 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Diseño y fabricación de un contador de cortes de esquejes durante el cosechado de Crisantemo para Flores el Capiro

Alejandro Quintero Murillo

Andrés Mauricio Alzate Ramírez


Luis Felipe Grajales Villada

Ingeniería Mecatrónica

M.Sc. Jorge Andrés Sierra Del Rio

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO


2025

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE</p>	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

RESUMEN

El presente trabajo busca mejorar el proceso de conteo de esquejes de crisantemo en la empresa Flores El Capiro, ya que el método actual es propenso a errores y genera una sobrecarga laboral. Se propone el diseño y fabricación de una herramienta automática basada en sensores tipo bandera que optimice este proceso, reduciendo errores y aumentando la eficiencia. La metodología utilizada incluyó visitas de campo para observar el proceso actual, el diseño y desarrollo de un prototipo, y su validación mediante pruebas en condiciones reales de producción. Los resultados obtenidos muestran una mejora significativa en la precisión y la velocidad del conteo, lo que contribuye a una reducción en los errores y una mayor satisfacción de los empleados. Esta innovación no solo mejora la competitividad de la empresa, sino que también ofrece una solución accesible a productores de flores con recursos limitados.


Palabras clave: crisantemos, conteo automático, sensores, eficiencia operativa, esquejes.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

RECONOCIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este proyecto:

- Flores El Capiro S.A., por permitirnos acceder a sus instalaciones y brindarnos el apoyo necesario durante las visitas de campo, así como por su colaboración en la validación del dispositivo en condiciones reales de producción.
- M.Sc Jorge Andrés Sierra Del Rio, por su invaluable guía, asesoría técnica y motivación constante durante todo el proceso de diseño y desarrollo del contador de esquejes
- Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), por proporcionarnos los recursos técnicos y académicos necesarios, incluyendo el acceso a laboratorios, equipos de fabricación y software de simulación.
- A nuestros familiares y amigos, por su constante apoyo, comprensión y ánimo durante las diferentes etapas del proyecto.
- Finalmente, un agradecimiento especial a los trabajadores de Flores El Capiro, quienes participaron en las pruebas de campo, brindando valiosas observaciones y retroalimentación para mejorar el diseño del dispositivo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

ACRÓNIMOS

- CAD: Diseño asistido por ordenador.
- CP: Código de Programación
- MCU: Microcontrolador – WeMos D1 mini ESP8266
- OLED: Pantalla OLED
- BAT: Batería
- BZ: Zumbador
- IMP3D: Impresora 3D con filamento




	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	2
RECONOCIMIENTOS	3
ACRÓNIMOS.....	4
INTRODUCCIÓN.....	7
1. MARCO TEÓRICO	10
1.1. Proceso de producción del crisantemo	11
1.2. Corte y Cosecha.....	12
1.3. Conteo de Esquejes	13
1.3.1. Errores Comunes en el Conteo Manual	15
1.4. Estado actual de la técnica	16
1.5. Soluciones existentes y benchmarking.....	18
1.6. Beneficios de la automatización	18
2. METODOLOGÍA	20
2.1. Visitas de campo y análisis del proceso actual	20
2.2. Identificación de los requisitos del sistema.....	21
3. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS	23
3.1. Conocer y comprender el proceso de corte actual, analizando los pasos involucrados, requisitos de precisión y desafíos específicos del proceso manual.....	23
3.2. Diseño del dispositivo y selección de componentes.....	24
3.3. Desarrollar un contador automático que se adapte a las necesidades identificadas en el proceso de corte de esquejes de crisantemo, considerando reducir la carga de trabajo manual y la precisión requerida	30
3.3.1. Dispositivo para el conteo de esquejes cosechados - Sistema electrónico.....	30
3.3.2. Dispositivo para el conteo de esquejes cosechados - Sistema mecánico	32
3.3.3. Dispositivo para el conteo de esquejes cosechados - Fabricación y ensamble.....	33
3.4. Realizar pruebas del medidor automático en condiciones reales de producción en Flores El Capiro para validar su funcionamiento y realizar los ajustes necesarios para mejorar su rendimiento y confiabilidad	35

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

3.4.1.	Dispositivo para el conteo de esquejes cosechados - Validación en campo	35
4.	CONCLUSIONES.....	38
	REFERENCIAS.....	41
	APÉNDICE	43
	Apéndice A: Cálculos de diseño y durabilidad de batería	43
	Apéndice B: Diseño CAD y planos	44
	Apéndice C: Código de programación	53
	Apéndice D: Validación y resultados de pruebas	57
	Apéndice E: Especificaciones técnicas.....	57

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

INTRODUCCIÓN

La producción de crisantemos representa un sector estratégico en la economía agrícola de países como Colombia, donde la exportación de estas flores tiene un impacto significativo en los mercados internacionales. Flores El Capiro, una de las empresas líderes en el cultivo de crisantemos, enfrenta un desafío crítico en el proceso de conteo de esquejes, una tarea esencial para garantizar el cumplimiento de estándares de calidad y volúmenes de producción. Este proceso, realizado de forma manual, no solo está sujeto a errores humanos, sino que también impone una carga física y mental considerable a los trabajadores.


El ciclo de producción de crisantemos comienza con la siembra de esquejes, que, tras germinar, se desarrolla en plantas listas para la cosecha. Durante esta etapa, parte del tallo se deja en el suelo para continuar con el ciclo reproductivo. En este contexto, el conteo

preciso de esquejes es un paso fundamental para garantizar una planificación eficiente en las siguientes fases del cultivo y mantener la competitividad de la empresa. Sin embargo, el

método tradicional de conteo manual, basado en el registro mental o físico, conlleva riesgos significativos, incluyendo errores acumulativos y fatiga laboral.

El presente proyecto surge como respuesta a la necesidad de optimizar este proceso mediante la automatización, integrando tecnologías que permitan mejorar la precisión y reducir la carga física asociada al conteo manual. La automatización no solo incrementa la eficiencia operativa, sino que también promueve un entorno de trabajo más saludable al mitigar los efectos del agotamiento físico y mental, conocido como burnout, derivado de tareas repetitivas y monótonas.

El objetivo general de este proyecto es diseñar y fabricar un contador automático que mejore el proceso de conteo de cortes de esquejes de crisantemo, reduciendo la carga de

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05


trabajo manual y mejorando la precisión en Flores El Capiro. Este objetivo aborda tanto las necesidades técnicas como humanas del proceso, asegurando una solución integral para la empresa.


Para lograr este objetivo general, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Conocer y comprender el proceso de corte actual, analizando los pasos involucrados, los requisitos de precisión y los desafíos específicos del proceso manual.
- Desarrollar un contador automático que se adapte a las necesidades identificadas en el proceso de corte de esquejes de crisantemo, considerando la reducción de la carga de trabajo manual y el cumplimiento de los estándares de precisión requeridos.
- Realizar pruebas del medidor automático en condiciones reales de producción en Flores El Capiro para validar su funcionamiento y efectuar los ajustes necesarios para optimizar su rendimiento y confiabilidad.

El desarrollo de este proyecto contempla el análisis profundo del proceso actual, la identificación de tecnologías viables para la automatización y la implementación de un diseño que combina componentes electrónicos, sensores avanzados y algoritmos de procesamiento de datos. La integración de estos elementos garantizará no solo la funcionalidad del contador, sino también su adaptabilidad a las condiciones operativas específicas de Flores El Capiro.


El documento se estructura en cuatro capítulos. En el Capítulo 1, se contextualiza la importancia económica de la producción de crisantemos y se describe el problema operativo asociado al conteo manual. En el Capítulo 2, se desarrolla el marco teórico, abordando conceptos claves relacionados con la automatización en la agricultura, tecnologías de sensores y sistemas de procesamiento. El Capítulo 3 detalla la metodología empleada para diseñar, construir y validar el contador automático y se presentan los

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE</p>	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

resultados obtenidos en las pruebas de campo, acompañados de análisis estadísticos y gráficos que validan la eficacia de la solución. Finalmente, el Capítulo 4 ofrece las conclusiones del proyecto, identificando oportunidades de mejora y posibles aplicaciones futuras de la tecnología desarrollada.

Este proyecto representa un paso hacia la modernización del sector agrícola mediante la integración de tecnologías automatizadas, con el potencial de establecer un nuevo estándar de eficiencia y bienestar en la industria floricultora.


	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

1. MARCO TEÓRICO

El cultivo de crisantemos es una actividad fundamental en la industria florícola, especialmente en países como Colombia, donde su exportación representa una importante fuente de ingresos para el país, esto se puede evidenciar en la *Figura 1*, donde se puede ver que los ingresos netos para esta actividad fueron de 185 millones de dólares entre mayo de 2023 y abril de 2024. El proceso de producción incluye varias etapas, como la siembra, crecimiento, corte, conteo y cosecha. En cada una de estas etapas, la precisión y eficiencia son claves para asegurar la calidad del producto final y mantener la competitividad de las empresas en el mercado global.



*Figura 1. Exportaciones de flor y participación de crisantemo en Colombia.
(chrysanthemumweek, n.d.).*

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05


1.1. Proceso de producción del crisantemo

El proceso de cultivo de crisantemos se presenta de manera general en la *Figura 2*. Este proceso comienza con la plantación de esquejes, que son pequeñas porciones de la planta madre. Estos esquejes se colocan en tierra o sustrato donde, bajo condiciones controladas, comienzan a crecer. Una vez que las plantas han alcanzado la madurez, se procede al corte de las flores, momento en que se deja una parte del tallo en la tierra para promover su regeneración.



Figura 2. Proceso de cultivo del crisantemo. (Fuente: Autores)

La fase de corte, conteo y cosecha es una de las etapas más cruciales y complejas en el proceso de producción del crisantemo. En esta etapa, la planta ha alcanzado su madurez y está lista para ser cosechada, lo que implica un proceso de selección, recolección y, posteriormente, el conteo de los esquejes. Este es un punto de intervención clave para mejorar la eficiencia operativa y reducir los errores humanos que afectan la calidad y los tiempos de entrega.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05


1.2. Corte y Cosecha

El proceso de corte comienza cuando la planta ha alcanzado las características óptimas para la comercialización: altura, tamaño y forma de la flor. El corte se realiza manualmente, separando las flores maduras del tallo y dejando una porción de este en la tierra, lo que permite que la planta siga reproduciéndose para futuras cosechas. Este procedimiento debe ser ejecutado con precisión, ya que cortar la flor demasiado temprano o tarde puede afectar su calidad y, por lo tanto, su valor en el mercado.

En grandes empresas como Flores El Capiro, este proceso involucra una gran cantidad de mano de obra, debido a la necesidad de manejar miles de plantas de manera eficiente y rápida. En la Figura 3 se muestra la etapa de corte, los trabajadores también deben realizar una evaluación visual de la flor para garantizar que se cumplan los estándares de calidad, lo que añade un nivel de complejidad al proceso.



Figura 3. Corte y cosecha de esquejes. (Fuente: Autores)

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05


1.3. Conteo de Esquejes

Tras el corte, el conteo de los esquejes es una tarea fundamental, ya que cada esqueje representa una unidad productiva que se utilizará para futuras reproducciones o para calcular la producción y ventas actuales. En la actualidad, este conteo se realiza mentalmente en muchas operaciones florícolas, donde los trabajadores cuentan 200 unidades de esquejes cortados, para ser agrupados y empaquetados en bolsas (*Figura 4*) para su posterior inspección de calidad y exactitud en cantidad por parte del inspector de calidad. Este procedimiento se repite durante toda la jornada laboral, para un total de 7 agrupamientos de 200 unidades o una media de 1400 esquejes por hora, en una jornada de 8 horas laborales por día, lo cual representa un conteo de 11200 esquejes cortados por día.

Durante el proceso de cosecha de esquejes, se evalúa la calidad del trabajo de los cosechadores en función de su rendimiento, que puede variar entre 2, 3 o 4 bolsas. Para esta evaluación, se revisan parámetros específicos de calidad como la longitud del tallo, que determina si el esqueje es largo o corto, el diámetro del tallo y si tiene una hoja en la base.



