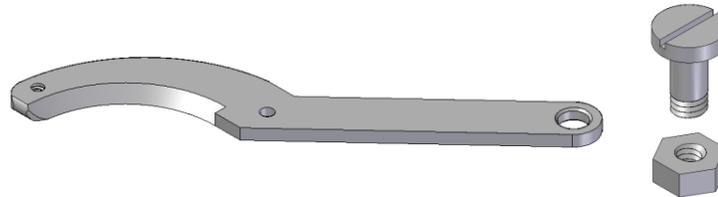


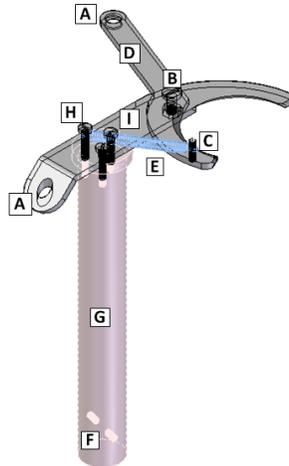
Figura 4.3: cuchilla móvil y perno con contratuerca hexagonal M4X0.7 para la herramienta de corte

Para posibilitar que la cuchilla móvil regrese a la posición de abierto, un resorte de tracción fijado por los extremos está implementado; uno de los extremos se encuentra anclado a la cuchilla fija en uno de los tornillos de sujeción mientras que el otro está en un espárrago allen M3X0.5 dispuesto cerca de la punta de la cuchilla móvil.



Figura 4.4: resorte de tracción LE 031B 07

Tabla 4.1: Características de resorte de tracción para herramienta de corte												
No. parte	Ø exterior		Ø alambre		Carga máxima	Tensión inicial	Longitud sin carga		Constante		Longitud máxima	
LE 031B 07	0.188"	4.78 (mm)	0.031"	0.79 (mm)	31.7 (N)	4.001 (N)	2"	50.8 (mm)	6.6 (Lb/in)	0.11 (kg/mm)	2.93"	74.4 (mm)



- A.- Barreno para cordón
- B.- Perno con contratuerca
- C.- Espárrago allen M3X0.5
- D.- Cuchilla Móvil
- E.- Resorte de tracción
- F.- Barrenos de anclaje a tubo ABS 25 (mm) y a anillo de sujeción
- G.- Base para herramienta de corte
- H.- Tornillos M3X0.5
- I.- Cuchilla fija

Figura 4.5: Ensamble de la herramienta de corte.

El medio flexible para la transmisión de fuerza que accionará a la herramienta de corte será una piola de ¼" de diámetro y 2.7 (m) de longitud, atada a la cuchilla móvil en el barreno situado en la palanca, pasará a través del barreno de la cuchilla fija y los presentes en los anillos de ajuste de altura hasta llegar al rebobinador donde se atará al carrete del rebobinador.



Figura 4.6: cordón de nylon torcido de 1/4"

El rebobinador como se ha hecho mención en la fase de conformación, será el extraído del flexómetro citado, implementado para posibilitar el rebobinado de la piola en cualquier condición de longitud de la extensión y cuyas características se presentan en la tabla 4.n.

Tabla 4.2: Características del resorte de fuerza constante.							
No. parte	Fabricante	Ø para barril	Ø externo	Longitud	Ancho	Calibre	Ø ojillo
Resorte de flexómetro Irwin 1822419	Irwin	20 (mm)	40 (mm)	3 (m)	10 (mm)	0.40 (mm)	5 (mm)



Figura 4.7: Representación gráfica del resorte de fuerza constante extraído del flexómetro Irwin 1822419.

El diámetro interno del resorte de fuerza constante cuando se encuentra en tensión inicial es de 20 (mm) y puede quedar contenido en un diámetro de 40 (mm), mientras que al estar en tensión máxima, su diámetro interno ronda los 6mm y 22 (mm) para el diámetro externo. Tales dimensiones resultan adecuadas toda vez que se puede encapsular el mecanismo rebobinador en un cuerpo compacto. Por otra parte, el carrete que contendrá enrollada la piola de transmisión definirá las dimensiones externas del rebobinador, considerando el calibre de la piola y las vueltas necesarias para albergar la cantidad correspondiente a la longitud de ajuste. Considerando que se han establecido las longitudes de los segmentos de la extensión, se efectúa el cálculo de la longitud de ajuste. La longitud inicial de 1303 (mm) se ha determinado tras ensamblar en el software CAD las piezas que componen a la extensión y al subsistema de ajuste de altura.

Datos

Long. inicial del dispositivo = 1303 (mm)

Restricciones

Prof. de anidación = 3 (cm)

Segmento 1 = 100(cm); Segmento 2 y 3 = 85 (cm) cada uno

Por lo tanto,

Long. final = 270(cm) – 6(cm) = 264(cm)

Long. de ajuste de altura = 1303(mm) – 2640(mm) = 1337(mm)

En aras de contener las dimensiones externas del rebobinador, se plantea que el cordón quede embobinado en una sola capa, mientras que el ancho del carrete se establece en 1.75 pulgadas, esto posibilita un embobinado de 6 vueltas una a un lado de la otra como si de un resorte helicoidal se tratase. El diámetro del carrete se define teniendo en cuenta un margen de embobinado, quedando en 1400 (mm).

Long. de diseño = 1400(mm)

Distribuyendo la longitud en 6 vueltas:

$$\frac{1400(mm)}{6} = 233.33(mm)$$

Definiendo el diámetro

$$233.33(mm) = (\pi)(D)$$

$$\frac{233.33(mm)}{\pi} = D$$

$$D = 74.27(mm)$$

Restando el radio de la piola de ¼" (6.35mm)

$$74.27(mm) - \frac{6.35(mm)}{2} = 71.095(mm)$$

Redondeando

diámetro de carrete = 71 (mm)

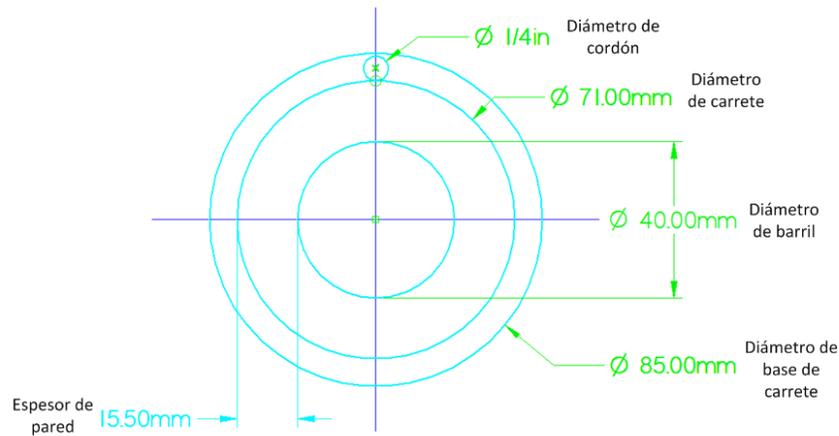


Figura 4.8: Dimensiones transversales de carrete rebobinador.

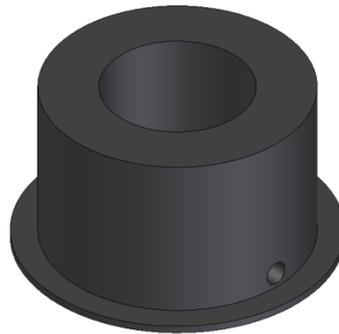


Figura 4.9: Carrete rebobinador

Para que el cordón no quede en ángulo recto, el carrete rebobinador tendrá una inclinación de 10° respecto a la horizontal mediante una base asimétrica que incorpora el pivote donde se ancla el muelle de fuerza constante y posiciona al carrete, permitiéndole el giro para rebobinar el cordón.

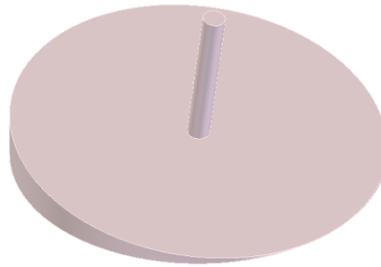


Figura 4.10: Base circular asimétrica para el carrete rebobinador.

El subensamble del rebobinador queda contenido en una carcasa cilíndrica, que va atornillada a una tapa para conectarse al segmento inferior de la extensión. Esta carcasa también contiene un barreno por donde la piola sale del rebobinador hasta llegar a la herramienta de corte. La base circular y la carcasa quedan adheridas mediante ácido fórmico al 85%.

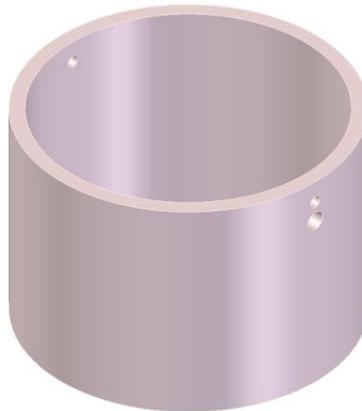


Figura 4.11: Carcasa del rebobinador de cordón para la herramienta de corte.

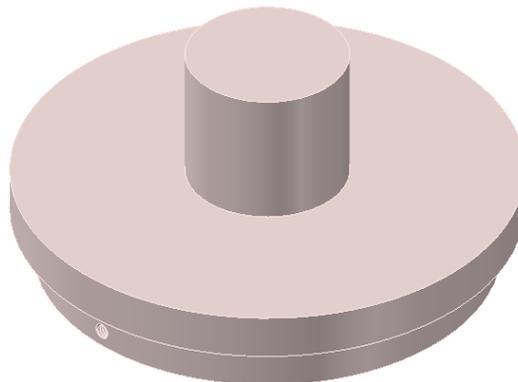


Figura 4.12: Tapa de rebobinador con vástago para anclar a tubo ABS de 40(mm).

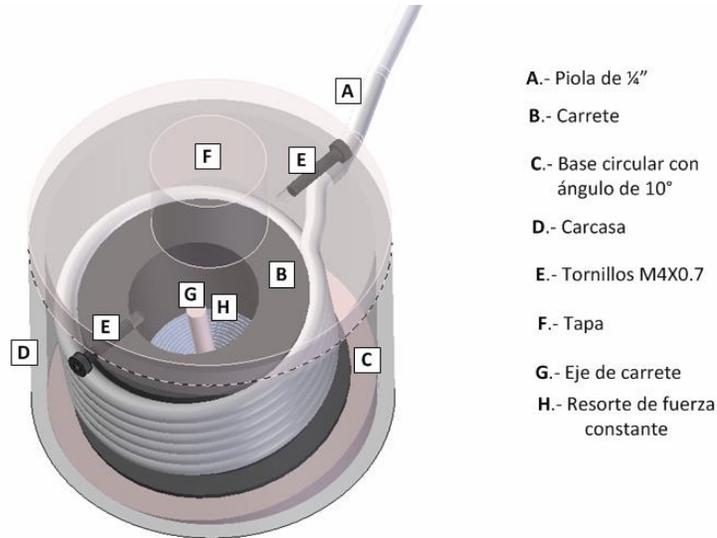


Figura 4.13: Subensamblado de mecanismo rebobinador con cordón embobinado.

4.1.2 Detallado de subsistema de extensión

Al ser retráctil, los segmentos de la extensión deben albergarse uno dentro de otro. El tubo ABS de 40 (mm) de diámetro conserva su forma de fábrica al no requerir modificación para el desempeño de sus funciones.



Figura 4.14: Tubo de ABS 40 (mm) de diámetro y 1 (m) de largo.

Como parte de la interacción con el usuario, el tubo de 40 (mm) considera empuñaduras de espuma de polietileno con ¼" de espesor para los puntos donde el usuario sujetará con las manos el dispositivo en favor de proporcionar comodidad durante el uso. El primer segmento tendrá como longitud el dato antropométrico de la anchura de la mano con el percentil 95 para mujeres, siendo este de 104 (mm) y se situará en la parte más baja del tubo. Una segunda empuñadura de longitud 20 (cm) estará ubicada a 10 (cm) del extremo superior.

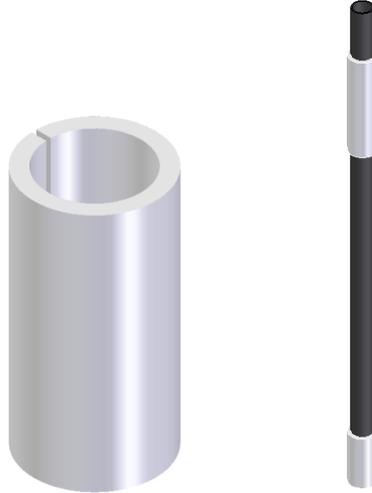


Figura 4.15: Mango de espuma de polietileno y distribución de empuñaduras en tubo ABS de 40 (mm).

Los dos segmentos restantes desarrollan la función de aproximar la herramienta de corte hacia el punto donde se desea, consiguiéndose mediante la remoción de material la emulación de una geometría cuadrada a manera de restricción mecánica para que puedan deslizarse longitudinalmente sin girarse. Para ambos casos, la longitud es de 85 (cm).



