

DISEÑO DE UN ACCESORIO RECOLECTOR DE ROCAS, PARA TRACTORES DE CAÑA

JAVIER ANDRÉS RINCÓN BETANCOURT



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2017

DISEÑO DE UN ACCESORIO RECOLECTOR DE ROCAS, PARA
TRACTORES DE CAÑA

JAVIER ANDRÉS RINCÓN BETANCOURT

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO
REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DIRECTOR
INGENIERO ADOLFO LEÓN GÓMEZ



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2017

DEDICATORIA

A mi madre, por ti soy quien soy hoy.

Javier A. Rincón

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por ser mi motivación en cada momento. Sin ti no hubiera podido lograr nada.

A mis amigos, que con su compañía pude afrontar las dificultades que se me presentaron.

A Camilo y a Patricia, por su apoyo incondicional durante mi carrera, sin ustedes este proyecto no hubiera sido tan divertido.

A Santiago, por ser como el hermano que no tuve, por su apoyo constante durante mi vida profesional y personal; y por recordarme en cada momento cuan imposible sería graduarme.

A mi familia, por apoyarme y creer en mí.

Javier A. Rincón

RESUMEN

El cultivo de caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca es establecido en suelos que tienen diversas características físicas y químicas, una de ellas es la presencia de rocas. Esta característica es hoy en día una problemática ante el aumento de la mecanización en la cosecha de caña, debido a los daños que genera en las máquinas cosechadoras y en otros equipos utilizados en la producción de caña y azúcar. Distintas razones causan la germinación de rocas en la superficie, como la labranza y el riego del suelo que se realiza en cada ciclo del cultivo, por lo que es necesario retirarlas. Para afrontar esta problemática se realizó el diseño de un accesorio recolector de rocas adaptable a tractores de caña. El desarrollo incluye un análisis del terreno para su caracterización y el diseño en detalle del dispositivo. Adicionalmente, se fabricó un prototipo a escala del dispositivo diseñado y se verificó su funcionamiento usando la Fresadora Universal como máquina de ensayos. Finalmente se presenta el manual de operación del dispositivo con el despiece del ensamble y un paso a paso detallado.

Palabras clave: Caña de azúcar, recolector de rocas, tractores, implemento agrícola.

CONTENIDO

Glosario	11
Introducción	13
1. Diseño Conceptual	17
1.1 METODOLOGÍA de diseño.....	17
1.2 Parámetros de diseño.....	19
1.3 Selección de la alternativa	20
1.3.1 Características funcionales del recolector	20
1.3.2 Alternativas de diseño del accesorio	20
1.3.3 Selección de la alternativa más adecuada	24
1.4 Propuesta de diseño	25
2. Revisión y caracterización del campo	28
2.1 Análisis de datos.....	30
3. Diseño en detalle.....	32
3.1 Requerimientos del motor.....	32
3.1.1 Velocidad angular.....	32
3.1.2 Torque mínimo del motor	33
3.1.3 Velocidad inicial de la roca.....	34
3.1.4 Trayectoria de la roca.....	35
3.2 Selección del motor	36
3.2.1 Transmisión del motor.....	37
3.3 Resortes	38
3.4 Análisis de las estructuras rígidas	40
3.5 Eje	41
3.5.1 Diagrama de momento y cortante	42
3.5.2 Dimensiones y factores de seguridad del eje	44
3.5.3 Selección del rodamiento	44
3.5.4 Chequeo de los demás puntos.....	44
3.6 Uniones.....	45
3.6.1 Pernos entre el buje y la placa lateral del brazo.....	45
3.6.2 Soldadura de la base del motor	46
3.6.3 Acople del motor con el eje	47
3.7 Guía del Accesorio Recolector de Rocas	47
4. Prototipo a escala.....	48

4.1	Máquina de ensayos.....	48
4.2	Dimensionamiento del prototipo	48
4.3	Aplicabilidad.....	49
4.4	Montaje Experimental	50
5.	Conclusiones.....	51
6.	Trabajos futuros	52
7.	Bibliografía	53