Figura 4. Conteo y recolección de esquejes. (Fuente: Autores)

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05


Este método manual tiene varias desventajas significativas. Primero, es un proceso repetitivo que exige gran concentración, lo que incrementa la posibilidad de errores debido a la fatiga. Los trabajadores deben mantener una cuenta mental precisa mientras realizan el conteo, lo que, con el tiempo, puede ser una fuente de agotamiento tanto físico como mental. Esto, además de reducir la productividad, puede llevar a la aparición del síndrome de burnout (síndrome del trabajador quemado) en los empleados, lo que afecta tanto su salud como la eficiencia de la empresa.

Según (Ministerio del Trabajo de Colombia, 2015):

1. Decreto 1072 de 2015 y SG-SST: El Decreto 1072 establece la obligación de las empresas de implementar un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), que incluye la identificación y mitigación de riesgos laborales.

- Aplicación en el proyecto: Reducción de la carga laboral: El proyecto busca aliviar la carga física y mental asociada al conteo manual de esquejes, alineándose con la necesidad de mejorar las condiciones laborales.
- Prevención de lesiones: Diseñar un dispositivo ergonómico y seguro (como indica el proyecto) ayuda a prevenir riesgos mecánicos como lesiones por movimientos repetitivos o posturas inadecuadas.
- Capacitación: La implementación del dispositivo debe incluir formación para los trabajadores, garantizando su uso seguro y efectivo.

2. GTC 45: Factores ergonómicos y biomecánicos: El GTC 45 proporciona pautas para identificar y manejar riesgos ergonómicos y mecánicos, especialmente en actividades repetitivas y manuales.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Relación con el diseño del contador:


- Ergonomía del dispositivo: Según la GTC 45, el diseño debe adaptarse al trabajador, evitando sobrecargas musculares o movimientos innecesarios. En el proyecto, el dispositivo es compacto y ligero, lo que responde a estos lineamientos.
- Reducción de movimientos repetitivos: La automatización del conteo minimiza la necesidad de realizar movimientos repetitivos que puedan causar lesiones a largo plazo.
- Seguridad mecánica: La integración de sensores y componentes seguros, como los descritos en el proyecto, reduce el riesgo de contacto con partes móviles o eléctricas.

3. Beneficios generales de la relación normativa

- Cumplimiento legal: La automatización contribuye a que Flores El Capiro cumpla con las normativas de seguridad y salud laboral.
- Productividad y bienestar: Mejorar la ergonomía y precisión del trabajo no solo reduce los riesgos, sino que también aumenta la satisfacción y rendimiento de los trabajadores.
- Innovación alineada con SST: El diseño del prototipo incorpora principios de seguridad y ergonomía que fortalecen el enfoque preventivo del SG-SST.

1.3.1. Errores Comunes en el Conteo Manual

- a. Errores de omisión:** Pueden suceder cuando un esqueje no es contado, lo que reduce la precisión de la producción estimada y puede llevar a que se cosechen menos plantas de las previstas.
- b. Errores de duplicación:** Ocurre cuando un esqueje es contado dos veces debido a distracciones o confusión en el trabajador, lo que sobreestima el número de esquejes disponibles.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

- c. Desviaciones en el ritmo de trabajo:** Los empleados pueden trabajar a ritmos irregulares, lo que afecta la consistencia y velocidad del conteo.


Además de los errores humanos, el tiempo dedicado al conteo manual representa una carga importante en términos de costos laborales. Dado que el mercado de flores es altamente competitivo y está regido por plazos ajustados para la exportación, en la Figura 5 se muestra la recolección tradicional de esquejes donde la rapidez en esta fase es crucial. Cualquier retraso en el proceso de conteo puede afectar la capacidad de la empresa para cumplir con sus compromisos de entrega y ventas.



Figura 5. Método tradicional de recolección de esquejes. (Fuente: Autores)

1.4. Estado actual de la técnica

A nivel global, la automatización en la agricultura ha experimentado grandes avances. La incorporación de tecnologías como la mecatrónica, sensores y sistemas automatizados ha demostrado su eficacia en diversos campos, desde la siembra hasta la cosecha. *Onwubolu (2005)* destacó cómo la integración de sistemas mecatrónicos mejora la productividad y reduce la necesidad de mano de obra intensiva en las tareas agrícolas.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Para el caso específico del conteo de esquejes en crisantemos, los sensores tipo on/off han sido identificados como una opción viable, los cuales se presentan en la *Figura 6*. Estos sensores, comúnmente utilizados en aplicaciones industriales, son capaces de detectar y contar objetos de manera precisa y a bajo costo, lo que los convierte en una solución adecuada para el contexto de Flores El Capiro.

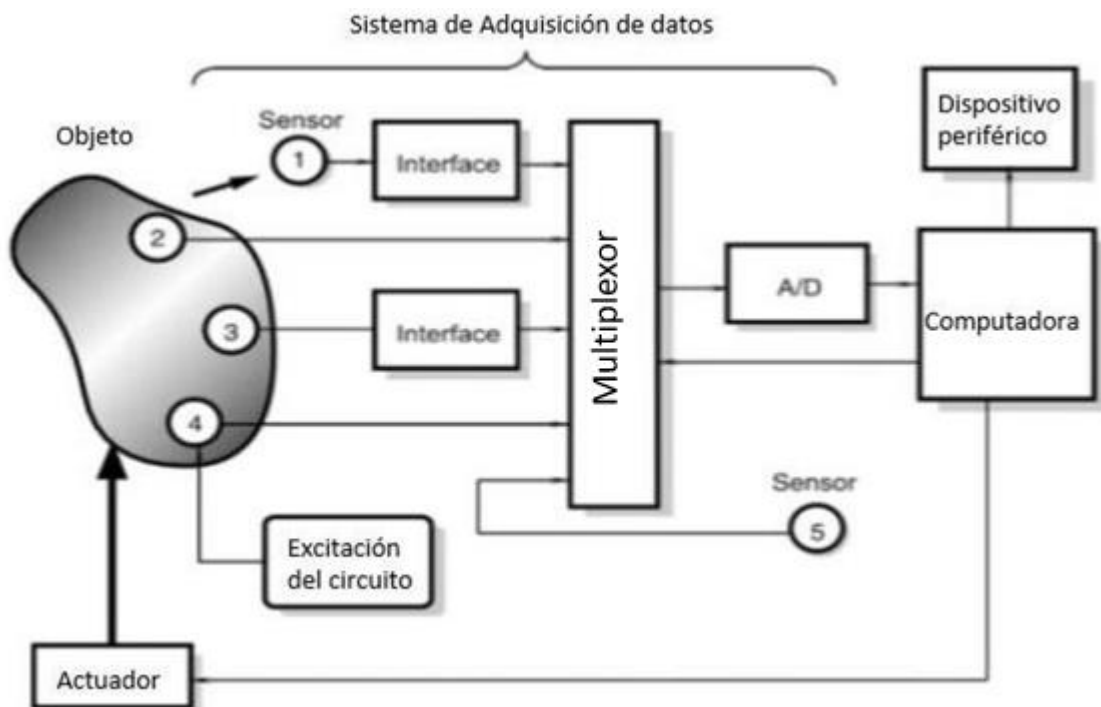



Figura 6. Sensores tipo on/off. (Fraden 2016).

Sin embargo, a pesar de los avances en la automatización agrícola, no se han identificado soluciones comerciales específicas para la automatización del conteo de esquejes en crisantemos. Esta ausencia de herramientas especializadas destaca la necesidad de desarrollar tecnologías adaptadas a este proceso particular, lo que motivó la creación del presente proyecto.

1.5. Soluciones existentes y benchmarking

En el proceso de investigación se revisaron diversas soluciones tecnológicas aplicadas al

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05


conteo en agricultura. Se encontraron dispositivos comerciales diseñados para el conteo de frutas y otros cultivos, pero no existe una solución específica para el conteo de esquejes de crisantemo. A nivel de patentes y registros, no se hallaron desarrollos registrados que aborden específicamente este problema, lo cual refuerza la relevancia del presente proyecto como una innovación en el campo.

Este vacío tecnológico subraya la importancia de realizar un estudio exhaustivo y desarrollar un sistema adaptado a las necesidades del sector floricultor. El desarrollo de un contador automático no solo mejora la precisión del conteo, sino que también contribuiría a reducir la carga laboral, optimizar los recursos y proteger la salud de los empleados.

1.6. Beneficios de la automatización

La automatización del conteo de esquejes no solo busca reducir errores humanos, sino también aliviar la carga física y mental de los trabajadores. *Norton (2019)* señala que la automatización en entornos laborales repetitivos puede reducir significativamente el estrés y el riesgo de lesiones, lo que tiene un impacto directo en el bienestar de los empleados y en la sostenibilidad operativa de las empresas. Además, *Groover (2019)* y *Zhang (2012)* destacan que la precisión, la eficiencia y la rapidez son factores clave para mejorar la competitividad de las empresas en mercados globalizados.

El proyecto surge de la necesidad de automatizar el proceso de conteo de esquejes en Flores El Capiro, una empresa donde este proceso actualmente se realiza de manera manual. La revisión del estado de la técnica y las soluciones disponibles muestra que, si bien existen tecnologías de conteo aplicadas a otros cultivos, no se ha encontrado una solución específica para el crisantemo. Por tanto, el desarrollo de un sistema automatizado para este proceso no solo representa una innovación, sino que también tiene el potencial de mejorar la productividad, reducir los errores y proteger la salud de los empleados.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

2. METODOLOGÍA

El desarrollo de la herramienta automática de conteo de esquejes para Flores El Capiro se estructuró en varias fases, abarcando desde la observación inicial del proceso hasta la validación del dispositivo en condiciones reales de producción. A continuación, se detallan las etapas clave de la metodología empleada:

Para dar cumplimiento al primer objetivo específico de conocer y comprender el proceso de corte actual, analizando los pasos involucrados, requisitos de precisión y desafíos específicos del proceso manual, se siguió la siguiente metodología:

2.1. Visitas de campo y análisis del proceso actual

El proyecto inició con una serie de visitas a la sede Plantas Madres de Flores El Capiro, donde se observó el proceso manual de corte y conteo de esquejes. Durante estas visitas, se identificaron las herramientas utilizadas como se muestra en la Figura 7 (placa de metal inoxidable, *T*) y los principales retos del proceso, incluyendo la carga física y mental que soportan los empleados, los errores de conteo y los problemas de contacto con el sensor en el sistema actual. Además, se recopiló información sobre el número de operarios por bloque, el tiempo estimado de trabajo y los márgenes de error en el conteo, los cuales fueron fundamentales para definir los requisitos del nuevo sistema.


	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05




Figura 7. Placa de corte. (Fuente: Autores)

2.2. Identificación de los requisitos del sistema


Con base en las observaciones de campo, se establecieron los principales requisitos que debía cumplir la herramienta automática. Estos incluyeron:

- a. Precisión del conteo:** Reducir el margen de error a menos de ± 3 esquejes por paquete de 200 unidades cada uno.
- b. Facilidad de uso:** Que el dispositivo no requiere una capacitación extensa ni interfiera con las tareas manuales del operario.
- c. Ergonomía:** Diseñar un dispositivo que reduzca el esfuerzo físico y mental de los operarios.
- d. Costo asequible:** Desarrollar un sistema económico, idealmente utilizando materiales de bajo costo y tecnologías de rápida respuesta tales como la manufactura aditiva.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE</p>	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

- e. Integración con el proceso actual:** Asegurar que el dispositivo se integre fácilmente con los métodos de corte y empaque ya existentes.

Una vez caracterizado el proceso relacionado a la cosecha de esquejes de crisantemo, se inicia a desarrollar un contador automático que se adapte a las necesidades identificadas en el proceso de corte de esquejes de crisantemo implementado en la empresa Flores el Capiro, considerando reducir la carga de trabajo manual y la precisión requerida, esto con el fin de dar cumplimiento al segundo objetivo específico del proyecto.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05


3. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Conocer y comprender el proceso de corte actual, analizando los pasos involucrados, requisitos de precisión y desafíos específicos del proceso manual

Luego de realizar la visita de campo y levantamiento de requerimientos, se presenta en la *Tabla 1* las condiciones del proceso que deben satisfacer los cosechadores durante su labor.

Tabla 1. Parámetros del proceso de cosecha de esquejes de crisantemo.