Figura 4.16: Tubo de ABS 32 (mm) de diámetro y 85 (cm) de largo.

Como medio de interacción con el subsistema de ajuste de altura, los barrenos planteados en la fase de conformación están implementados en un par de los planos generados en los tubos, considerando el espaciado de 20 (cm) a lo largo de la extensión y un barreno al final de la carrera de cada segmento que delimita la extensión máxima con el fin de alcanzar la altura objetivo establecida en 3.5 (m). Cada barreno puede generarse con una broca de 3/16" (4.762mm), toda vez que resulta compatible con el diámetro del balín (4.75 mm).

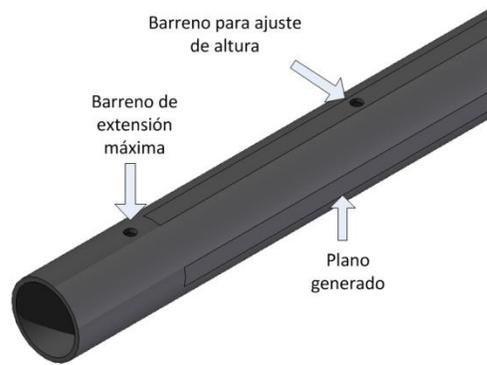


Figura 4.17: Restricciones mecánicas implementadas en tubos ABS de 32 y 25 (mm) de diámetro.

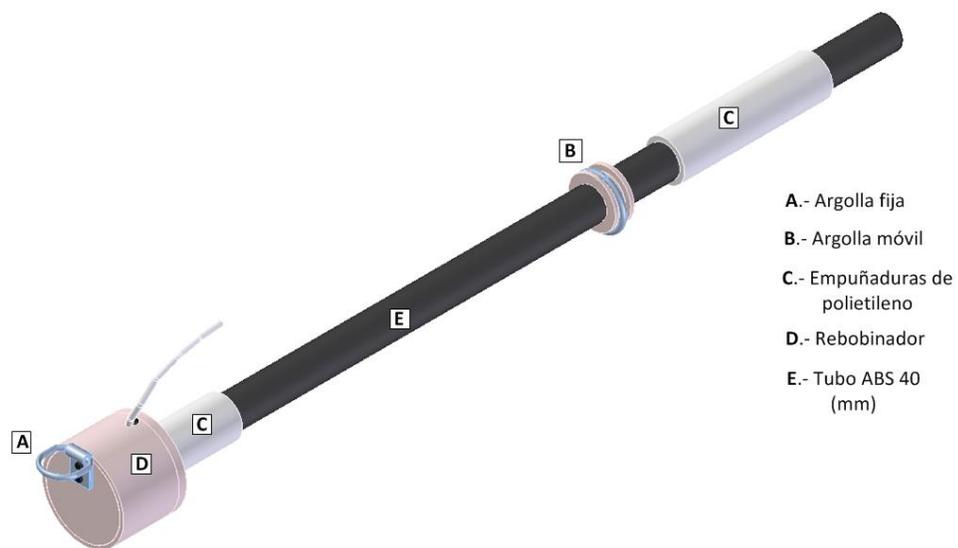


Figura 4.18: Ensamble del subsistema de extensión.

4.1.3 Detallado de subsistema de recolección

Tras efectuar el corte de acuerdo a la figura 2.13, el fruto es retenido por el saco recolector de 1 (kg) de capacidad planteado en la etapa de recolección. Las bandas elásticas a los costados ayudan a contraer el saco para mejorar la visibilidad cuando éste tiene pocos frutos.

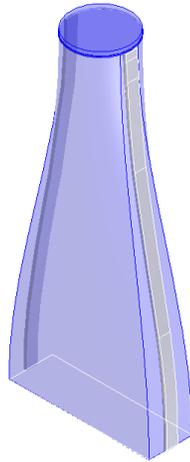


Figura 4.19: Saco recolector con bandas elásticas de 1(Kg) de capacidad.

Este estará unido a un anillo doble, donde uno está anclado al tubo ABS de 25 (mm) y a la vez estará unido mediante tornillos M3X0.5 a los barrenos roscados inferiores de la base para la cuchilla fija. De esta forma, los subsistemas de corte, extensión y recolección quedan ensamblados para desarrollar sus funciones.

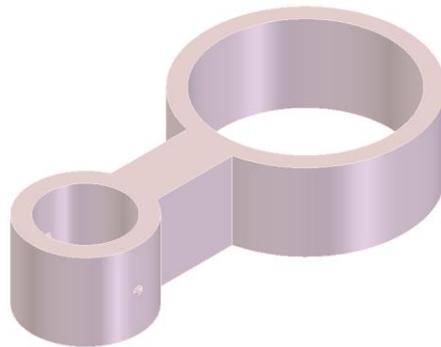


Figura 4.20: Anillo doble de succión para el subsistema de recolección.

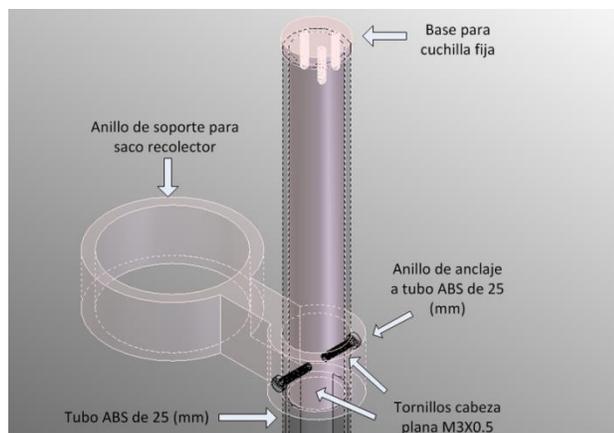


Figura 4.21: Distribución de componentes para subsistema de recolección.

Derivado de la solución generada por AMEF, el cono receptor de frutos queda situado en el extremo superior del anillo para guiar a los frutos a la entrada del saco, con material, geometría y dimensiones planteadas en la fase de conformación.



Figura 4.22: Cono receptor de frutos.

De manera que integrando los componentes del subsistema de recolección al subsistema de corte y extensión, se obtiene el siguiente ensamble:

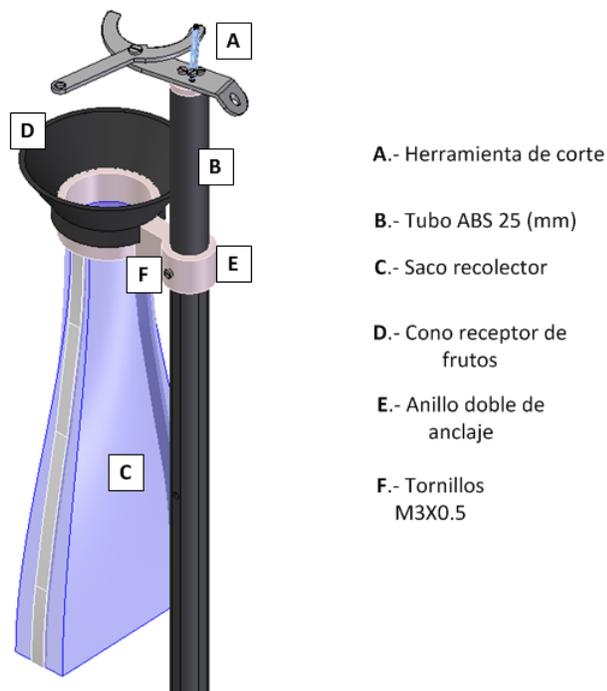


Figura 4.23: Integración en ensamble de los subsistemas de recolección, corte y extensión.

4.1.4 Detallado de subsistema de ajuste de altura

En la especificación de la distribución de principios de solución, el anillo porta opresores desempeña en esencia 2 funciones de restricción mecánica. En favor de posibilitar una manufactura más simple se plantean 2 anillos, uno por restricción.

Posibilitando el deslizamiento longitudinal para los segmentos internos de la extensión, un anillo porta tiras guía desempeña dicha función. El diámetro interno permite el deslizamiento del segmento interior, mientras que los cortes cada 90° de la circunferencia alojan a las tiras guía; cabe mencionar que dichos cortes pueden lograrse mediante brochado como método de manufactura.

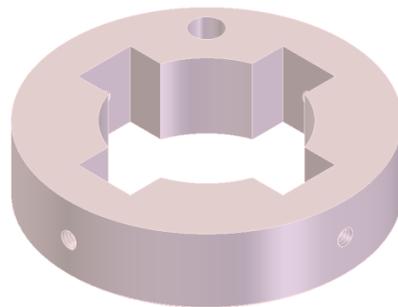


Figura 4.24: Anillo porta tiras guía

Las tiras guía mantienen orientado al segmento interno de la extensión, siendo de la misma medida en todos los casos. En la parte inferior tienen un barreno roscado diseñado para alojar un tornillo allen de cabeza reducida M4X0.7 y largo de 12 (mm) que unirá cada tira a su anillo correspondiente. Se sugiere la aplicación de fijador de roscas para incrementar la estabilidad del ensamble tanto en los tornillos allen como en los opresores.

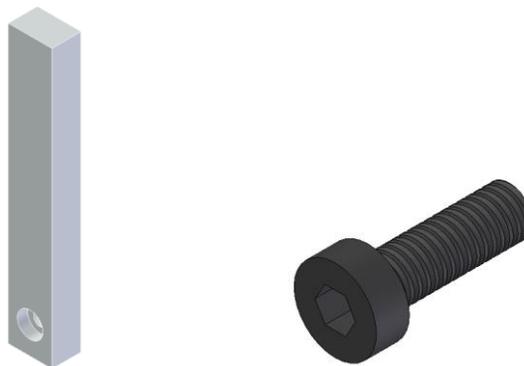


Figura 4.25: Tira guía con barreno y tornillo allen M4X0.7 de 12 (mm) de largo.

Por otro lado, la restricción para el ajuste de altura está conformada por el anillo porta opresores, mismo que aloja tanto a los opresores y que va montado en el extremo del segmento externo, considerando entonces una cavidad para dicho tubo en la parte inferior.

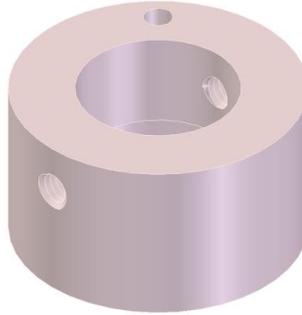


Figura 4.26: Anillo porta opresores.

Ambos anillos se proponen manufacturar en Nylamid y se sugiere adherirlos mediante ácido fórmico al 85% previa consulta de la hoja de seguridad para su adecuado uso; procurando que tanto el diámetro externo y el barreno para la piola coincidan. El opresor a utilizar será el mismo para los 2 anillos porta opresores, con cuerda 3/8"-16 UNC.



Figura 4.27: Opresor con balín de acero inox. marca TE-CO modelo B 6H.

De manera que el subensamble de ajuste de altura queda ensamblado de la siguiente forma:

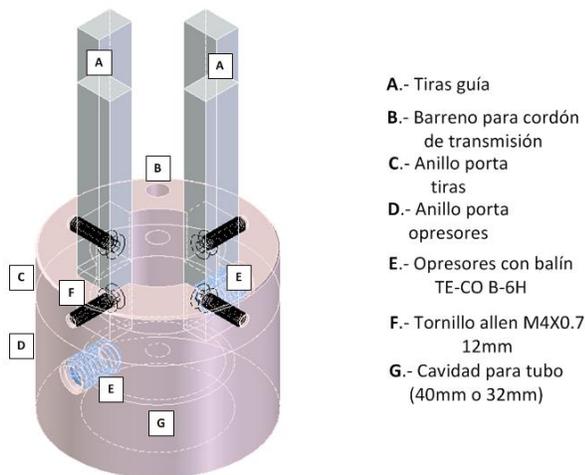


Figura 4.28: Ensamble del subsistema de ajuste de altura.

En la parte inferior de los tubos ABS de 32 y 25 (mm), estará adherido un anillo tope que evitará la salida del segmento interno cuando este alcance su máximo alcance. La posición de los barrenos y su dimensión permiten que los opresores establezcan la extensión al desplegarse totalmente.



Figura 4.29: Anillo tope para tubos ABS de 85 (cm) de largo.

4.1.5 Detallado de subsistema de interacción con el usuario

Para anclar la correa seleccionada en la fase de conformación, la posición más conveniente para el anillo de anclaje móvil es justo en la mitad del tubo ABS de 40 (mm) a fin de garantizar la compatibilidad en todo el rango previsto de tallas de usuarios.



Figura 4.30: Anillo de anclaje móvil y argolla de acero 1/4" para anclaje.

El otro extremo de la correa estará anclado en la parte inferior del rebobinador de cordón mediante un par de tornillos M4X0.7 a la base circular en la zona donde la sección transversal sea mayor para garantizar una óptima sujeción al sistema.