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>	<u>PÁGINA</u>
Tabla 1.1 Matriz de decisión	25
Tabla 2.1. Capacidad operativa del terreno estudiado.....	30
Tabla 2.2 Capacidad operativa de la máquina para las alternativas propuestas	31
Tabla 2.3. Exigencias con las que debe cumplir el aparato	31
Tabla 3.1 Límites de instalación del dispositivo	36
Tabla 3.2 Iteraciones para la selección del motor.....	37
Tabla 3.3 Consideraciones de diseño.....	37
Tabla 3.4 Selección de la cadena.....	37
Tabla 3.5 Parámetros de diseño para el resorte	38
Tabla 3.6 Criterios de selección del resorte	39
Tabla 3.7 Iteraciones para el resorte	39
Tabla 3.8 Resultado del análisis de las vigas	41
Tabla 3.9 Componentes sobre el eje	42
Tabla 3.10 Magnitud de las cargas empleadas para el diseño del eje.....	42
Tabla 3.11 Dimensiones del eje punto B y C	44
Tabla 3.12 Factores de seguridad del eje puntos A', C' y E.....	45
Tabla 3.13 Dimensiones del buje para el brazo	46
Tabla 3.14 Dimensiones del buje para el motor	47

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	PÁGINA
Figura 0.1 Cargadora Compacta de Tres Ruedas	14
Figura 0.2 MF 900 Desarrollada por Massey Ferguson	15
Figura 0.3 Compactadora A22O	15
Figura 1.1 Diagrama de actividades del proyecto	18
Figura 1.2. Accesorio en forma de Tambor	21
Figura 1.3. Accesorio en forma de cajón	22
Figura 1.4. Accesorio en forma de rastrillo con tolva adaptable.	23
Figura 1.5. Accesorio en forma de brazos giratorios con rastrillo. Imagen Modificada. Vista superior (izquierda) y lateral (derecha).	24
Figura 1.6 Aparato recolector propuesto.....	26
Figura 1.7 Esquema del rotor.....	26
Figura 2.1 Fotografías de la caracterización del terreno	29
Figura 2.2 Diagrama de la medición de volumen de la roca	29
Figura 3.1 Diagrama de contacto con la roca	32
Figura 3.2 Relación revolución del rotor con la distancia de inspección	33
Figura 3.3 Diagrama de la velocidad de la roca.....	34
Figura 3.4 Distancias críticas en el conjunto tolva rotor.....	35
Figura 3.5 Trayectoria esperada de las rocas según su masa [kg].....	36
Figura 3.6 Diagrama de las fuerzas sobre el conjunto resorte brazo recolector	38
Figura 3.7 Nomenclatura del brazo como viga en voladizo	40
Figura 3.8 Diagrama de cuerpo libre del diente	41
Figura 3.9 Configuración del eje, dimensiones en pulgadas.....	42
Figura 3.10 Diagrama de cuerpo libre del eje	42
Figura 3.11 Diagramas de momento y cortante en los planos XY y XZ	43
Figura 3.12 Dimensiones de la unión del buje	45
Figura 3.13 Soldadura base del motor, unidades en centímetros.....	46
Figura 4.1 Esquema de las partes de la Fresadora Universal	48
Figura 4.2 Partes del prototipo del dispositivo recolector.....	49
Figura 4.3 Montaje del prototipo y el rastrillo sobre la Fresadora Universal	50

LISTA DE ANEXOS

<u>ANEXO</u>	<u>PÁGINA</u>
Anexo A : Información recopilada en campo	55
Anexo B : Ecuaciones de apoyo	56
Anexo C : Guía del Accesorio Recolector	59
Anexo D : Planos del dispositivo y del Prototipo	67

GLOSARIO

Para la elaboración de este proyecto es necesario conocer diferentes términos relacionados con el sistema productivo de caña de azúcar, que otorgarán al lector una interpretación de la problemática en cuestión. Dicho esto, a continuación se presentan las definiciones de los términos más pertinentes.