Categoría	Variables	Condiciones
Producción	Esquejes por bolsa	200 esquejes por bolsa
	Bolsas por hora	mínimo 7 bolsas por hora
Calidad	Esquejes por bolsa	200 esquejes por bolsa
	Esquejes con hoja en base	Revisión visual con mesa de calidad
	Esquejes largos y cortos	Revisión visual con mesa de calidad
Control de errores	Más o menos 7 errores por bolsa	Medidas de esquejes según la variedad: 3.5 cm, 4.5 cm y 5 cm

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

3.2. Diseño del dispositivo y selección de componentes

Para el desarrollo del dispositivo, se realizaron diferentes búsquedas de elementos comerciales que logran satisfacer los requerimientos del proceso. En vista de que no se evidenció una solución comercial que lograra resolver el problema asociado al conteo de los esquejes por parte de los cosechadores, se inició la concepción del dispositivo mecatrónico que tenía como fin la automatización de este proceso de conteo para disminuir el estrés mental asociado a la tarea repetitiva del conteo de los esquejes.

Inicialmente se planteó una estructura funcional asociada a las funciones que se debían ejecutar con el fin de lograr el conteo de los esquejes cosechados por parte de los colaboradores, la cual se muestra en la *Figura 8*.

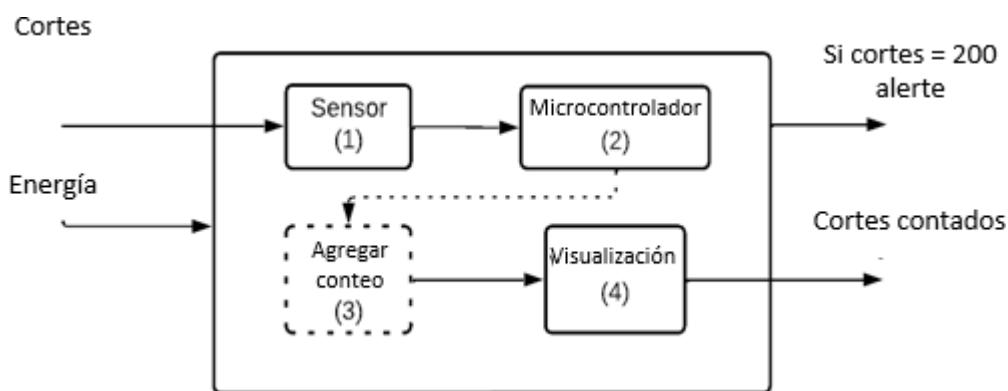


Figura 8. Estructura funcional. (Fuente: Autores)

Luego con base a esta estructura funcional y los requerimientos del proceso se emitieron las especificaciones de diseño presentadas en la *Tabla 2*.



	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Tabla 2. Especificaciones de diseño del dispositivo para el conteo de esquejes cosechados.

Métrico	Valor
Dimensión (l x w x h)	150 x 50 x 50 mm
Peso	< 400 gr
Ergonómico	Se adapta a la mano
Seguridad	Baja probabilidad de lesiones
Personas capaces de usar	Cualquier operador
Materiales	Dispositivos electrónicos de fácil acceso en el mercado
Manufactura	Carcasa de impresión 3D, plástico
Ensamblaje	Fácil de instalar
	Partes internas adjuntas
	Sin cableado
Esquejes contados	>25/min
Incertidumbre	$\leq \pm 3$ esquejes
Batería	8 horas

Teniendo en cuenta las especificaciones de diseño y la estructura funcional, donde se presentan a su vez las subfunciones que permiten desarrollar la función del conteo automático de los esquejes cosechados por parte de los colaboradores, se realizaron diferentes propuestas mediante el planteamiento de una matriz morfológica la cual se presenta en la *Figura 9*.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

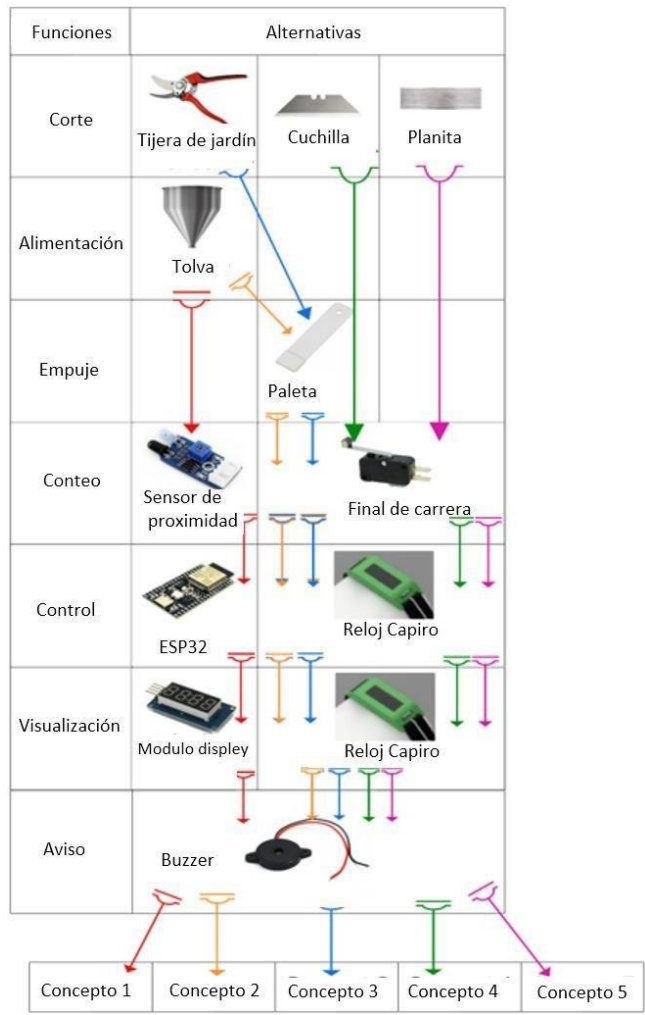



Figura 9. Matriz morfológica para la concepción de alternativas de diseño para el contador de esquejes. (Fuente: Autores)

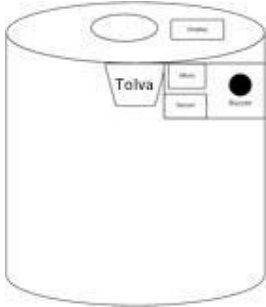
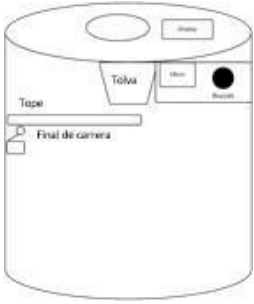
La matriz morfológica es una herramienta que permite explorar y filtrar diferentes opciones de diseño mediante la combinación sistemática de variables clave relacionadas con el prototipo. En este caso, se utiliza para analizar las posibles configuraciones del diseño y seleccionar aquellas que mejor cumplen con los requisitos del proyecto.


	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

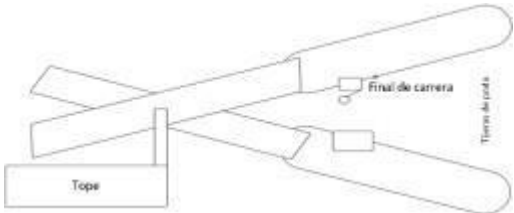
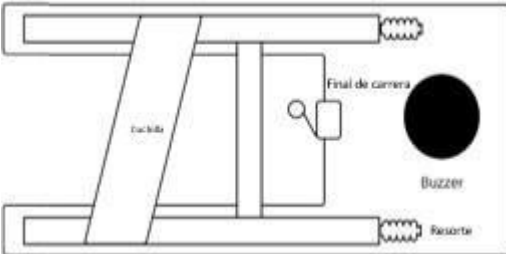
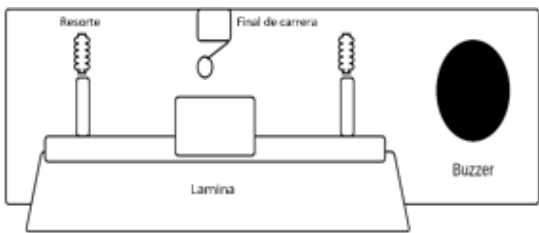
El concepto de la matriz surge de la necesidad de estructurar y evaluar alternativas de manera creativa y organizada. Dicha metodología fue establecida por Zwicky, F. (1969).

Como resultado de las diferentes posibles combinaciones obtenidas en la matriz morfológica, teniendo en cuenta criterios técnicos y del proceso, se concibieron 5 alternativas como posibles soluciones a desarrollar a nivel de detalle y que se presentan en la *Tabla 3*.


Tabla 3. Esquemas de alternativa de diseño como solución para el conteo automático de los esquejes cosechados por parte de los colaboradores. (Fuente: Autores)

<p>Dispositivo portátil que se sujeta a la pierna de los cosechadores. Cuenta con un bolsillo con embudo en la entrada que, al pasar el esqueje, activa un sensor de paso para realizar el conteo, el cual se muestra en una pantalla en la parte superior. Al alcanzar la cantidad programada, el dispositivo notifica mediante un buzzer</p>	<p>CONCEPTO 1</p> 
<p>Un dispositivo portátil para cosechadores, sujeto a la pierna, con un bolsillo con embudo que guía el esqueje hacia una paleta. Un sensor activa el conteo, mostrado en una pantalla superior, y un buzzer notifica al alcanzar la cantidad programada.</p>	<p>CONCEPTO 2</p> 

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

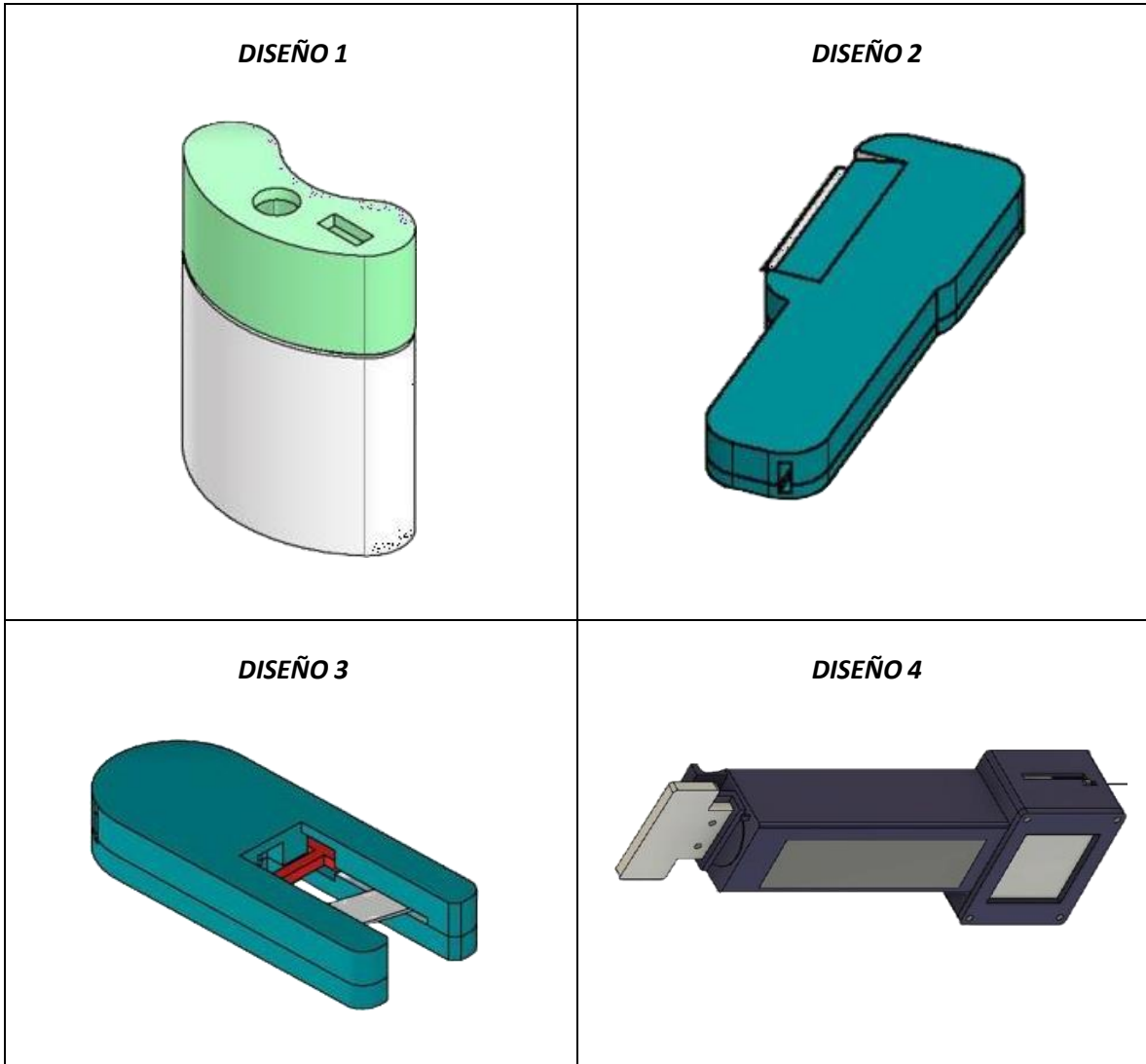
<p>Tijeras equipadas con un sensor de final de carrera que se activa al realizar el corte, permitiendo detectar y registrar la acción automáticamente.</p>	<p style="text-align: center;">CONCEPTO 3</p> 
<p>Cuchilla con resortes que, al final de su recorrido, se desliza entre guías empujada por el esqueje. Al moverse hacia atrás, activa un sensor de final de carrera para registrar el conteo. Al alcanzar 200 cortes, se activa una notificación de finalización mediante un Buzzer.</p>	<p style="text-align: center;">CONCEPTO 4</p> 
<p>Cuchilla con resortes que, al final de su recorrido, es empujada lateralmente por el esqueje. Al moverse hacia atrás, se desliza entre guías y activa un sensor de final de carrera para registrar el conteo. Al llegar a 200 cortes, se emite una notificación de finalización mediante un Buzzer.</p>	<p style="text-align: center;">CONCEPTO 5</p> 