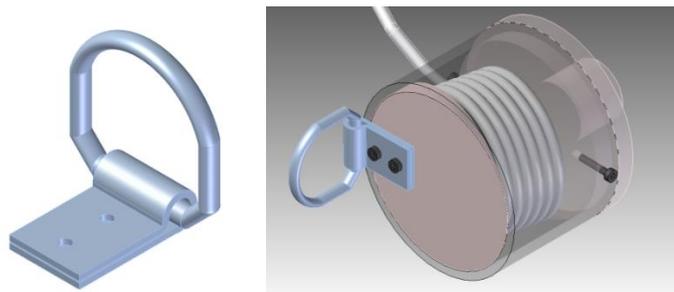


Figura 4.31: Argolla fija y anclaje a rebobinador del subsistema de corte.

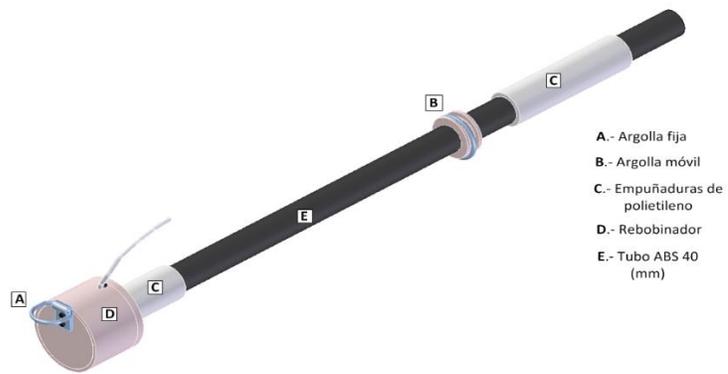


Figura 4.32: Ensamble de subsistema de interacción con el usuario.



Figura 4.33: Correa acolchada marca pixnor de 65 a 150 cm de longitud.

Conclusiones

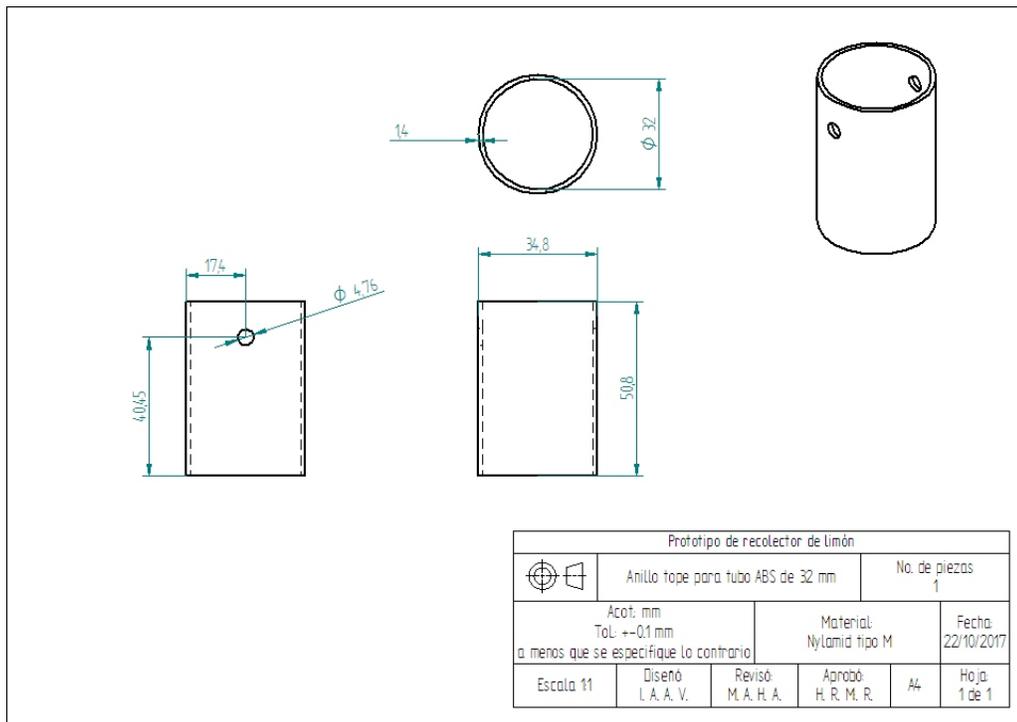
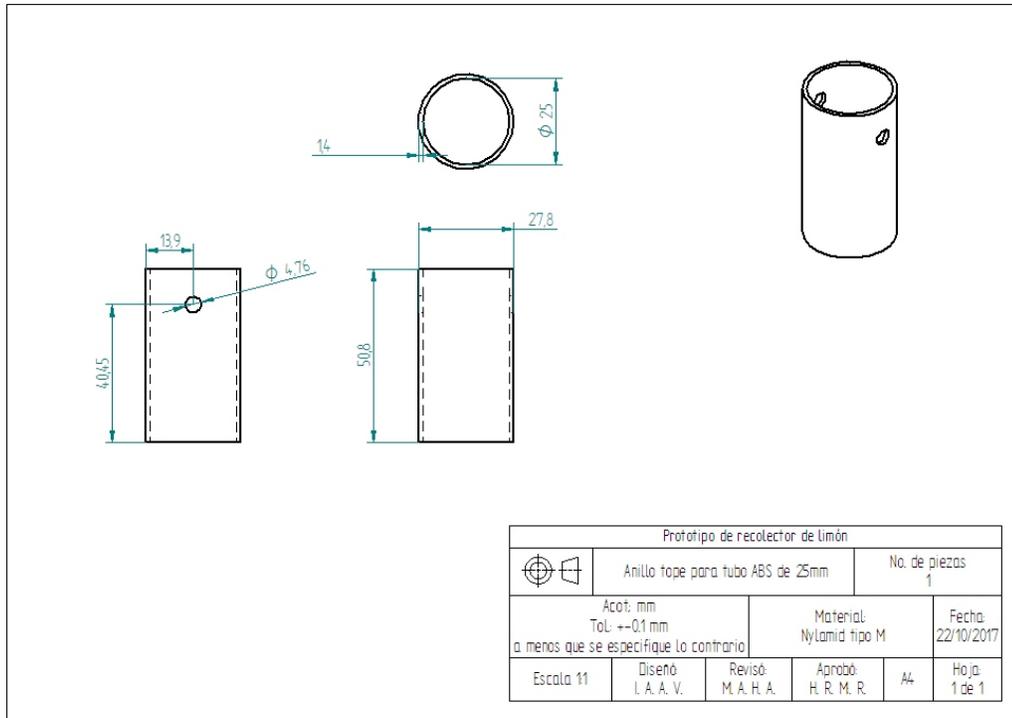
- Dadas las características finales, el presente diseño está considerado para proporcionar como resultado esperado el grado de calidad “primera” según la NMX-FF-07-SCFI-2001; para la orientación de resultados en el grado de calidad “extra” de dicha NMX, se recomienda efectuar el rediseño que posibilite los grados de libertad necesarios que efectúen el cambio de ángulo de la herramienta de corte.
- Los conocimientos y la formación del ingeniero industrial son compatibles con las necesidades para el diseño de nuevos productos y servicios. Es aplicable el enfoque orientado a procesos donde de manera holística son detectados las áreas de oportunidad; atender estas de forma puntual en cada subproceso y verificar su alcance en la interacción con los demás subprocesos, así como su impacto en el producto final.
- Es conveniente que para la aplicación de la metodología TRIZ, los resultados de la matriz de Altshuller se planteen de manera general en la fase de diseño conceptual y se interpreten de manera particular al caso de estudio en la fase de diseño de conformación. Esto posibilita la libertad de generar alternativas en la conformación y seleccionar la más adecuada en la solución de problemas inventivos.
- La reducción del tiempo en el desarrollo de nuevos productos se consigue siempre que se siga una metodología sistemática y secuenciada de forma precisa, esto permite la detección y corrección de errores en el diseño que impliquen labores de rediseño en futuras etapas. El análisis del modo y efecto de la falla es una herramienta adecuada para mitigar los efectos de dichos errores.

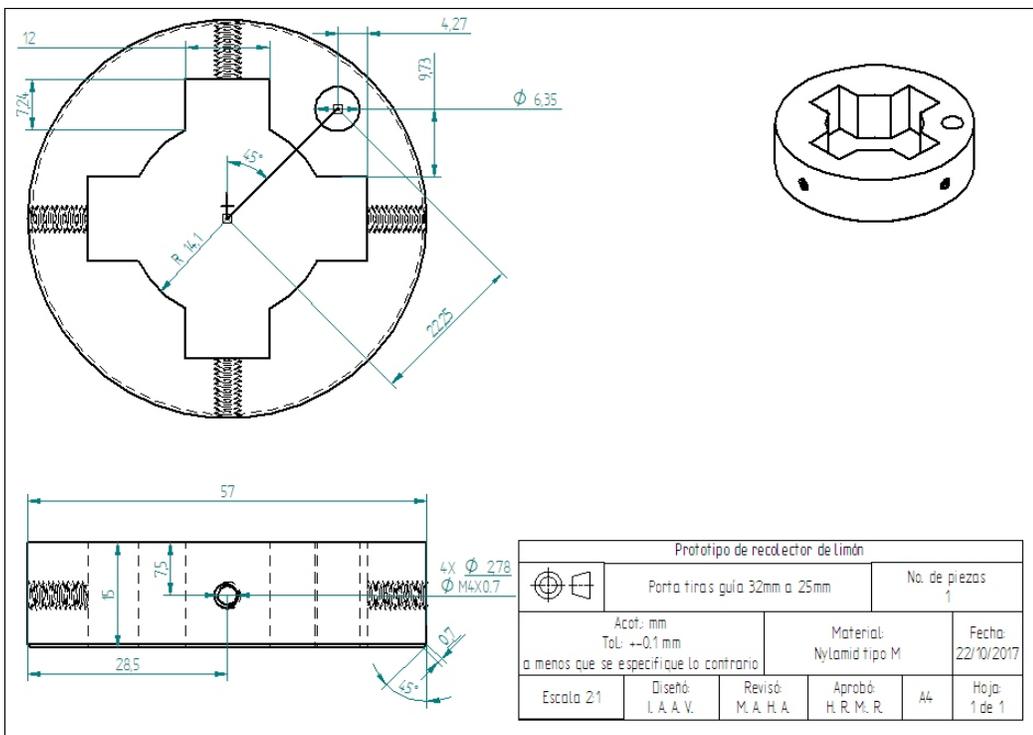
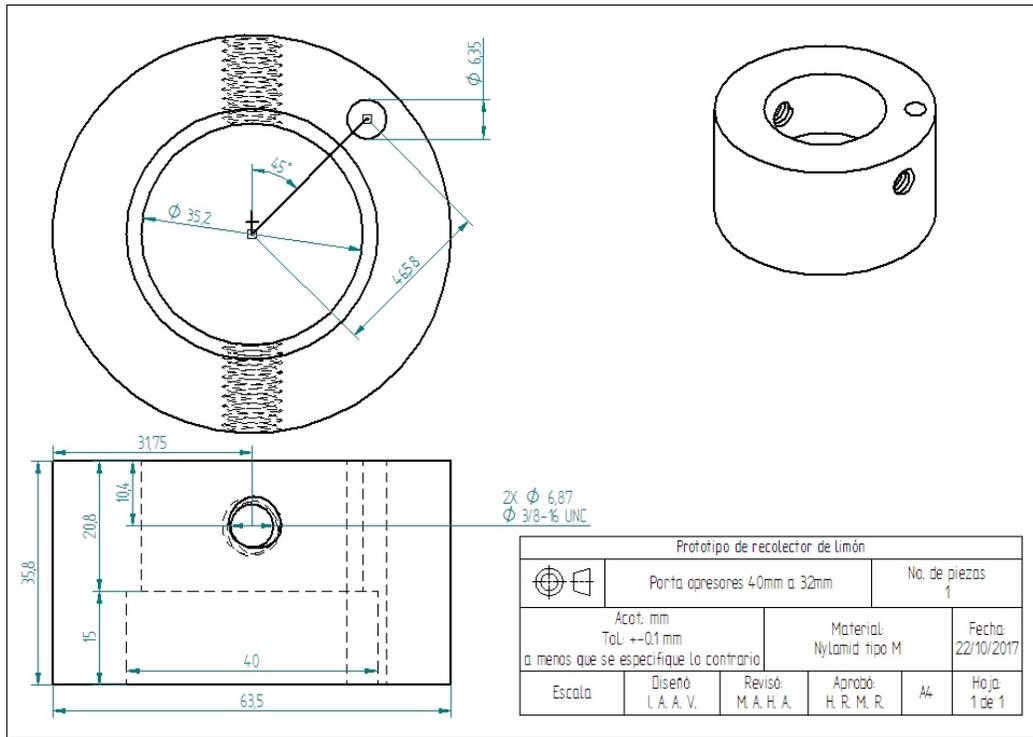
Recomendaciones para trabajos en el futuro.