Cosecha de caña: Según el ingenio INCAUCA S.A. [1] la cosecha de caña es uno de los procesos con mayor importancia dentro de la producción de azúcar, dicho proceso tiene como misión el suministro oportuno de caña, al menor costo y que cumpla con los estándares de calidad, de acuerdo a los requerimientos de fábrica.

Además de eso, la cosecha de caña comprende las labores de pre cosecha, aplicación de madurantes, quema, corte, alce y transporte, que se realizan bajo el marco de la legislación ambiental que las rige y con el menor impacto posible a las comunidades.

Corte manual: Es una de las maneras más dispendiosas de realizar la cosecha de la caña de azúcar, aunque su práctica proporciona beneficios tales como un corte a ras de suelo de los tallos, el descogolle entre hojas verdes y maduras y la colocación ordenada de los tallos en el suelo para facilitar el alce mecánico. Sin embargo, el área cosechada con esta modalidad de cosecha, tiende a disminuir debido a la ausencia de mano de obra y a reglamentación ambiental [2].

Corte mecanizado: La alta capacidad de molienda de la mayoría de los ingenios fue lo que dio origen a la necesidad de mecanizar la cosecha de la caña de azúcar, por lo que el concepto de corte mecanizado surge de la utilización de cosechadoras mecánicas en los campos de caña, siendo limitado por la presencia de campos pequeños de propiedades irregulares y fragmentados [3].

Compactación: La compactación del suelo, se define como la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él [4]. En los campos de caña dicha compactación puede ser producto del tránsito de maquinaria pesada y más aún, si es en épocas de lluvias, debido a que el terreno tiene menor capacidad portante.

Recolectora de rocas: Son maquinarias especializadas en la extracción de las rocas presentes en diferentes campos, estas son utilizadas cuando dichas rocas están interfiriendo principalmente en los procesos de trabajo del suelo y recolección, aumentando los costos de reparación y mantenimiento de las máquinas [5].

Accesorio: Es una herramienta o pieza de trabajo esencial para realizar cierta labor con determinada máquina, aun cuando este no hace parte central de la misma, es decir, que puede sustituirse en cualquier momento por otro elemento para realizar otra labor. De manera que, al ser este un componente de una

máquina, claramente no constituirá un valor tan elevado como lo sería el adquirir la máquina por completo, por consiguiente, la idea de diseñar un accesorio para la extracción de las rocas en los campos de caña, con el fin de evitar daños en las máquinas cosechadoras sería una solución muy apropiada.

INTRODUCCIÓN

La cosecha es una etapa de importancia en la industria azucarera, dado que durante este periodo se realiza la recolección de la materia prima necesaria para la producción de azúcar. Actividades de quema, corte, alce y transporte están involucradas en este periodo de preparación de terreno para la cosecha.

El proceso de corte de la caña de azúcar se puede ejecutar tanto de forma manual como mecanizada. De manera que ante ciertas condiciones, como cuando el área a cosechar se encuentra bajo tendidos eléctricos o cerca de áreas urbanas, se realiza el corte de forma manual, el cual proporciona diferentes ventajas, dentro de las cuales están, que se puede cortar la caña a ras de piso y que se facilita la selección de las cañas para el alce mecánico. Por otro lado, el corte de caña mecanizado surge debido a que la mayoría de los ingenios presentan una alta capacidad de molienda, por lo tanto, el requerimiento diario de caña aumenta cada vez más. Contrario ocurre con la mano de obra de cosechadores en campo, que disminuye con el paso del tiempo debido a que buscan labores mejor remuneradas y menos pesadas como la construcción y los negocios.

Por consiguiente, el empleo de maquinaria para realizar el corte de la caña de azúcar es sin duda una de las prioridades de los ingenios, ya sea por la escasez de personal para realizar el corte de forma manual, o por la disminución significativa que se presenta en el costo de la tonelada cosechada cuando se hace de manera mecanizada, alcanzando hasta un 20% menos respecto a la cosecha manual según los estudios realizados por la revista Mexicana de Ciencias Agrícolas en 2012.