Luego de tener las alternativas de diseño, se procedió a realizar una filtración en común acuerdo con el cliente evaluando los pros y contra de cada una de las alternativas con el fin


	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

de seleccionar las mejores alternativas a desarrollar, de las cuales se presentan los modelos CAD en la *Tabla 4*.

Tabla 4. Alternativas de diseño para selección del cliente. (Fuente: Autores)



Una vez definidas las distintas alternativas, se evaluaron junto con el cliente y los cosechadores para seleccionar la mejor opción. Tras un análisis detallado, se decidió que el Diseño 4 era la mejor opción para desarrollar en detalle. Esta solución consistía

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

principalmente en un sistema mecánico de accionamiento durante la cosecha y un sistema electrónico que validaba la operación mediante el conteo de esquejes cosechados.


El diseño elegido fue aquel que logró una integración óptima de los componentes, garantizando un dispositivo seguro, ligero y fácil de manipular, al tiempo que cumplía con todas las especificaciones de funcionalidad.

3.3. Desarrollar un contador automático que se adapte a las necesidades identificadas en el proceso de corte de esquejes de crisantemo, considerando reducir la carga de trabajo manual y la precisión requerida

Luego de determinar claramente los aspectos relevantes del proceso, se procedió inicialmente con el diseño del sistema electrónico que tiene como función realizar el conteo automático de la operación de cosecha de esquejes.

3.3.1. Dispositivo para el conteo de esquejes cosechados - Sistema electrónico

En la Figura 10 se muestra el diseño del circuito que se realizó utilizando Tinkercad, software de simulación electrónica para validar el funcionamiento del sistema antes de ensamblar los componentes. En esta etapa se diseñó el circuito para optimizar el tamaño y el peso del dispositivo, manteniendo la portabilidad.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

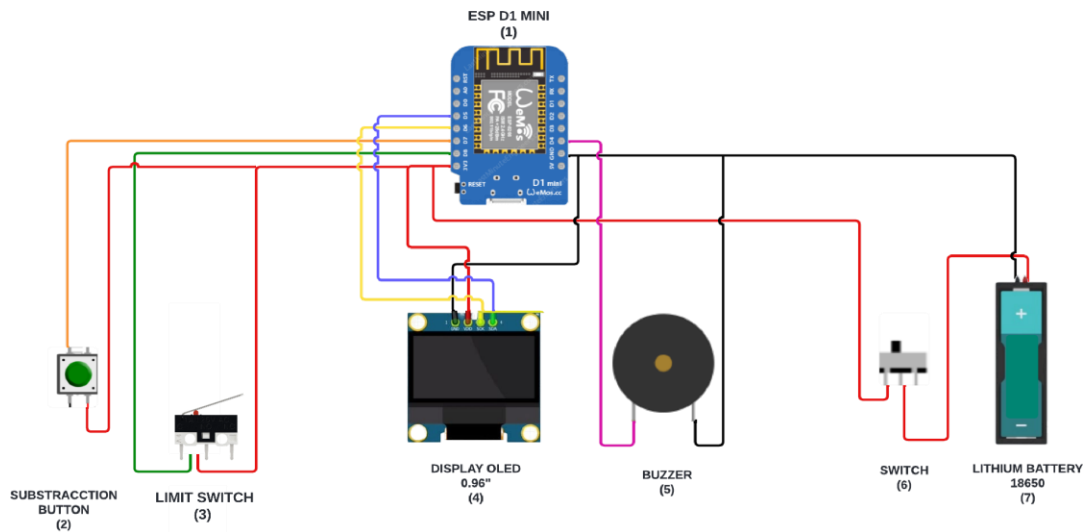


Figura 10. Circuito del dispositivo. (Fuente: Autores)

Una vez validado el circuito a nivel de simulación, se procedió con su implementación a nivel experimental con el fin de validar su correcto funcionamiento previo a la etapa del diseño mecánico del dispositivo. Este dispositivo se muestra a nivel experimental en la *Figura 11*.

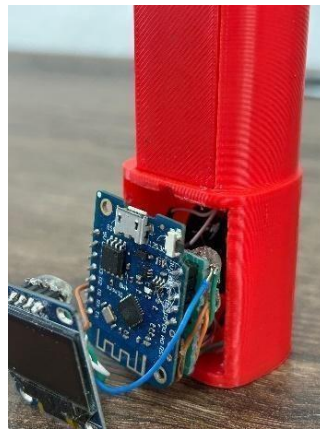



Figura 11. Montaje del circuito electrónico para la automatización del conteo de esquejes cosechados. (Fuente: Autores)

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

3.3.2. Dispositivo para el conteo de esquejes cosechados - Sistema mecánico

Con el circuito electrónico válido tanto a nivel de simulación como experimental, se procedió con el diseño mecánico del dispositivo, teniendo en cuenta los tamaños y características de los componentes electrónicos seleccionados. Una vez definidos los componentes, se evaluaron sus dimensiones, peso y disposición para asegurar que el diseño final cumpliera con los requisitos de portabilidad, facilidad de uso y ligereza establecidos por el cliente. El objetivo fue integrar de manera eficiente, como se aprecia en la *Figura 12*, todos los elementos en un formato compacto, optimizando el espacio disponible sin comprometer el rendimiento o la seguridad. Adicionalmente los planos constructivos de los diferentes componentes que integran el conjunto se presentan en los planos adjuntos en la tabla de anexos del proyecto.

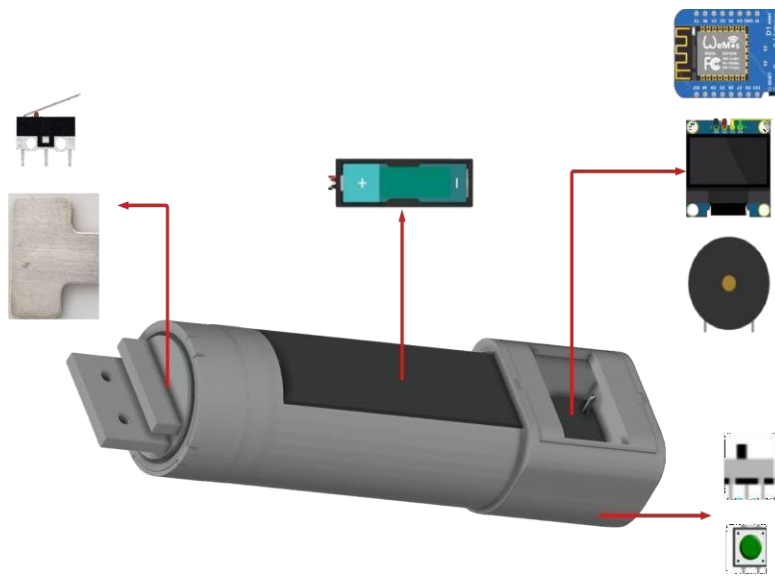



Figura 12. Modelo CAD del Contador automático de esquejes. (Fuente: Autores)

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

3.3.3. Dispositivo para el conteo de esquejes cosechados - Fabricación y ensamble

Con los diseños de los subensambles listos, se procedió a la fabricación del prototipo tal como se muestra en la *Figura 13*. El prototipo fue diseñado para ser colocado de manera que no interfiriera con el proceso de corte ni añadiera peso significativo.




Figura 13. Contador automático de esquejes cosechados. (Fuente: Autores)

El dispositivo está conformado por los siguientes componentes que se presentan en la *Tabla 5*.


Tabla 5. Componentes que integran el dispositivo.

Descripción de la pieza	Especificaciones técnicas
Soporte de batería para batería 18650	Soporte de batería para batería de litio 18650.
WeMos D1 Mini V3 ESP8266	La tarjeta WeMos D1 Mini V3 es una tarjeta mini WiFi basada en el chip ESP8266, compatible con Arduino, con NodeMcu V2 y MicroPython. Con conector micro USB y driver CH340.
Display OLED 0.96 Pulgadas	0.96" OLED. Con una resolución de 128 X 64 y comunicación I2C. Caracteres blancos

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Zumbador redondo 3/24 V	BZ-005Zumbador con voltaje de funcionamiento de 3 a 24 VDC.	
Mini interruptor deslizante 2 posiciones	Mini interruptor deslizante lateral de 3 pines. Color plateado con pasadores de sujeción.	
Batería de litio 3.7 V 2600 mAh	Batería recargable con tecnología de iones de litio, voltaje de salida 3.7 V, 2600 mAh reales. Cabeza plana.	
Tornillo metálico M2.5*3 mm (unidad)	Tornillo metálico de 3 mm tipo M2.5. Fabricado en acero inoxidable 304.	
Mini interruptor	Mini interruptor 1 A/125 VAC, tiene un contacto normalmente abierto (NO) y un contacto normalmente cerrado (NC).	
Interruptor de botón	-	
Filamento de impresión 3D	Filamento PLA 1,75 mm	
Paracord	Paracord 3 mm	
Resorte de metal	10 milímetros de ancho con diámetro exterior 0,7 mm, calibre 0,5 mm, acero inoxidable	

El proceso de conteo comienza con la activación del dispositivo al detectar la presencia de un esqueje. Esta iniciación se lleva a cabo mediante un sensor (1) que reconoce la entrada del esqueje en el sistema. Una vez detectado, el sensor envía una señal al controlador del dispositivo (2). El controlador interpreta la señal recibida y comienza el proceso de conteo, registrando la entrada del esqueje y sumando uno al contador (3). La cantidad actual se muestra en una pantalla (4). Este proceso continúa hasta que se alcanzan 200 esquejes,

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

momento en el cual se envía una señal que activa un Buzzer para indicar al cosechador que se ha completado un paquete.


3.4. Realizar pruebas del medidor automático en condiciones reales de producción en Flores El Capiro para validar su funcionamiento y realizar los ajustes necesarios para mejorar su rendimiento y confiabilidad

3.4.1. Dispositivo para el conteo de esquejes cosechados - Validación en campo

Una vez fabricado y validado a nivel de laboratorio el correcto funcionamiento del dispositivo, se procedió a la realización de las pruebas del contador automático en condiciones reales de producción en Flores. Para esto se solicitó a uno de los cosechadores, luego de una capacitación en el manejo del dispositivo, que realizará la labor de cosechado utilizando la herramienta tal como se evidencia en la siguiente *Figura 14*.



Figura 14. Prueba de prototipado 1. (Fuente: Autores)


	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE</p>	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Adicionalmente se presenta la *Figura 15* donde se evidencia claramente el correcto funcionamiento del dispositivo en pruebas de campo.



Figura 15. Prueba de prototipado 2. (Fuente: Autores).