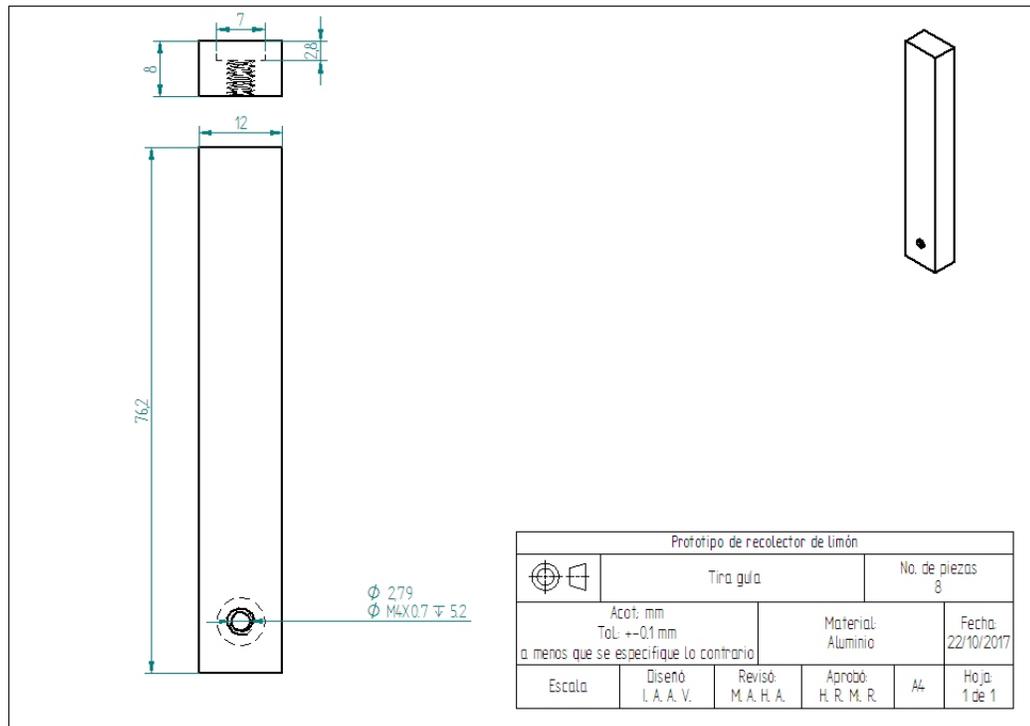
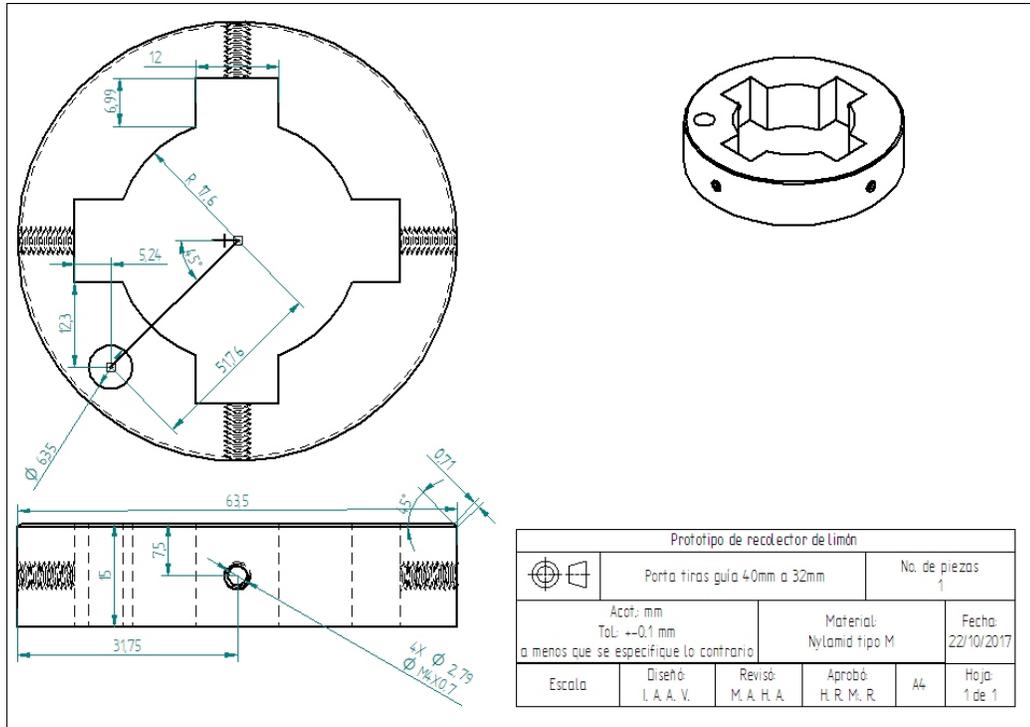
A fin de verificar el grado de efectividad del presente diseño, se recomienda previo a su manufactura, la simulación de esfuerzos y desplazamientos mediante análisis como el de elementos finitos para validar, en función de las propiedades de los materiales, geometrías, restricciones mecánicas y secciones transversales, cada uno de los componentes cuya función mecánica sea crítica para el óptimo desempeño del prototipo. Las estrategias de manufactura pueden considerar el maquinado tanto con equipos convencionales de torneado y fresado, como con equipos de control numérico por computadora (CNC) para el caso de geometrías complejas que requieran la precisión y grados de libertad de maquinado que dicha clase de maquinaria puede ofrecer. La simulación de los procesos de maquinado mediante software CAM, aporta una vista previa del proceso a ejecutarse que resulta útil para planificar las herramientas a utilizarse, avances, revoluciones por minuto del husillo, así como las condiciones de sujeción del material a maquinarse orientadas a evitar daños al equipo de maquinado así como al material, con lo que se reduce el tiempo de fabricación por la reducción de retrabajos y consecuentemente se optimiza la cantidad de material utilizado.

Planos

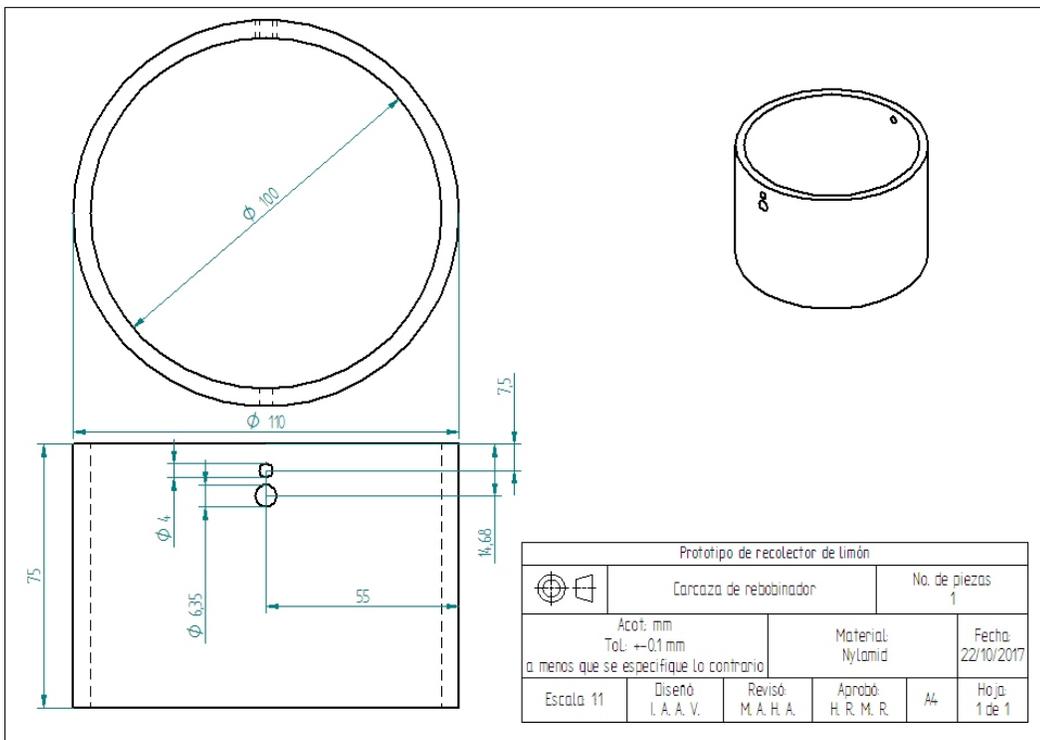
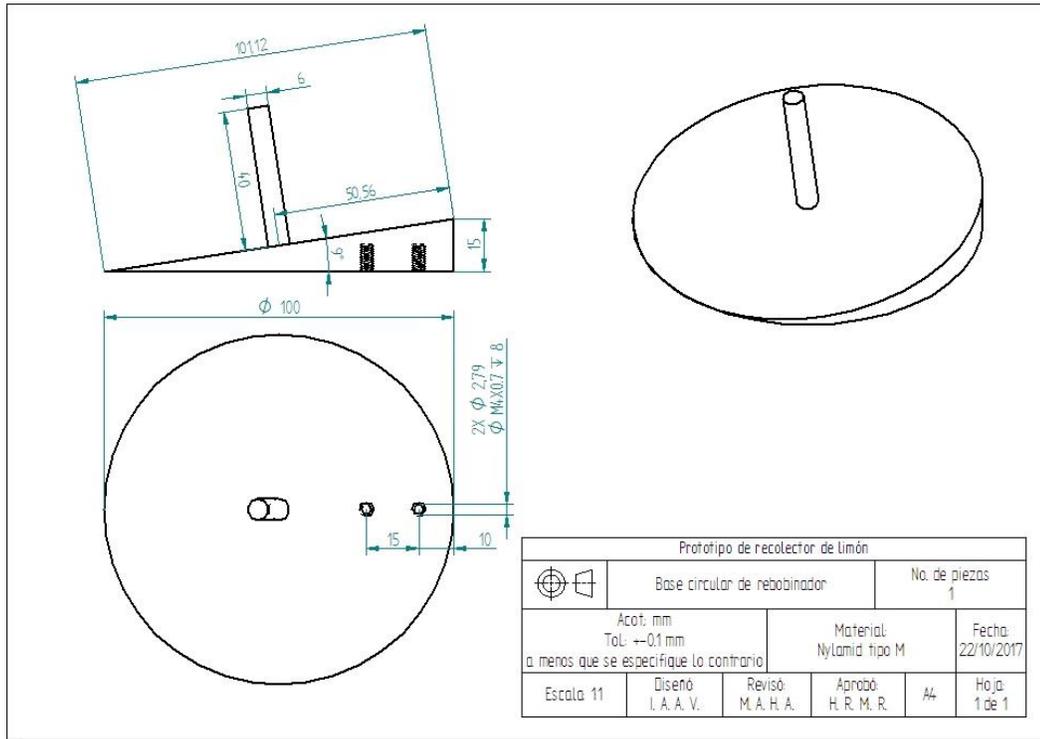
Subsistema de ajuste de altura