Ahora bien, la cosecha mecanizada afronta un problema en los campos por la presencia de gran cantidad de rocas que al impactar con las cuchillas de corte afectan las cajas de las cortadoras base de las cosechadoras de caña. En el mejor de los casos, las cuchillas cortadoras son las que se ven afectadas, siendo dobladas o cortadas, lo que ocasiona la necesidad de cambiar las cuchillas, retrasando la cosecha en aproximadamente 20 minutos por cuchilla. Esto también puede provocar desbalanceo u otro daño interno que inhabilite el funcionamiento de la caja base, lo que ocasiona una parada total de la cosechadora de caña y un retraso en la cosecha mientras se saca la cosechadora inhabilitada del campo y se trae una nueva.

Actualmente hay diferentes máquinas que aportan una solución a la recolección de rocas en el campo, como lo son las cargadoras continuas de rocas, las discontinuas, las de rastrillos hiladores, entre otras. Pero dichas máquinas están diseñadas con un único fin, extraer rocas de distintos terrenos, y no tienen en cuenta el bienestar de dichos terrenos, de manera que, estas máquinas podrían extraer las rocas presentes en los cultivos de caña, pero el terreno sufriría grandes daños por el paso de dicha maquinaria causando efectos de pisoteo y compactando los suelos por causa de su gran tamaño y peso. Además que

muchas de estas máquinas, por su diseño, no solo extraen las rocas de los campos, sino que también se llevan gran parte de terreno fértil necesario para los cultivos de caña.

Por esta razón, se propone el diseño de un accesorio adaptable a los diferentes tipos de tractores de caña, como los que actualmente se encuentran circulando dentro de los campos de caña realizando distintas labores como el remolque de vagones en la etapa de cosecha. De manera que, estos tractores a su vez podrán ser utilizados como recolectores de rocas una vez se requiera la renovación de los suelos en los que se cosecha, de este modo se evitarían inversiones mucho mayores en maquinaria que solo se utilizara en ciertas épocas del año y que además perjudicara el terreno porque no han sido diseñadas específicamente para los campos de caña.

ESTADO DEL ARTE

Conocer el estado actual del problema en cuestión y de las soluciones que este pueda tener, nos da una idea de que tan viable puede resultar el desarrollar un proyecto enfocado a determinado tema en específico, que para este caso sería el diseño de un accesorio recolector de rocas, el cual surge de la necesidad que tienen los ingenios por proteger las máquinas cosechadoras de caña de los daños producidos por impactos con las rocas que se encuentran en los campos de cosecha, sin producir compactación de los suelos.

Durante bastantes años, el ministerio de agricultura ha organizado demostraciones para implementar diferentes técnicas de despedregado [6], debido a que los suelos con piedras aumentan los desgastes y las roturas en maquinarias, además que, en ocasiones los cultivos se ven afectados por las irregularidades que las rocas causan en los terrenos.

En 1957, Louis Keller y su hermano Cyril Keller desarrollaron la cargadora compacta de tres ruedas (ver figura 1), diseñada para una granja de pavos cerca de Rothsay, Minnesota [6].

Figura 0.1 Cargadora Compacta de Tres Ruedas



En 1991 Massey Ferguson presentó una serie de palas cargadoras de alto rendimiento, la primera serie MF 900 y MF Industrial (ver figura 2), de esta manera se introdujo un nuevo modelo llamado Servotronic.

Figura 0.2 MF 900 Desarrollada por Massey Ferguson



En 2001, Bobcat Company diseña la A220 (ver figura 2), la primera cargadora compacta del mundo que combina la dirección a las cuatro ruedas con la modalidad de dirección convencional, con tan solo pulsar un conmutador en la cabina del operador [7].

Figura 0.3 Compactadora A220



Además de la maquinaria anteriormente mencionada, actualmente, para la extracción de las rocas en los campos de caña se cuenta con Rastrillos Hileradores, que básicamente están diseñados para la extracción de rocas de tamaño pequeño (menos de 250mm). También se cuenta con cargadoras discontinuas que Principalmente retienen rocas de mayor tamaño y permiten el paso de la arena y piedras pequeñas [8].