Luego de utilizar la herramienta, se consultó a los cosechadores sobre su percepción respecto a factores como ergonomía, funcionalidad y efectividad. En la *Figura 16*, se presentan los testimonios de una operaria y supervisora.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05


Contador de esquejes

El contador de esquejes diseñado para el área de cosecha es una herramienta muy funcional, que facilitará el trabajo de los cosechadores, y mejorará la exactitud empacada en las bolsas de esqueje, lo cual es algo que favorece a nivel productivo la empresa porque los presupuestos sembrados serán mucho más exactos y adicional es algo beneficioso para los empleados porque el conteo es uno de los temas a revisar en calidad y esto va ligado a las bonificaciones, si el conteo mejora no tendrían dificultades para perder la bonificación.

Sería muy importante mejorar la ergonomía de la herramienta para comodidad del empleado y para que no haya repercusión en la salud de la persona a la hora de utilizarla.


Atentamente:
 María Cristina Arias.
 Supervisora de calidad y despacho de esqueje

Figura 16. Prueba de prototipado 1. (Fuente: Autores)


	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

4. CONCLUSIONES


- El dispositivo automatizado para el conteo de esquejes optimiza el proceso de recolección al reducir significativamente los errores de omisión y duplicación, eliminando la dependencia de la memoria y atención de los trabajadores. Esto asegura un conteo más preciso y uniforme, lo que mejora la exactitud en los registros de cosecha y previene pérdidas de producción. Además, al aliviar la carga física y mental de los operarios, mejora su bienestar, reduciendo el riesgo de estrés y agotamiento. El diseño y la integración eficiente de los componentes electrónicos y mecánicos permiten que el dispositivo opere con confiabilidad en condiciones de alta demanda.
- Dado que el conteo manual de esquejes es propenso a errores de omisión y duplicación, el dispositivo automatizado reduce significativamente estos problemas al eliminar la dependencia de la memoria y atención del trabajador. Esto asegura un conteo más preciso y uniforme, evitando pérdidas de producción y mejorando la exactitud en los registros de cosecha.
- La labor de contar manualmente es agotadora y puede generar estrés y fatiga en los trabajadores, especialmente en jornadas largas. El dispositivo automatizado alivia esta carga física y mental al hacerse cargo del conteo, disminuyendo el riesgo de burnout y mejorando el bienestar de los operarios en trabajos repetitivos y exigentes.
- El conteo manual puede llevar a variaciones en los registros diarios de producción debido a la falta de precisión. Con el dispositivo, la empresa accede a datos consistentes y confiables sobre el número de esquejes recolectados, lo que facilita el control de inventario y mejora la previsión de producción para cumplir con las demandas del mercado.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

- Con el dispositivo los trabajadores pueden realizar el conteo exacto de esquejes sin la supervisión constante, lo cual ayuda a estandarizar la producción y facilitar el cumplimiento de parámetros de calidad. Esto resulta especialmente valioso en contextos donde el control de calidad es crítico para el valor de mercado del producto final.
- La automatización del conteo libera a los trabajadores para realizar otras tareas que requieren habilidades especializadas, como la selección y verificación de esquejes en términos de calidad. Esto permite una mejor utilización de los recursos humanos.
- Se logró diseñar y fabricar un dispositivo automático para el conteo de esquejes, optimizando el proceso en Flores el Capiro. Este dispositivo no solo reduce el margen de error en el conteo, sino que también alivia la carga física y mental de los trabajadores, mejorando la precisión y eficiencia en la recolección
- El uso de sensores de paso (tipo on /off) permite detectar con precisión la entrada de esquejes en el dispositivo, garantizando un conteo preciso en condiciones de alta frecuencia. La de este tipo de sensor es óptima por su bajo consumo de energía y rápida selección, lo cual mantiene la eficiencia sin añadir complejidad al sistema.
- El dispositivo logró mantener la precisión en condiciones de uso intensivo, lo que confirma su capacidad para operar en un entorno de recolección rápida. La configuración del sensor y el controlador garantizan que el sistema pueda registrar esquejes de manera confiable sin pérdida de precisión, incluso en períodos de alta demanda.
- La integración entre los componentes electrónicos (sensores, controlador y pantalla OLED) y los elementos mecánicos del dispositivo resultaron eficientes, garantizando que el conteo sea fluido y preciso. Esta interacción entre módulos permite que el dispositivo registre cada esqueje sin interrupciones, adaptándose bien a las dinámicas de la recolección agrícola.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

- En cuanto al diseño y ergonomía, los operarios expresan que, aunque el dispositivo es funcional y fácil de usar, sería ideal que fuera menos grueso para mejorar aún más su comodidad durante largas jornadas de trabajo. Reducir el grosor permitiría una mejor adaptación al cuerpo del trabajador, minimizando la incomodidad y facilitando el manejo continuo del dispositivo sin interferir en sus movimientos. Esta retroalimentación destaca una oportunidad de mejora en el diseño, enfocada en optimizar la ergonomía para lograr un dispositivo aún más práctico y confiable.
- La prueba en campo del prototipo "Contador de esquejes" con el personal fue exitosa, demostrando que el diseño cumple con los requisitos operativos y funcionales planteados a lo largo de la investigación aplicados en un entorno real. El equipo de trabajo y los operadores que participaron en la prueba demostraron satisfacción con el rendimiento del prototipo, destacando su facilidad de uso y efectividad en la tarea asignada. La evaluación del personal sugiere que el prototipo no es solo óptimo para su propósito actual, sino también escalable. Esto indica que puede adaptarse a un uso más amplio, aumentando su potencial de aplicación dentro de la operación y facilitando su integración en procesos futuros. En conclusión, los resultados positivos de la prueba refuerzan la viabilidad del prototipo para futuras expansiones y mejoras en productividad.


	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

REFERENCIAS

- Childs, PR (2019). Manual de ingeniería de diseño mecánico (2.ª ed.). Butterworth-Heinemann.
- Semana del Crisantemo. (sin fecha). Semana del Crisantemo. Recuperado el 2 de agosto de 2024 de <https://chrysanthemumweek.com/>
- Groover, MP (2019). Automatización, sistemas de producción y fabricación integrada por computadora (5.ª ed.). Pearson.
- Zhang, Q. (Ed.). (2012). Tecnologías de agricultura de precisión para la agricultura de cultivos . CR.
- Zwicky, F. (1969). Descubrimiento, invención, investigación a través del enfoque morfológico [Título original traducido]. Editorial Macmillan.
- Ministerio del Trabajo de Colombia. (2015). Resolución 1072 de 2015: Decreto único reglamentario del sector trabajo . <https://www.mintrabajo.gov.co/>
- Norton, RL (2019). Diseño de máquinas: un enfoque integrado (5.ª ed.). Pearson.
- Onwubolu, GC (2005). Mecatrónica: principios y aplicaciones . Elsevier.
- Fraden, J. (2016). Manual de sensores modernos: Física, diseños y aplicaciones (5ª ed.). Saltador. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19303-8>

Imágenes de matriz morfológica.

- Tijeras de podar Bahco, P 108-20-F. (sin fecha). Compras ventajosas en Knives And Tools.ie <https://www.cuchillos.es/decir/es/pt/-bahco-poda-tijeras-p108-20-f.htm>
- Zumbador: Zumbador piezoeléctrico redondo. 30 mm. (Dakota del Norte). Didácticas Electrónicas. <https://www.didactic.com/didáctica.com/índice.php/es-y-video/buzzer/sfn-27-d>


	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Display 7 segmentos: Módulo Display 4 dígitos. (Dakota del Norte). Didácticas Electrónicas. <https://www.didactic.com.didacticaselectronicas.com/index.php/optoele/mostrar-7-segmentos/disp-4-excavar-detalle>

Fox Run lengüeta plástica superior gaseosa cerveza bebida. (nd-b). Mercado Libre. https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-485168-zorro-corre-lengua-plastico-superiores-gaseosas--cerveza-bebida-_JM

Herramientas Segomo. (Dakota del Norte). Stanley Hoja utilitaria extra resistente, 2-7/16 pulgadas, acero - 100 . <https://segomotools.com/es/productos/stanle-extra-resistente-servicio-utilidad-cuchilla-2-7-16-pulgadas-acero-100-por-pk-11931a>

Sistema, D. (sin fecha). MEDID - Contador manual de 4 dígitos MEDID. Dato producto. Recuperado <https://medid.datoproducto.com/producto/1004101/1015344/contador-manual-4-d>

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

APÉNDICE

Apéndice A: Cálculos de diseño y durabilidad de batería

Para determinar la duración de la batería se necesita conocer la información de cada componente que integra el dispositivo, dicha información se presenta en la *Tabla 6*, se analizó el consumo de cada componente del sistema. Los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla 6: Especificaciones de los componentes

Componente	Consumo Promedio (mA)	Voltaje (V)
<i>Sensor tipo bandera</i>	20	3.3
<i>Microcontrolador</i>	80	3.3
<i>Pantalla OLED</i>	10	3.3
<i>Buzzer</i>	15	3.3


La capacidad de la batería es de 2600 mAh a 3.7 V. El consumo promedio se estima como:

$$I_{total} = I_{sensor} + I_{microcontrolador} + I_{pantalla} + I_{buzzer}$$

$$\rightarrow 20 \text{ mA} + 80 \text{ mA} + 10 \text{ mA} + 15 \text{ mA} = 125 \text{ mA}$$

La duración aproximada de la batería se calcula como:

$$Duración = \frac{\text{Capacidad de la batería}}{I_{total}}$$

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

$$\rightarrow \frac{2600 \text{ mAh}}{125 \text{ mA}} = 20.8 \text{ horas}$$

En condiciones normales de operación, la batería puede durar hasta 20 horas continuas, lo que es suficiente para jornadas de trabajo extendidas.

Apéndice B: Diseño CAD y planos

Este apéndice contiene los diseños en CAD de las piezas que conforman el dispositivo automatizado para el conteo de esquejes. Los Formato de los archivos son los siguientes:

- **Archivos CAD:** Formato .STL para impresión 3D y .STEP para edición en software CAD.
- **Planos Técnicos:** Formato .PDF que incluye vistas isométricas y cortes principales.

Nota: Los diseños y planos pueden ser consultados en los anexos digitales adjuntos a este informe.