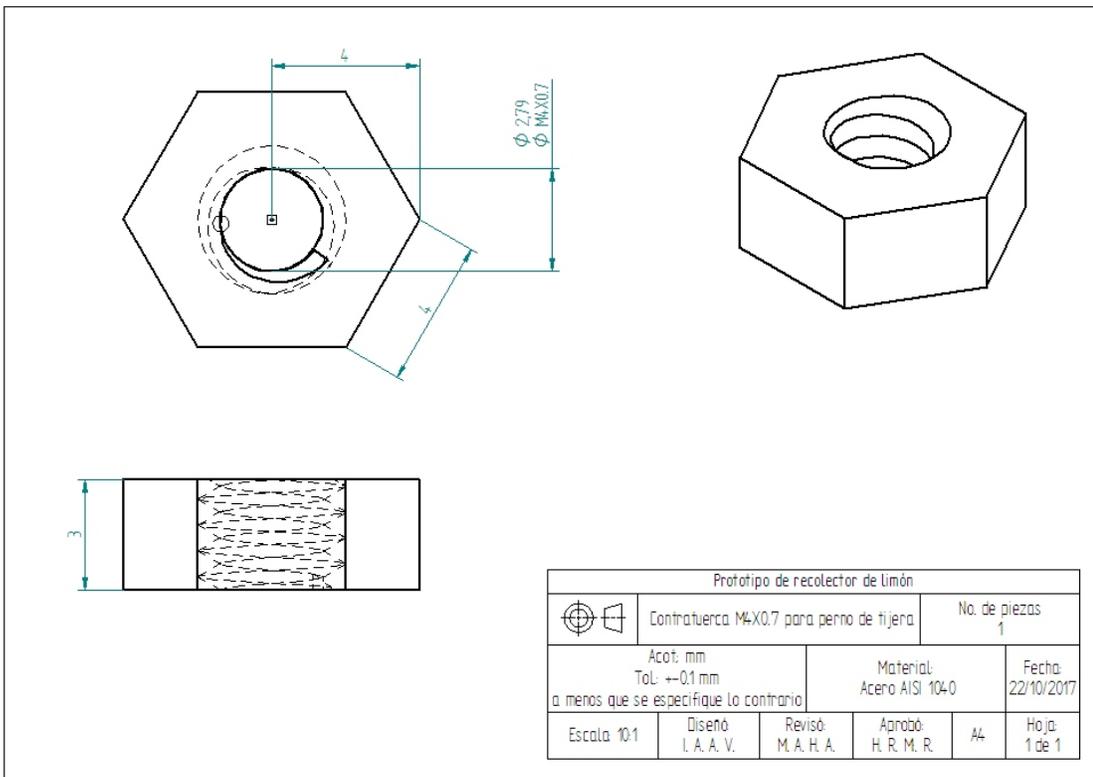
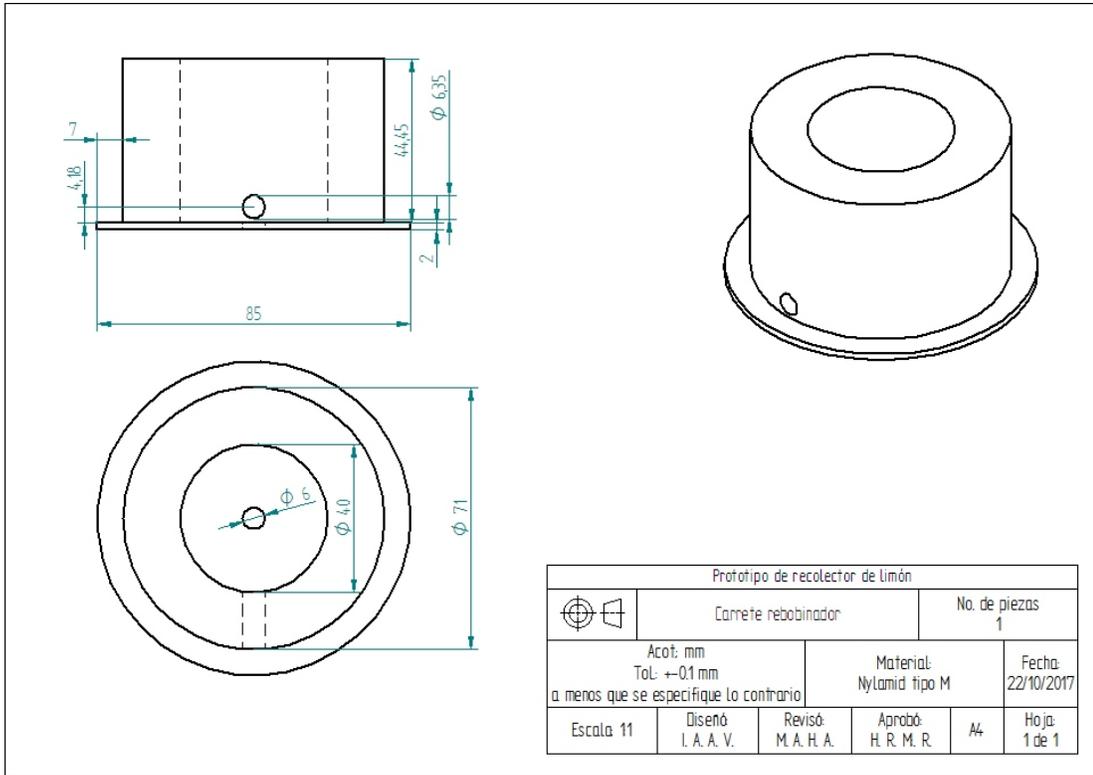


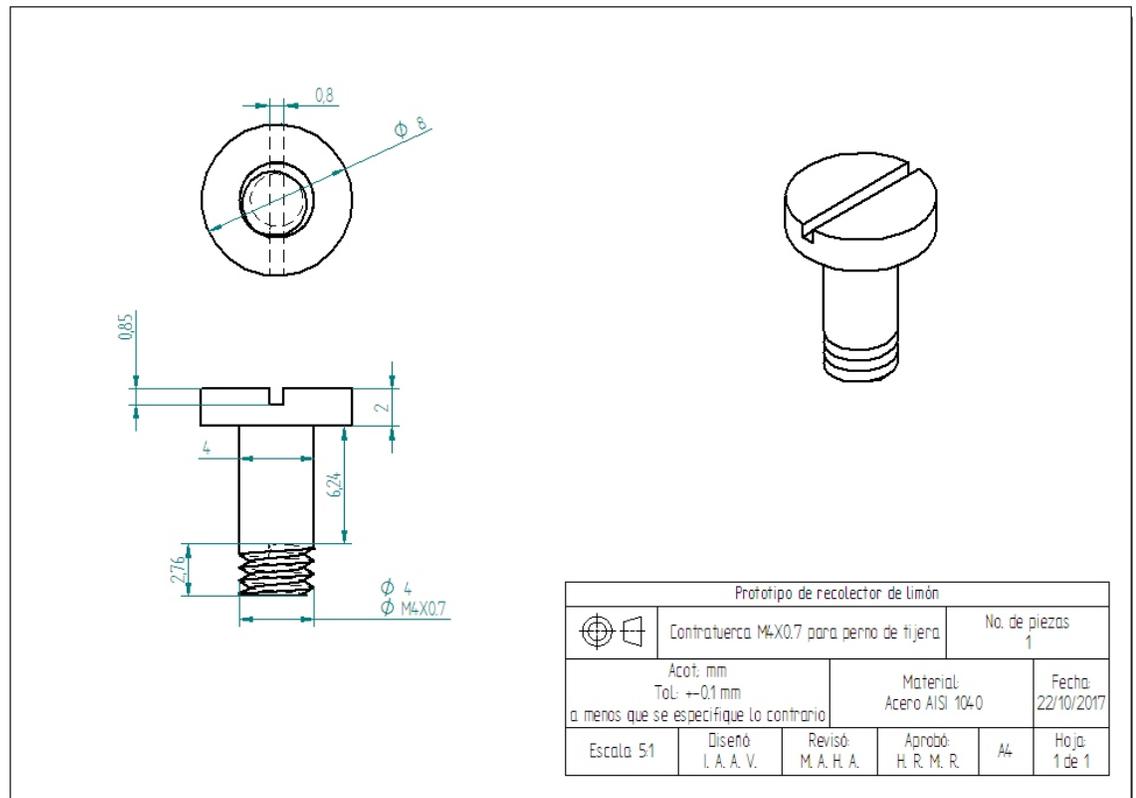
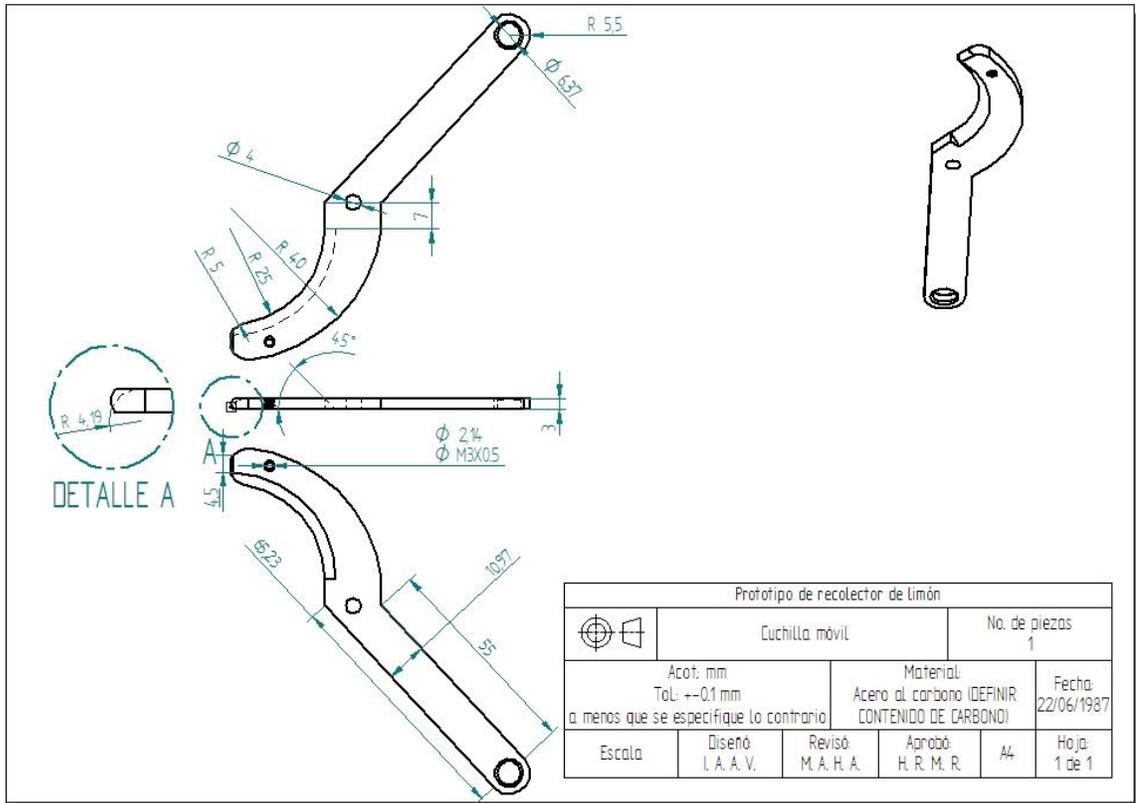


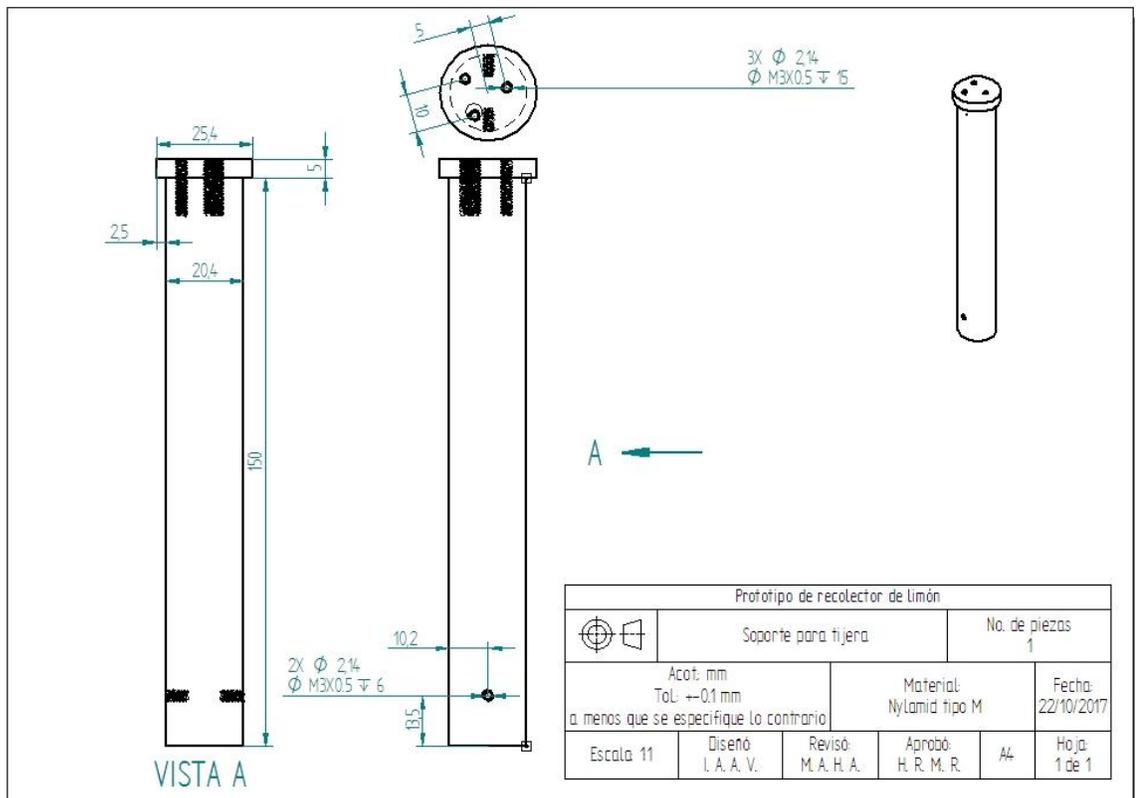
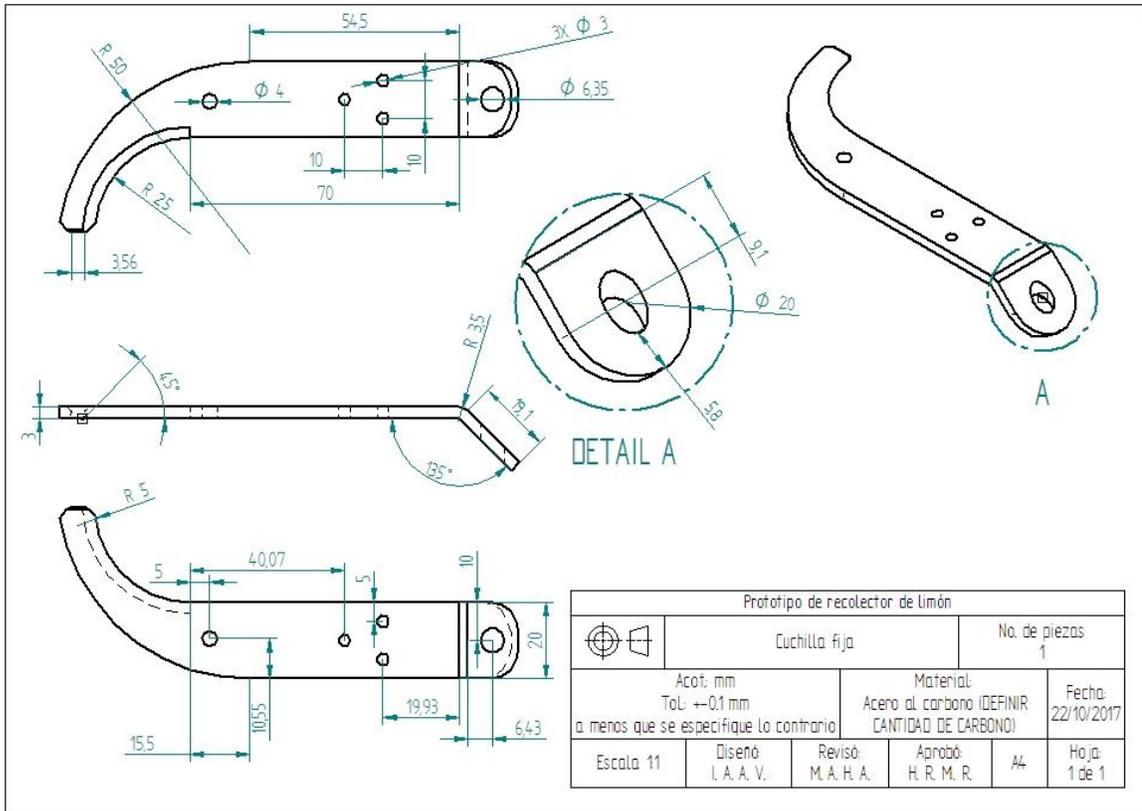