Por último, cabe resaltar que se cuenta con una amplia información para la elaboración de lo que será el accesorio recolector de Rocas, estructurándolo bajo estándares de diseño de las canastillas con las que cuentan las maquinarias mencionadas anteriormente, y que a diferencia de estas, este elemento evitara la inversión en maquinaria innecesaria para realizar la recolección de las rocas sabiendo que actualmente los ingenios ya cuentan con tractores a los que se les

puede convertir en recolectores con el solo hecho de adaptarles el accesorio en cuestión.

OBJETIVOS

General

Diseñar un accesorio recolector de rocas adaptable a diferentes tipos de tractores de caña, bajo estándares de potencia, carga, maniobrabilidad y costo.

Específicos

- Detallar las exigencias de diseño para el accesorio recolector de rocas teniendo en cuenta, aspectos como la carga a soportar y la facilidad para el montaje y desmontaje del mismo.
- Desarrollar alternativas de diseño y seleccionar la que más se adapte a las exigencias requeridas.
- Realizar un modelo detallado de la alternativa seleccionada que permita efectuar un análisis estructural aproximado del accesorio y de las cargas que este soportará cuando esté actuando en campo.
- Fabricar un prototipo para montaje experimental del modelo desarrollado.
- Redactar una guía en la que se detalle el ensamblaje, el montaje y el desmontaje del accesorio recolector de rocas.

1. DISEÑO CONCEPTUAL

En esta sección se presenta como diseño conceptual la etapa inicial del proyecto en la que se definen los pasos a seguir. Para ello se presenta y describe el diagrama de actividades utilizado. Seguidamente se detallan los parámetros de diseño que se deben tener en cuenta para el cumplimiento de los objetivos. Finalmente se realiza una propuesta de diseño con base en una revisión bibliográfica de las alternativas de recolectores de roca usados en la industria.

1.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO

El diagrama de actividades que se presenta en la Figura 1.1 representa la metodología de diseño empleada para el desarrollo del presente proyecto.

Los parámetros de diseño se obtuvieron con base en las necesidades que presentan los ingenios azucareros, expuestas en una reunión previa al inicio del proyecto. A partir de estas necesidades, se plantearon cuatro alternativas de diseño que pueden ayudar a dar solución a los problemas que tienen los ingenios actualmente con la presencia de rocas en los campos de caña. De estas alternativas de diseño, se exponen sus ventajas y desventajas según sus características funcionales y de diseño. Se seleccionó de la alternativa más adecuada con la ayuda de una matriz de decisión, en la que se evalúa cada alternativa con base en las exigencias de diseño escogidas en conjunto con un representante del ingenio.