Código	FDE 028
Versión	01
Fecha	2015-10-05

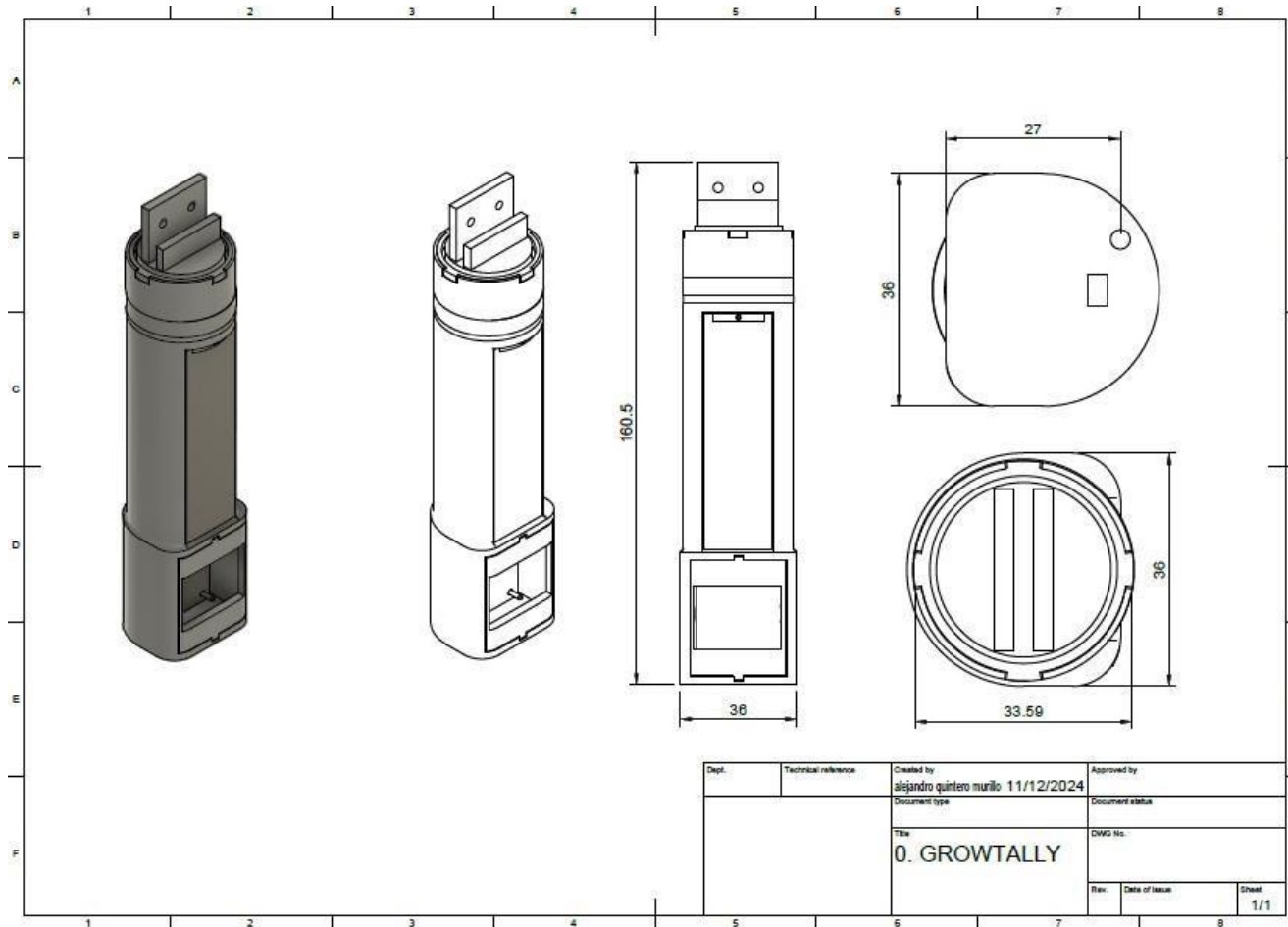



Figura 17. Plano GROWTALLY

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

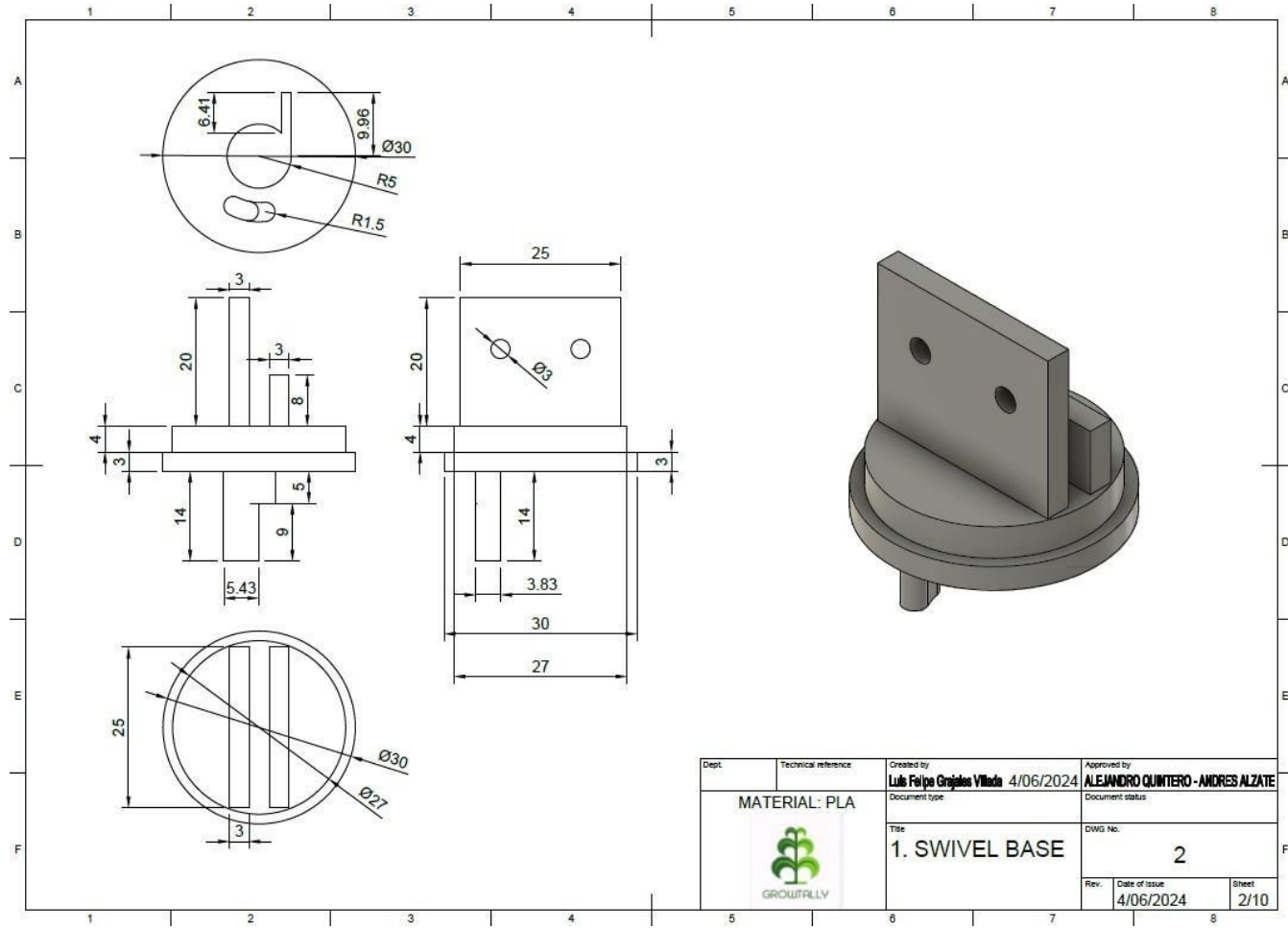



Figura 18. Plano SWIVEL BASE.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