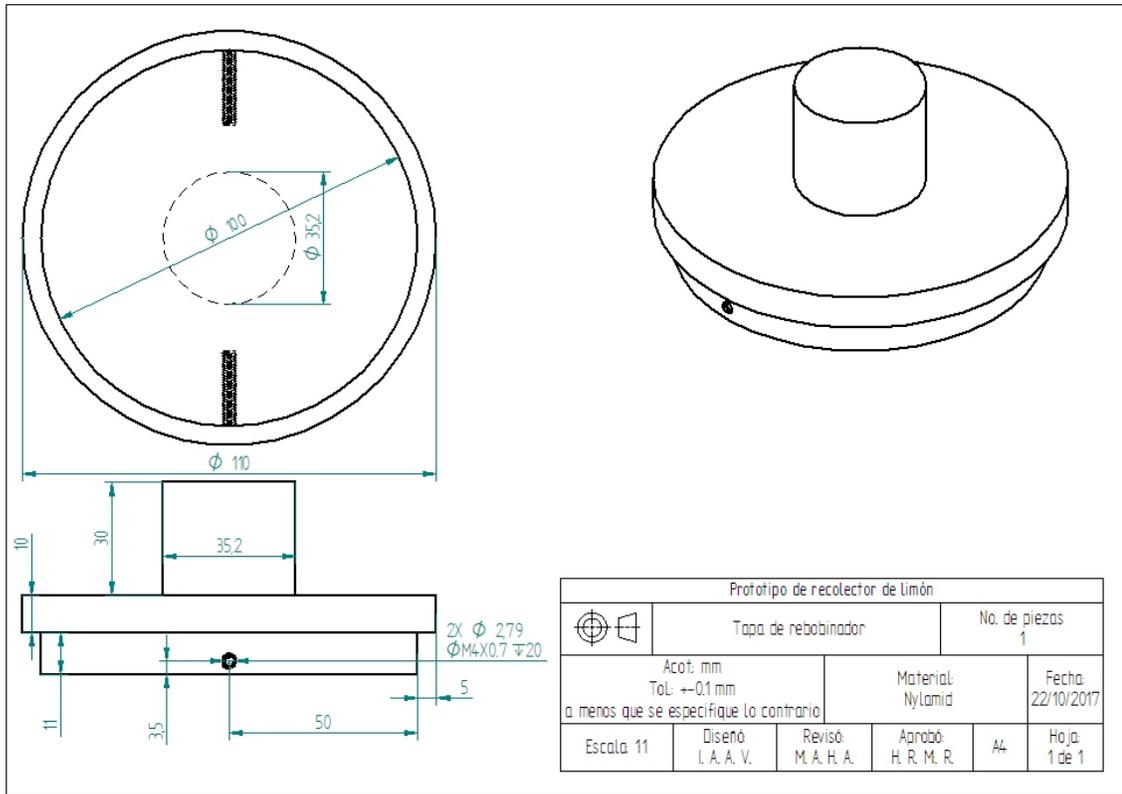
Subsistema de corte



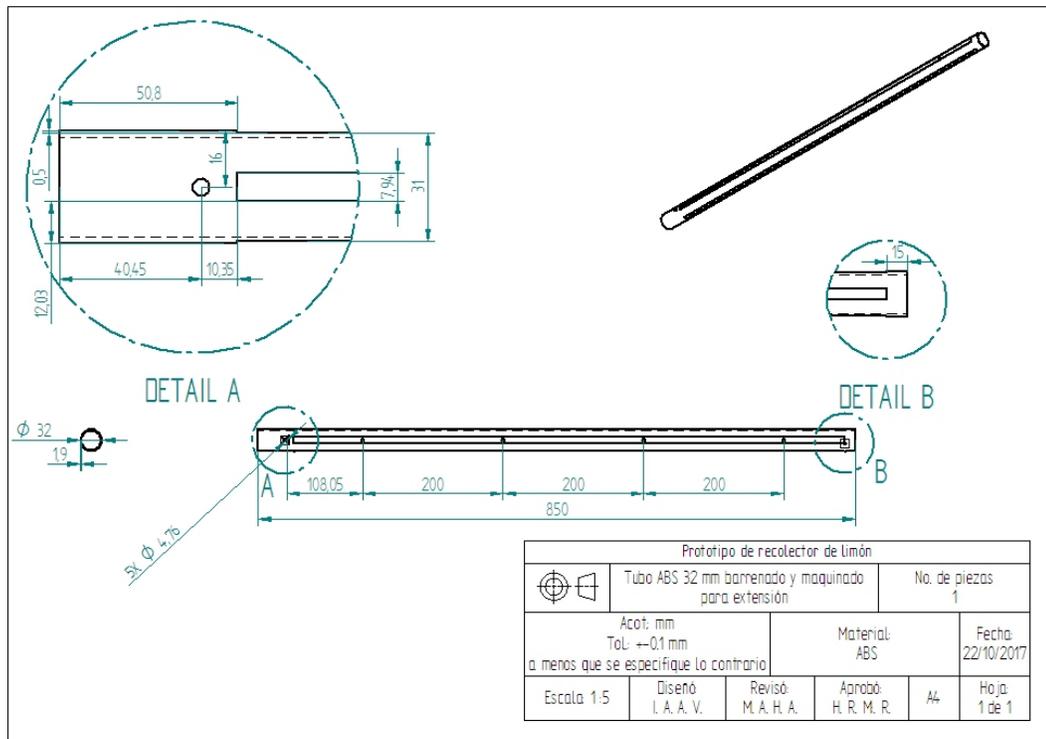
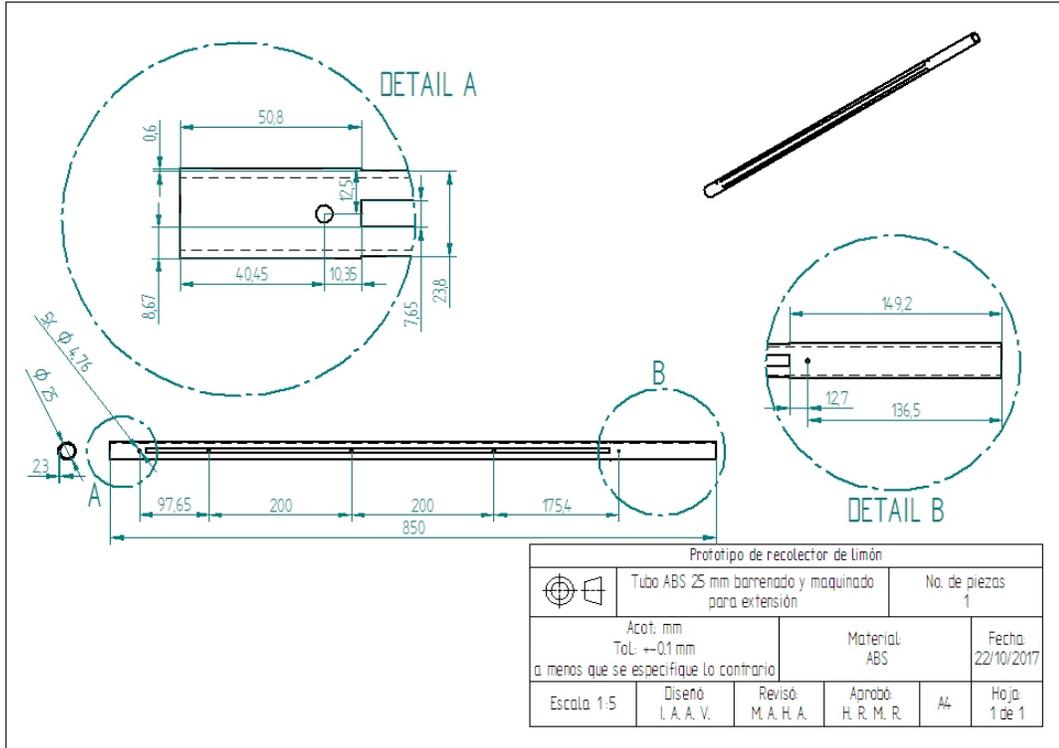


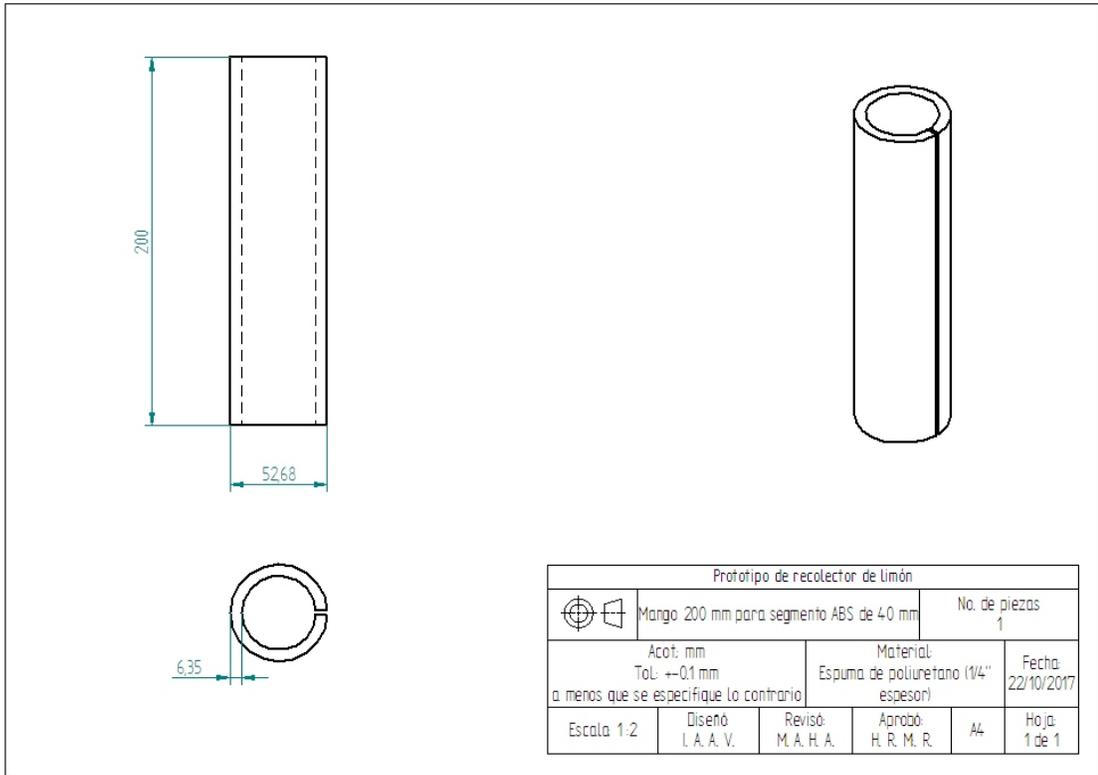
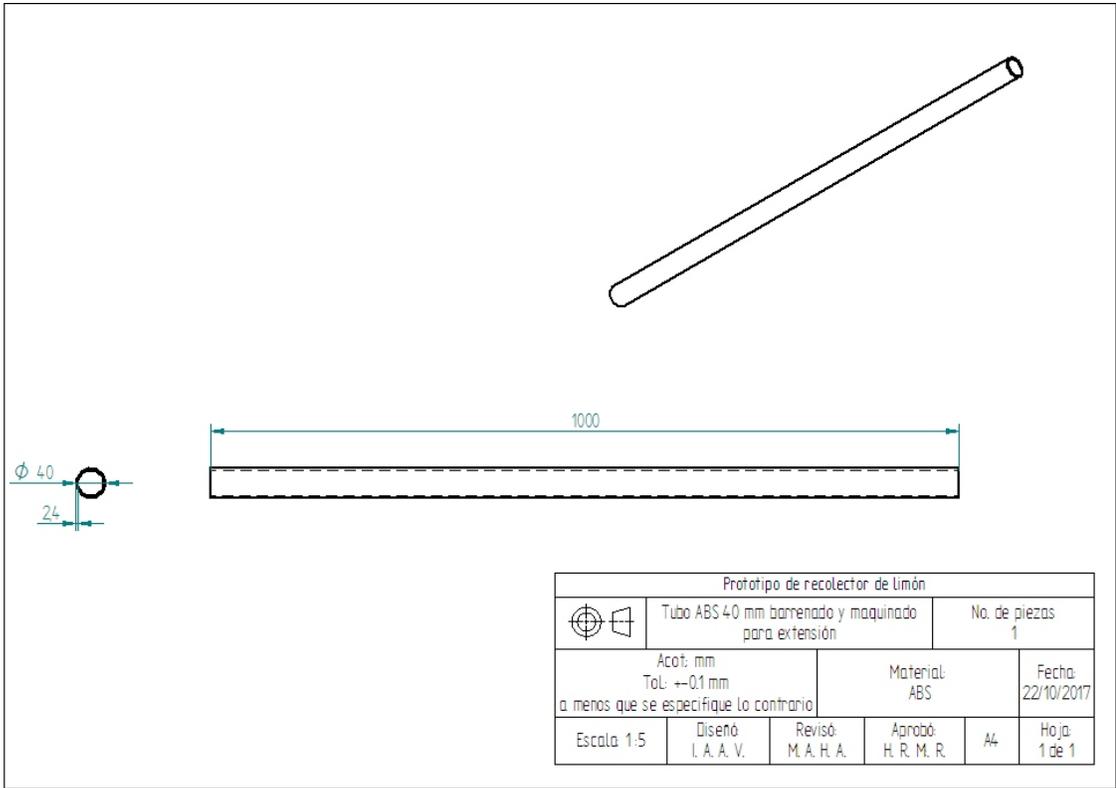


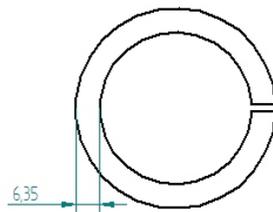
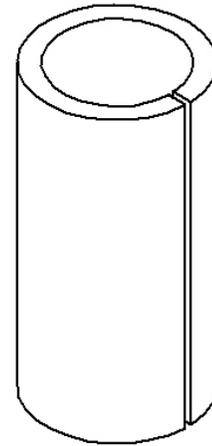
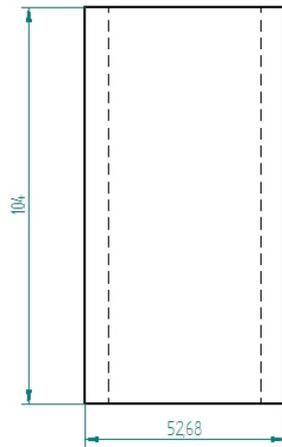




Subsistema de extensión

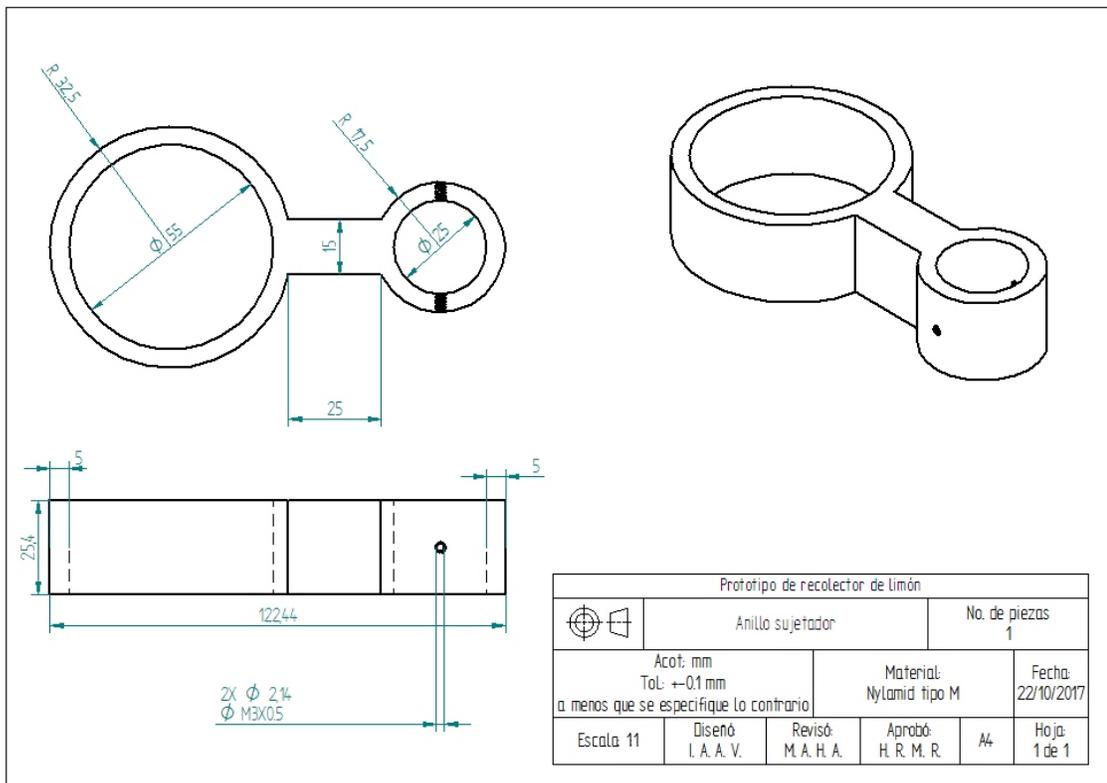
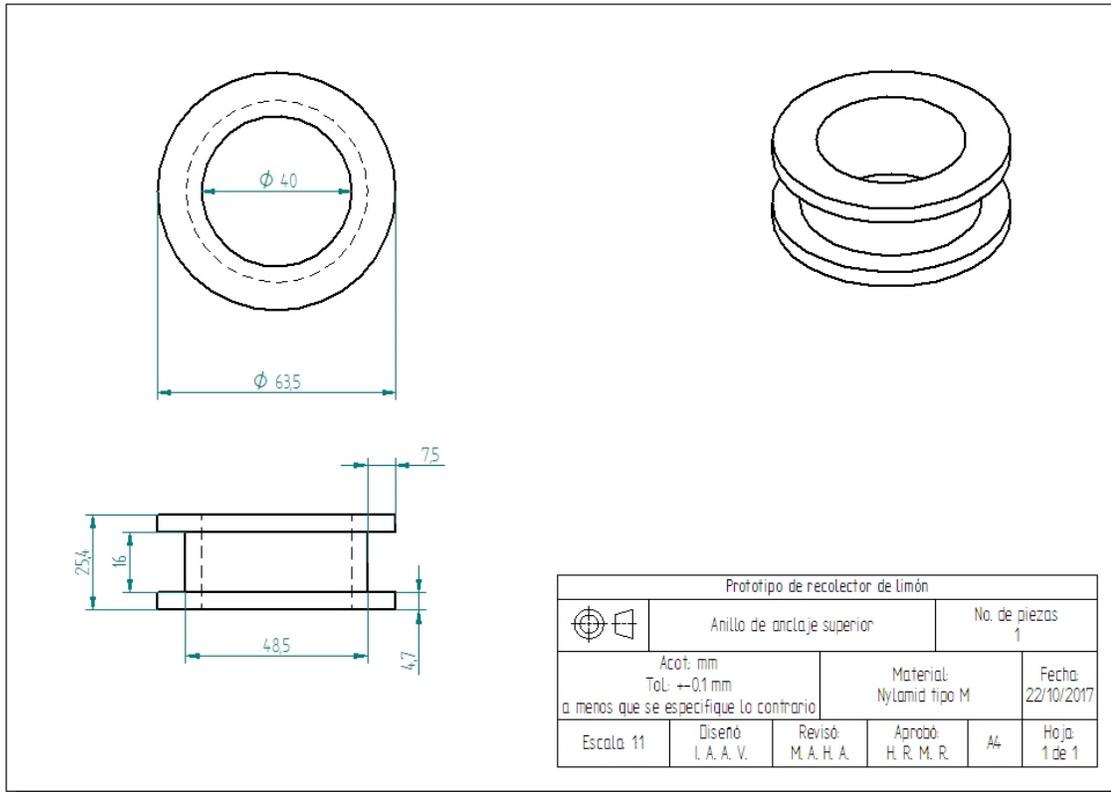


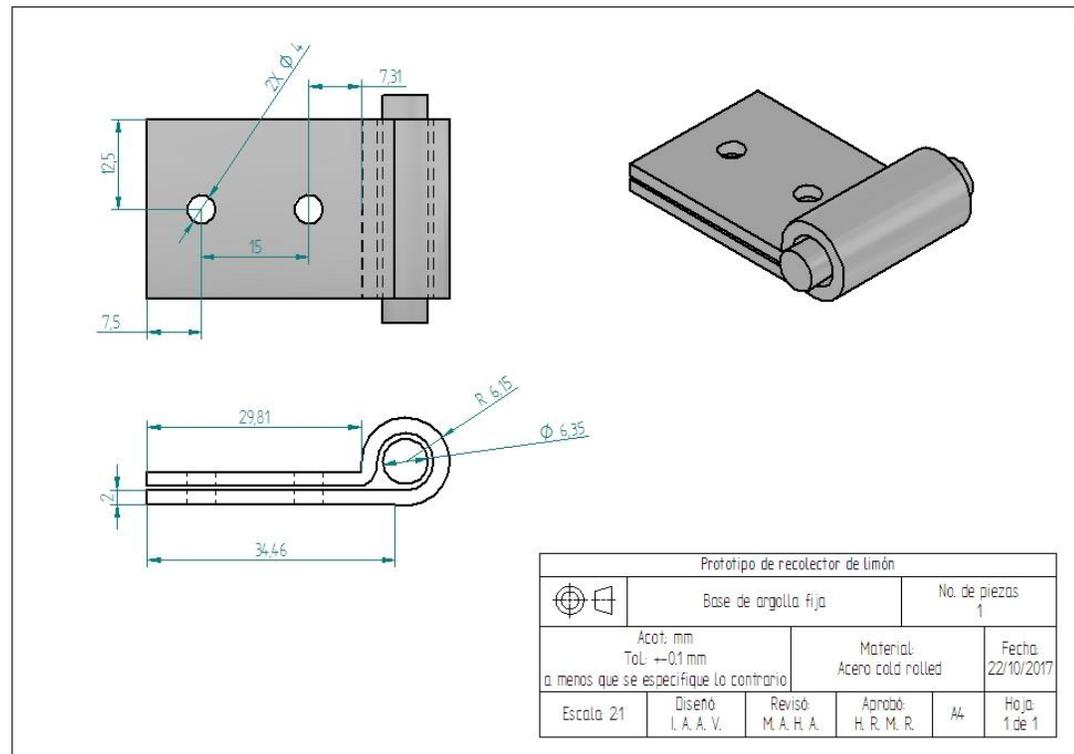
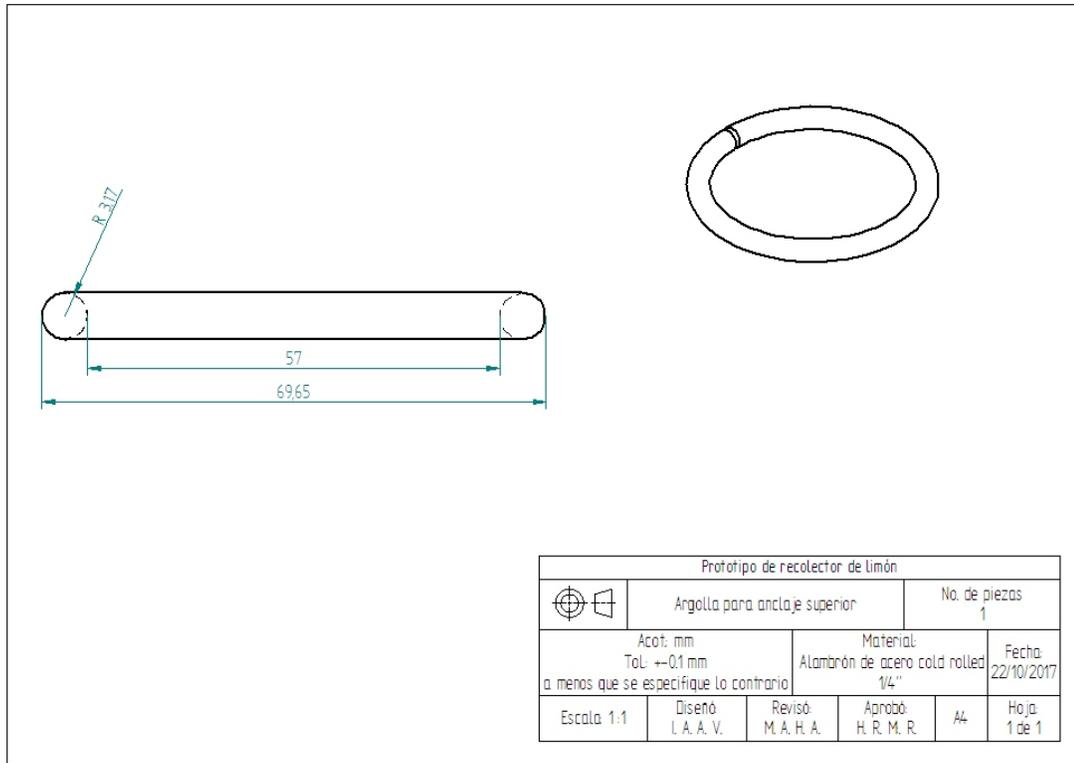