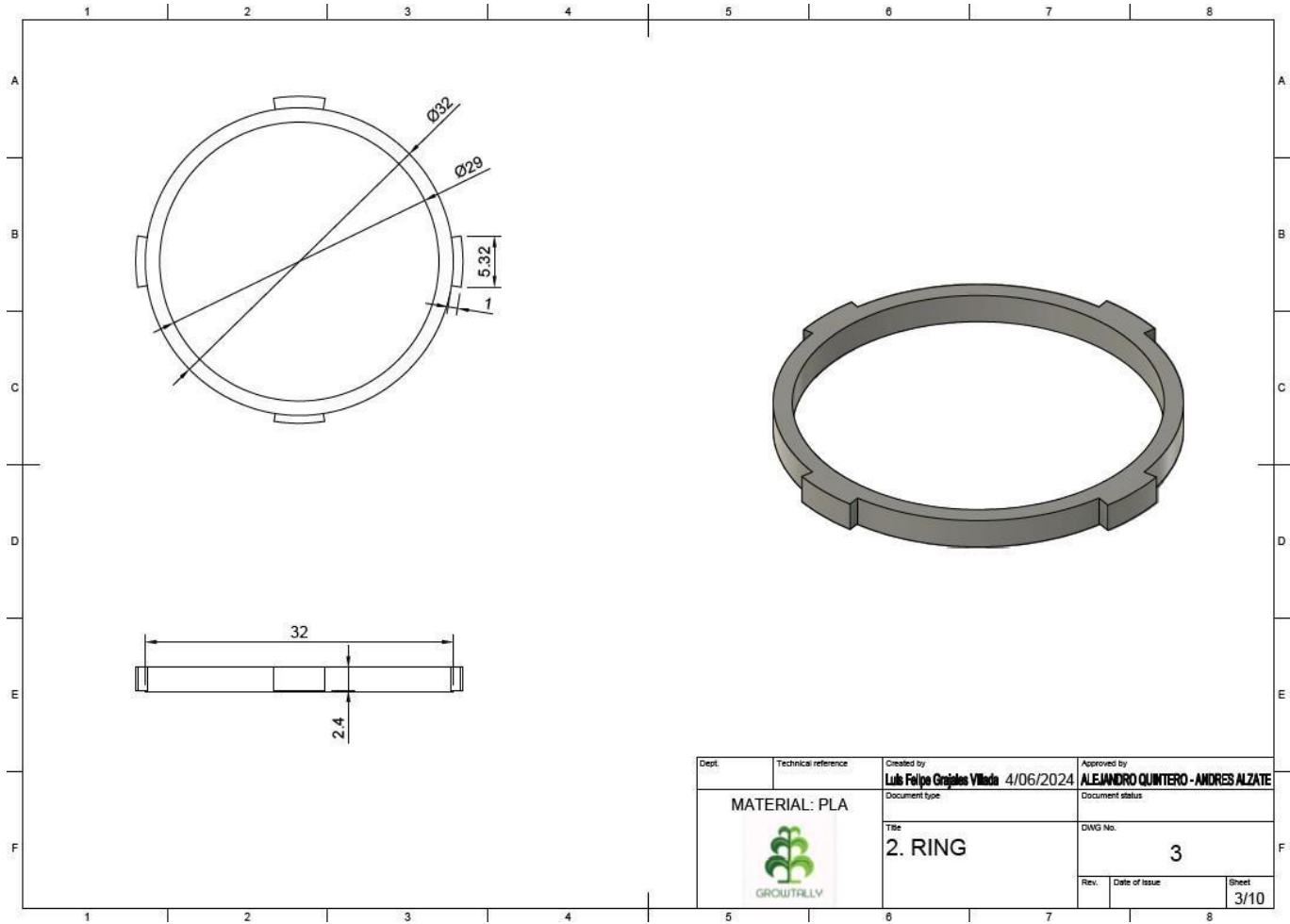



Figura 19. Plano RING.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

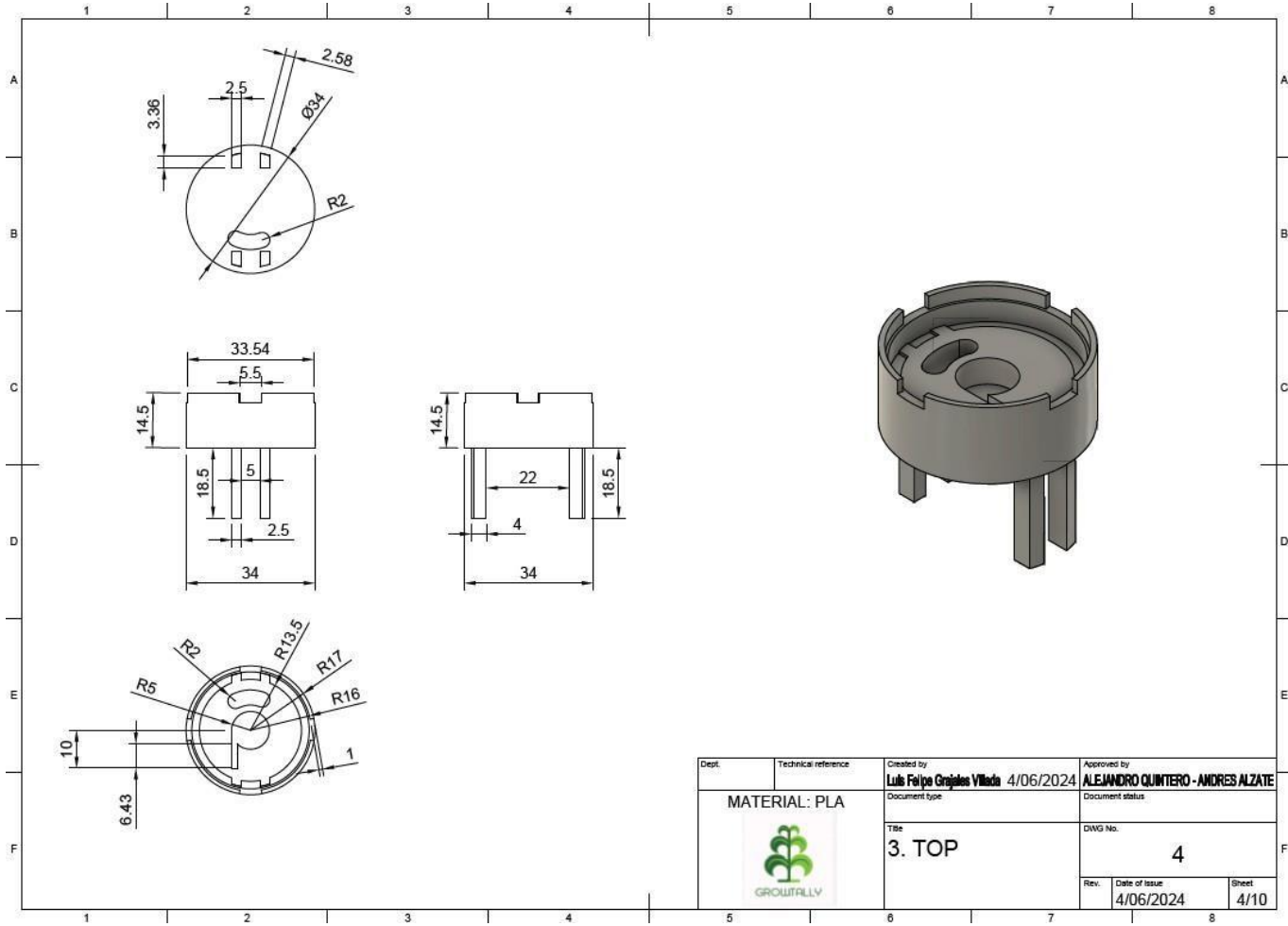



Figura 20. Plano TOP.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

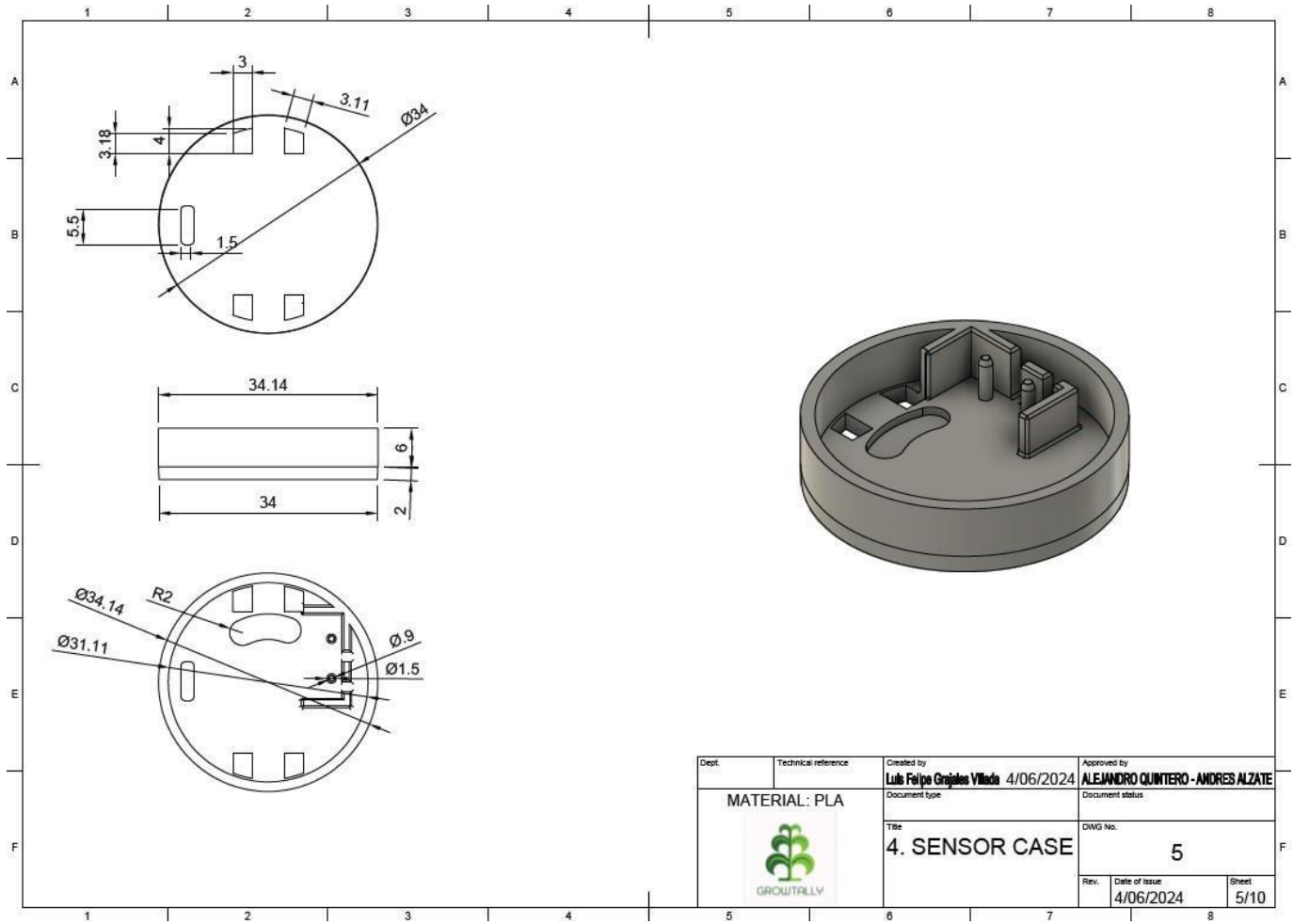



Figura 21. Plano SENSOR CASE.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

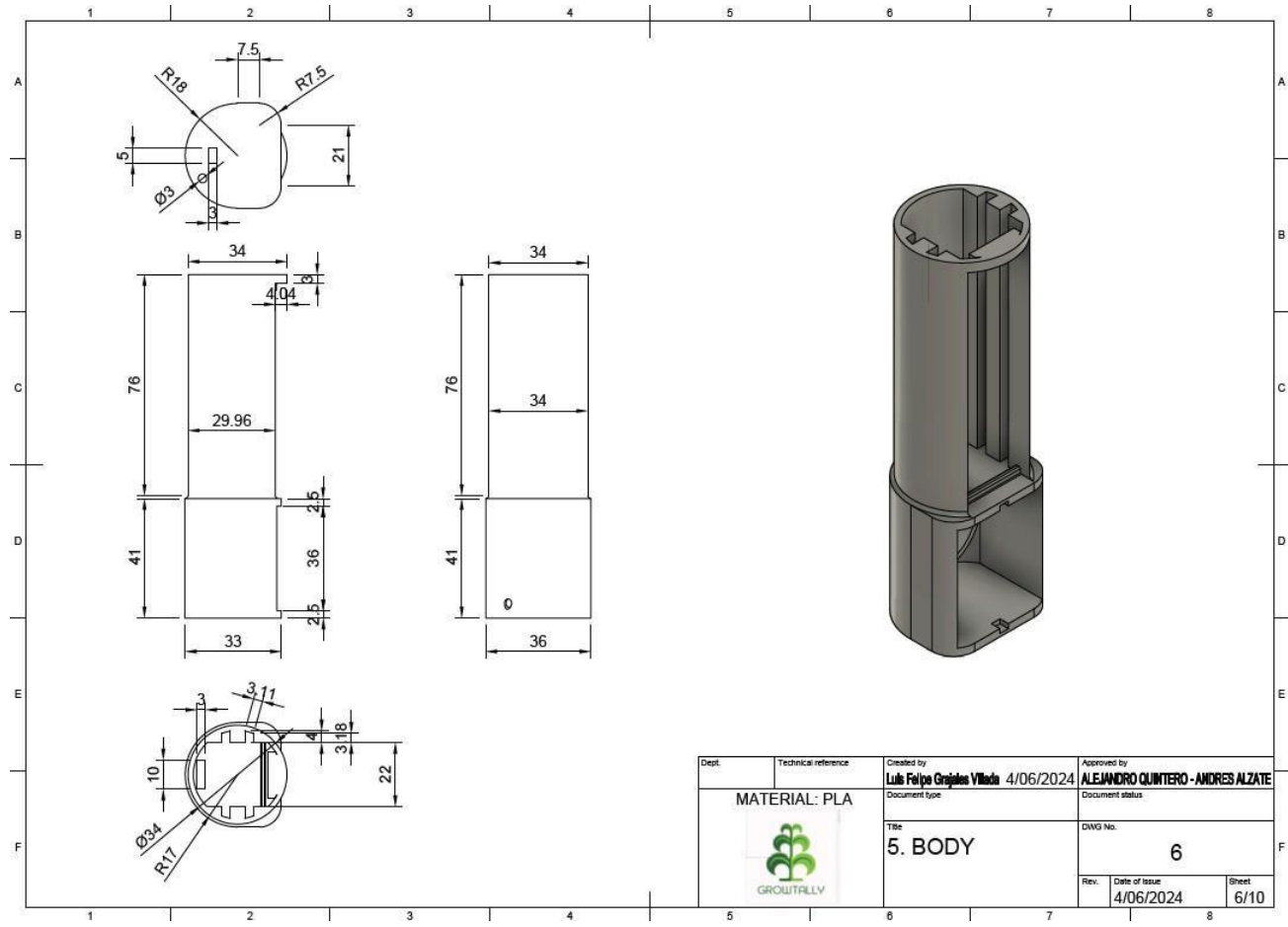


Figura 22. Plano BODY.

Código	FDE 028
Versión	01
Fecha	2015-10-05

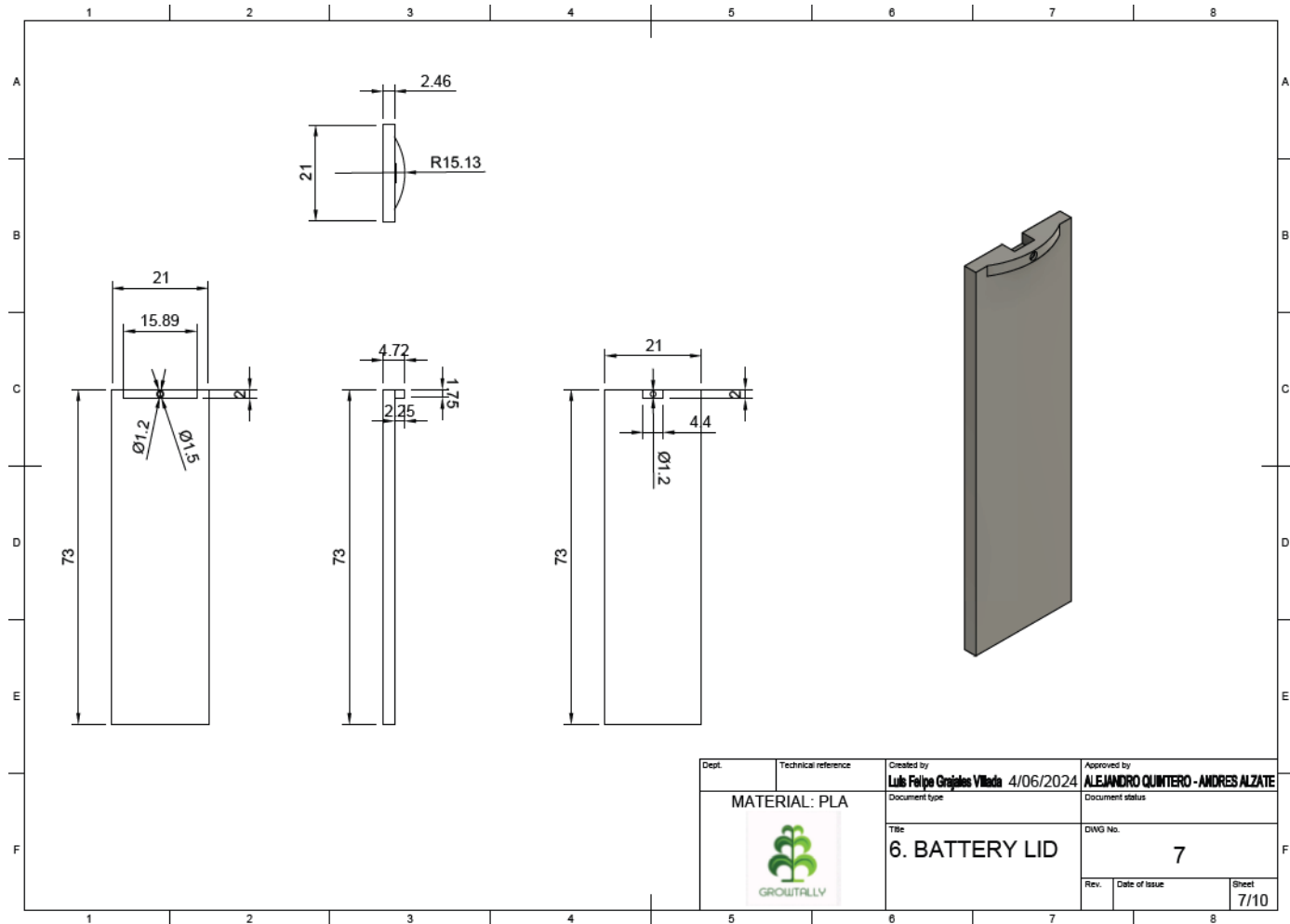



Figura 23. Plano BATTERY LID.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

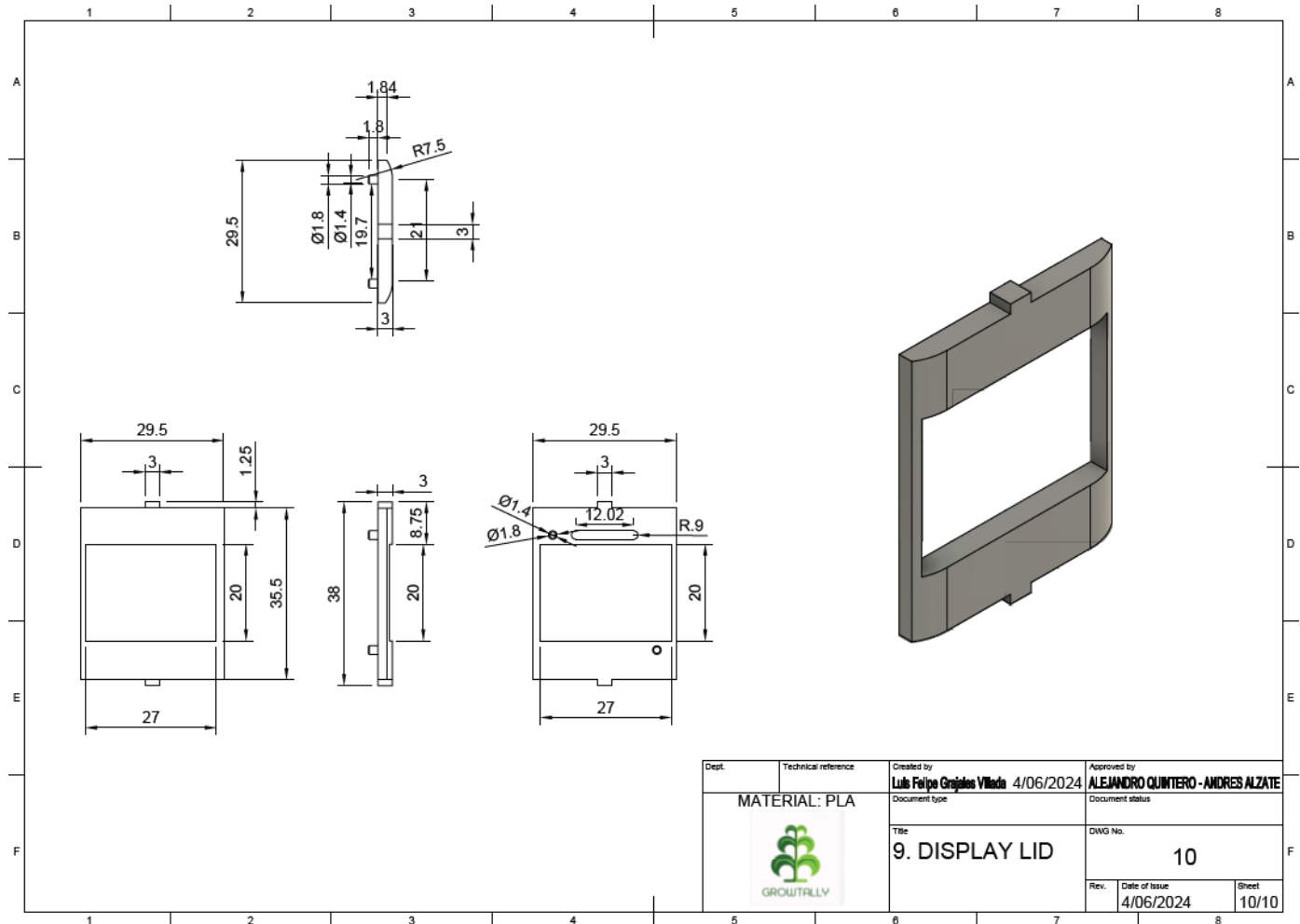



Figura 24. Plano DISPLAY LID

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Apéndice C: Código de programación

El siguiente código fue desarrollado en lenguaje C++ para ser implementado en un microcontrolador compatible con Arduino (WeMosD1mini ESP8266). Este programa gestiona el conteo automático de esquejes y la detección de falsos positivos mediante pulsadores. Además, integra una pantalla OLED para mostrar el conteo y utiliza un buzzer como notificación acústica cuando se alcanza el setpoint configurado.


Objetivos del Código:

1. Contar automáticamente los esquejes detectados por el pulsador.
2. Detectar y corregir falsos positivos con un pulsador adicional.
3. Notificar al usuario mediante un buzzer cuando se alcanza el setpoint predefinido.
4. Mostrar el conteo en tiempo real en una pantalla OLED.

Nota: El Código fuente del proyecto “Contador_de_esquejes.ino” está disponible en los anexos digitales adjuntos al informe.

Explicación de Secciones del Código:

1. **Inicialización de la pantalla OLED:** Configura la pantalla OLED y limpia el buffer para comenzar la visualización del conteo.
2. **Manejo de debounce:** Se utiliza un retardo de 50 ms para evitar lecturas erróneas de los pulsadores.
3. **Lógica de conteo:** Cada pulsación del botón incrementa el conteo, y un botón adicional permite corregir falsos positivos.


	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

4. **Notificación con buzzer:** Al alcanzar el setpoint, el buzzer se activa por un intervalo de 2 segundos.
5. **Visualización:** El conteo se muestra en tiempo real en la pantalla OLED.

```

6. #include <Wire.h>
7. #include <Adafruit_GFX.h>
8. #include <Adafruit_SSD1306.h>
9.
10. // Definimos el ancho y alto de la pantalla
11. #define SCREEN_WIDTH 128
12. #define SCREEN_HEIGHT 64
13.
14. // Creamos el objeto para la pantalla OLED
15. Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);
16.
17. const int ContadorPin = D6; // Pin al que está conectado el pulsador
    de conteo
18. const int FalsosPin = D7; // Pin al que está conectado el pulsador de
    falsos positivos
19. const int BuzzerPin = D3; // Pin al que está conectado el buzzer
20.
21. int ContadorState = HIGH; // Estado actual del pulsador de conteo
22. int FalsosState = HIGH; // Estado actual del pulsador de falsos
    positivos
23. int lastContadorState = HIGH; // Último estado del pulsador de conteo
24. int lastFalsosState = HIGH; // Último estado del pulsador de falsos
    positivos
25. int Conteo = 0; // Variable para almacenar el conteo
26. int setpoint = 10;
27.
28. unsigned long lastDebounceTimeContador = 0; // Última vez que se
    cambió el estado del contador
29. unsigned long lastDebounceTimeFalsos = 0; // Última vez que se cambió
    el estado de falsos
30. unsigned long debounceDelay = 50; // Tiempo de retardo para debounce
31.
32. unsigned long previousMillis = 0; // Tiempo anterior
33. const long interval = 2000; // Intervalo para el buzzer (2 segundos)
34. bool buzzerOn = false; // Estado del buzzer
35.


```

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

```

36.void setup() {
37.  // Inicializamos la pantalla
38.  if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) { // Dirección I2C
    de la pantalla OLED (0x3C es común)
39.    Serial.println(F("No se encuentra la pantalla OLED"));
40.    while (true);
41.  }
42.
43.  // Limpiamos el buffer de la pantalla
44.  display.clearDisplay();
45.
46.  pinMode(ContadorPin, INPUT_PULLUP);
47.  pinMode(FalsosPin, INPUT_PULLUP);
48.  pinMode(BuzzerPin, OUTPUT);
49.
50.  Serial.begin(115200);
51.}
52.
53.void loop() {
54.  unsigned long currentMillis = millis();
55.
56.  // Leer el estado del pulsador de conteo
57.  int readingContador = digitalRead(ContadorPin);
58.
59.  // Si el estado del pulsador ha cambiado, reiniciar el temporizador
    de debounce
60.  if (readingContador != lastContadorState) {
61.    lastDebounceTimeContador = currentMillis;
62.  }
63.
64.  // Si el tiempo desde el último cambio es mayor que el tiempo de
    debounce
65.  if ((currentMillis - lastDebounceTimeContador) > debounceDelay) {
66.    // Si el estado del pulsador ha cambiado
67.    if (readingContador != ContadorState) {
68.      ContadorState = readingContador;
69.
70.      // Solo incrementar el conteo si el estado es LOW (pulsador
        presionado)
71.      if (ContadorState == LOW) {
72.        Conteo++;
73.        Serial.println(Conteo);


```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

```

74.     }
75.   }
76. }
77.
78. // Leer el estado del pulsador de falsos positivos
79. int readingFalsos = digitalRead(FalsosPin);
80.
81. // Si el estado del pulsador ha cambiado, reiniciar el temporizador
  de debounce
82. if (readingFalsos != lastFalsosState) {
83.   lastDebounceTimeFalsos = currentMillis;
84. }
85.
86. // Si el tiempo desde el último cambio es mayor que el tiempo de
  debounce
87. if ((currentMillis - lastDebounceTimeFalsos) > debounceDelay) {
88.   // Si el estado del pulsador ha cambiado
89.   if (readingFalsos != FalsosState) {
90.     FalsosState = readingFalsos;
91.
92.     // Solo decrementar el conteo si el estado es LOW (pulsador
      presionado)
93.     if (FalsosState == LOW) {
94.       Conteo = max(Conteo - 1, 0); // Decrementa el conteo sin ir
      por debajo de 0
95.       Serial.println("Falso positivo detectado, decrementando
      conteo");
96.       Serial.println(Conteo); // Imprimir el nuevo valor del conteo
97.     }
98.   }
99. }
100.
101. // Manejo del estado del buzzer
102. if (buzzerOn && (currentMillis - previousMillis >= interval))
  {
103.   buzzerOn = false;
104.   digitalWrite(BuzzerPin, LOW);
105. }
106.
107. // Chequeo de setpoint y encendido del buzzer
108. if (Conteo == setpoint) {
109.   buzzerOn = true;

```

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

```

110.     digitalWrite(BuzzerPin, HIGH);
111.     previousMillis = currentMillis;
112.     Conteo = 0;
113.     }
114.
115.     // Guardar el estado de los pulsadores para el próximo loop
116.     lastContadorState = readingContador;
117.     lastFalsosState = readingFalsos;
118.     }
119.

```

Apéndice D: Validación y resultados de pruebas

Se realizaron pruebas de campo en Flores El Capiro, comparando el desempeño del conteo manual y automático. Los resultados fueron los siguientes y se muestran en la *Tabla 7*:

Tabla 7: Error promedio de recolección

Método	Error promedio	Tiempo promedio (minutos)	Satisfacción del trabajador
Manual	±10 esquejes	45	Baja
Automático	±2 esquejes	25	Alta

Apéndice E: Especificaciones técnicas

A continuación, se presenta la *Tabla 8*, que incluye una lista de los componentes principales utilizados en el desarrollo del dispositivo automatizado para el conteo de esquejes. Esta tabla detalla las especificaciones técnicas de cada elemento, asegurando su compatibilidad y funcionalidad dentro del sistema:



	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Tabla 8: Componentes principales

Componente	Modelo/Especificación	Descripción
Sensor tipo bandera	Genérico, 3 – 5 V	Detecta paso de esquejes
Microcontrolador WemosD1	WeMosD1mini - ESP8266	Controlador principal del sistema
Pantalla OLED	0.96", I2C	Visualización del conteo
Batería	3.7 V, 2600 mAh	Alimentación del sistema
Buzzer	3 - 24 V	Notificación acústica

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

FIRMA ESTUDIANTES	Alejandro Quintero d
	Andrés Alzate Q
	Felipe Rojas V
FIRMA ASESOR	Jorge Sierra
FECHA ENTREGA: 11/03/2025	

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____
RECHAZADO _____ ACEPTADO _____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____
ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____
ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____