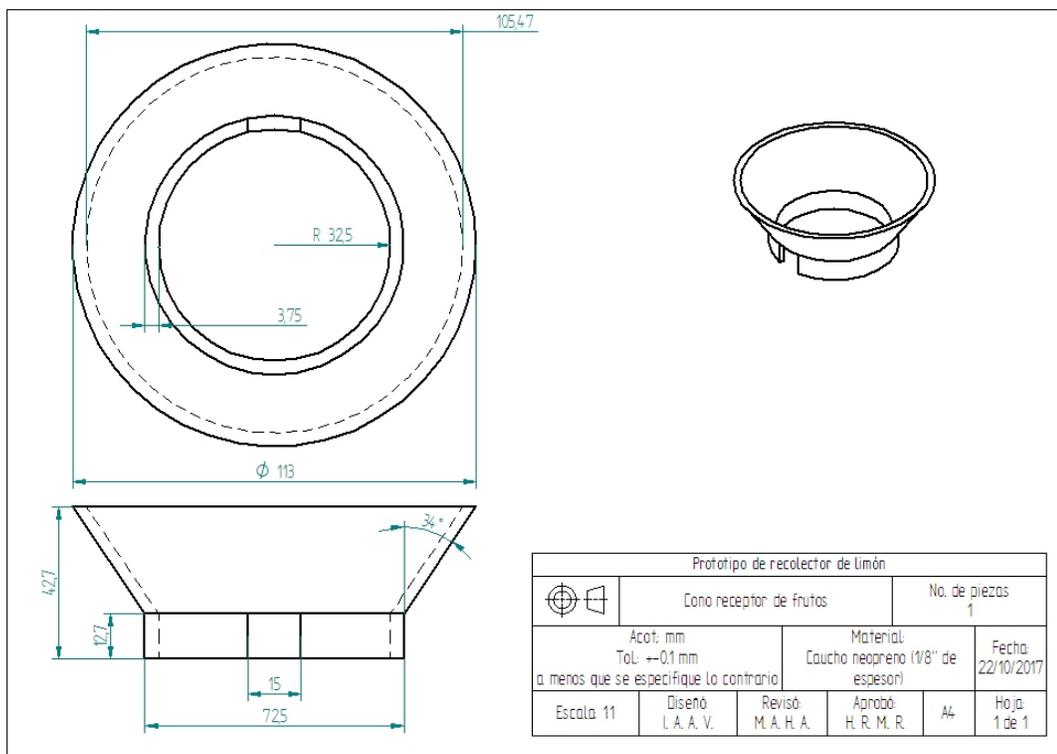
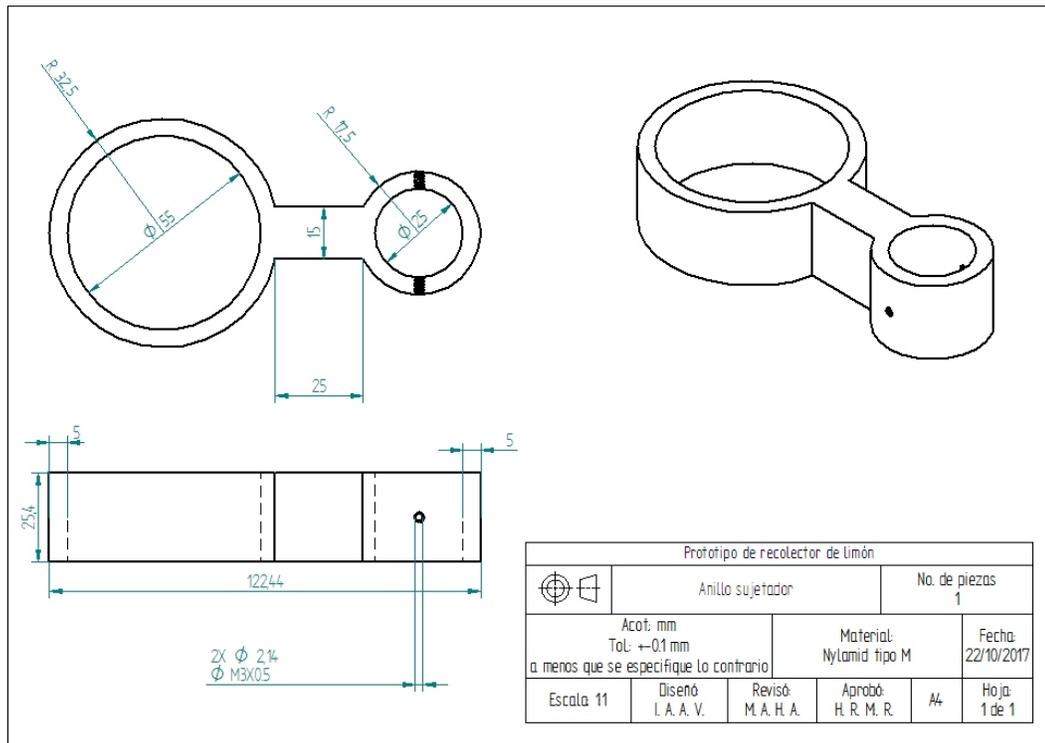
Prototipo de recolector de limón					
	Mango 104 mm para segmento ABS de 40 mm			No. de piezas 1	
Acot. mm ToL: ± 0.1 mm a menos que se especifique lo contrario			Material: Espuma de poliuretano (1/4" espesor)		Fecha: 22/10/2017
Escala 1:1	Diseño I. A. A. V.	Revisó M. A. H. A.	Aprobó H. R. M. R.	AL	Hoja: 1 de 1

Subsistema de interacción con el usuario





Subsistema de recolección.



Bibliografía

- Akao, Y. (1990). *Quality function deployment : Integrating customer requirements into product design*. Tokio: Taylor and Francis.
- Ávila Chaurand, R., Prado León, L., & González Muñoz, E. (1999). *Dimensiones Antropométricas. Población Latinoamericana*. Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara .
- Carreto, J. (10 de Enero de 2008). *Fundamentos de Control*. Recuperado el 13 de Abril de 2016, de Fundamentos de Sistemas : <http://uprotgs.blogspot.mx/2008/01/el-control.html>
- Colegio Nacional de Ergonomía en México A.C. (2009). *Norma Técnica NT-CNEM-001 sobre el límite máximo permisible para cargas de peso por personas* . Cd. Juarez. Chihuahua: Colegio Nacional de Ergonomía en México.
- Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria. (31 de marzo de 2011). Recuperado el 1 de octubre de 2015, de Gobierno del Estado de Veracruz: <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/TAB4003236/MONOGRAFIA%20LIMON2011.PDF>
- Consejo Citrícola de Veracruz. (2004). *Manual de Buenas Prácticas Citricolas, Inocuidad y Control de la Mosca de la Fruta*. Veracruz: Consejo Citrícola de Veracruz.
- Consejo Estatal Citrícola de Veracruz. (2004). *La Citricultura en Veracruz. Producción Nacional*. Recuperado el 30 de septiembre de 2015, de http://www.concitver.com/15_9citricultura.html
- Ecología Verde . (2017). *Ecología Verde: desarrollo sostenible para un mundo mejor* . Recuperado el 27 de Junio de 2017, de ¿por qué el PVC es tóxico y contaminante?: <https://www.ecologiaverde.com/pvc-toxico-contaminante/>
- Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero. (Abril de 2014). *Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero*. Recuperado el 3 de Octubre de 2015, de Financiera Rural: [http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Lim%C3%B3n%20\(abr%202014\).pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Lim%C3%B3n%20(abr%202014).pdf)
- Georgia Institute of Technology, ITESM. (2011). *Exportaciones de México*. Recuperado el 19 de agosto de 2017, de Trade & Logistics Innovation Center: <http://www.ciltec.com.mx/es/comercio-exterior/exportaciones-de-mexico>
- Gonzalez Espinoza, M. E. (2001). *QFD, La Función Despliegue de la Calidad: una guía práctica para escuchar la voz del cliente*. México: Mc Graw Hill.
- Gonzalez, M., & Eckelman, C. (1997). *An Approach for Quality Product Improvement*. Santiago de Chile.
- HBM Prencia Inc. (s.f.). *Design for Reliability: Overview of the Process and Applicable Techniques*. Recuperado el 2 de agosto de 2017, de www.reliasoft.com: <http://www.reliasoft.com/newsletter/v8i2/reliability.htm>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (octubre de 2014). Recuperado el 28 de Septiembre de 2015, de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/sfi/detalle.aspx?c=265&upc=702825000152&s=inegi&tg=0&f=2&pf=prod&ef=00&cl=7>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Cuéntame de México. Información para niños y no tan niños*. Recuperado el 22 de septiembre de 2015, de Instituto Nacional de

- Estadística y Geografía:
<http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/extension/default.aspx?tema=T>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Información para niños y no tan niños*. Recuperado el 4 de septiembre de 2015, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía:
<http://cuentame.inegi.org.mx/economia/default.aspx?tema=E>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Obras complementarias publicadas por el INEGI*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2015, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía:
http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825066574.pdf
- International Organization for Standardization. (2008). *ISO 9001: 2008 Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos*. Ginebra: International Organization for Standardization.
- Juscáfresa, B. (1978). *Árboles Frutales, Cultivo y Explotación Comercial*. España: Aedos.
- Mazzuz, C. (1996). *Calidad en Cítricos. Manual para su Gestión Desde la Recolección hasta la Expedición*. España: Ediciones de Horticultura.
- National Aeronautics and Space Administration. (1995). *NASA-STD-3000 Man-System Integration Standards*. Estados Unidos de América: National Aeronautics and Space Administration.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1996). *Manual de Prácticas de manejo de postcosecha de los productos*. California, USA.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). *La FAO en México. Más de 60 Años de Cooperación (1945-2009)*. México: Fuente 8 Vuelta.
- Organización Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. (1999). *Manual Técnico. Buenas Prácticas de Cultivo en Limón Pérsico*. El Salvador: OIRSA.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K.-H. (2007). *Engineering Design: A Systematic Approach*. Londres: Springer-Verlag London.
- Polese, J. (2007). *Cultivo de Cítricos*. España: Omega.
- Rantanen, K., & Domb, E. (2008). *Simplified TRIZ: New problem Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals*. USA: Auerbach Publications.
- SAGARPA. (30 de noviembre de 2012). *Boletines delegación San Luis Potosí*. Recuperado el 29 de septiembre de 2015, de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación:
<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/sanluispotosi/boletines/Paginas/BOL1301112.aspx>
- SAGARPA. (2012). *Boletines delegación Yucatán*. Recuperado el 22 de septiembre de 2015, de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación:
<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/yucatan/boletines/Paginas/201209B068.aspx>
- Secretaría de Economía. (2001). *NMX-FF-087-SCFI-2001 Productos Alimenticios no Industrializados Para Uso Humano - Fruta Fresca - Limón Mexicano (Citrus aurantifolia swingle) Especificaciones*. México: Secretaría de Economía.
- Semyon, S. (2000). *Engineering of Creativity, Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving*. U:S:A: CRC Press.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2014). Recuperado el 2015 de octubre de 3, de Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera:
<http://www.siap.gob.mx/estacionalidad-de-la-produccion/>

- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2014). Recuperado el 3 de octubre de 2015, de Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera:
<http://www.siap.gob.mx/estacionalidad-de-la-produccion/>
- STPS. (2013). *Prácticas Seguras en el Sector Agrícola. Cosecha y Postcosecha de Limón*. Ciudad de México: Dirección General de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- TRIZ, A. M. (19 de enero de 2015). *Asociación Mexicana de TRIZ*. Recuperado el 19 de enero de 2015, de <http://www.ametriz.com/>