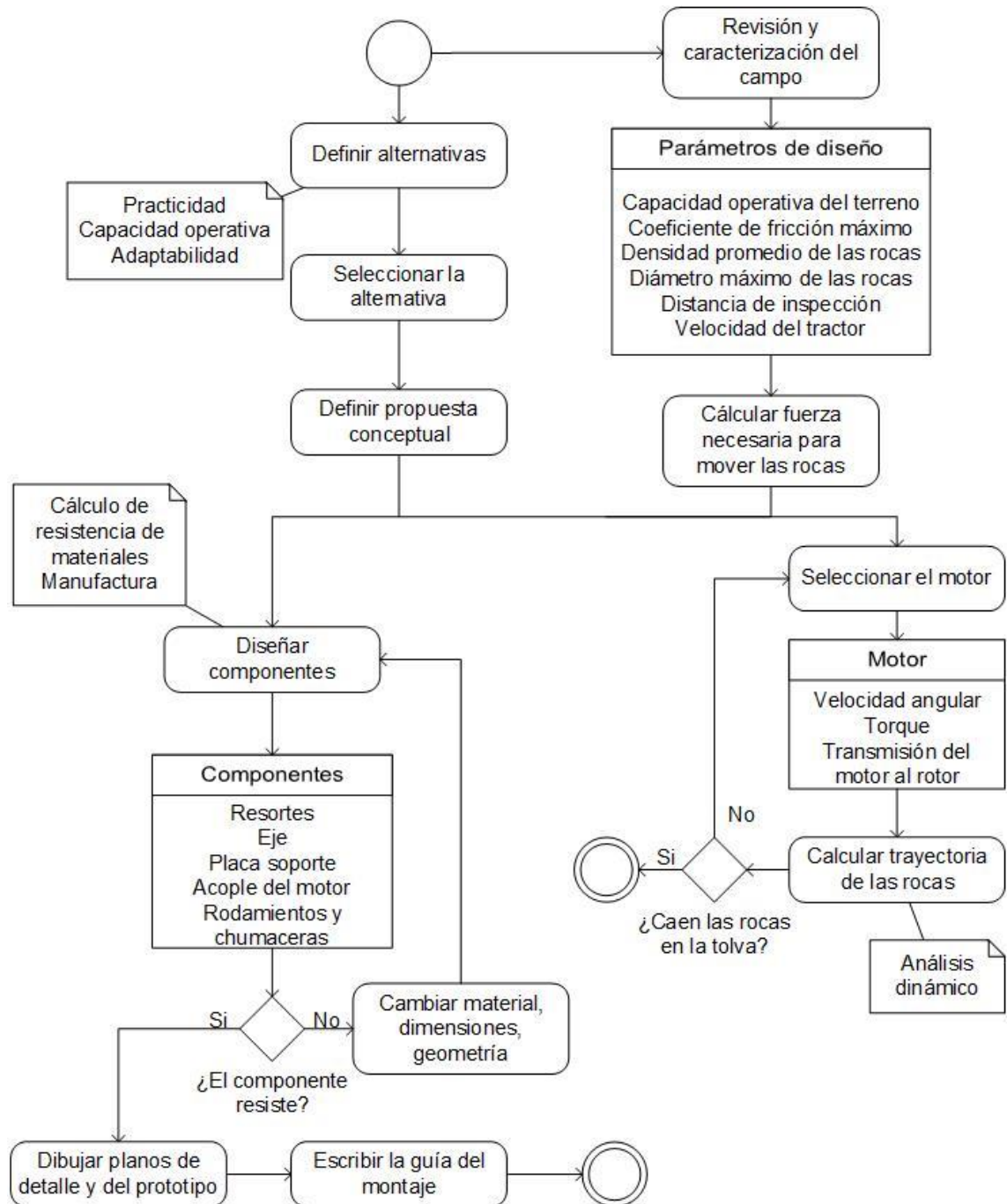
Paralelamente a la selección de la alternativa de diseño, se realizó una revisión y caracterización del campo, en la que se cuantifican los parámetros de diseño del aparato recolector. Con esta información se definió la fuerza necesaria para mover las rocas.

Una vez seleccionada la alternativa de diseño más adecuada, se procedió con el diseño del accesorio recolector de rocas, el cual se centró en dos componentes teóricos principalmente. El primero, la teoría dinámica necesaria para proponer el motor adecuado para impulsar las rocas desde el suelo hasta una tolva de recolección ubicada a distancia del eje del recolector, la segunda, es la teoría de resistencia de materiales con el fin de analizar el comportamiento de cada uno de los componentes del accesorio recolector de rocas cuando están sometidos a las cargas de operación.

El primer componente teórico incluye: El cálculo del movimiento que describen las rocas cuando son arrojadas; la teoría del impulso mecánico y la cantidad de movimiento, para definir la velocidad que adquieren las rocas luego del impacto y el torque necesario del accesorio recolector para poder funcionar; y el movimiento que describen las rocas al ser impulsadas por el accesorio recolector. Esto se hizo para diferentes pesos de rocas, velocidades y ángulos, con el fin de definir el motor necesario para la operación del accesorio recolector.

Dado que la alternativa de diseño seleccionada, trabaja constantemente con impactos en uno de sus componentes, se hace uso de la teoría de resistencia de materiales para calcular los resortes que permitan absorber parte de la energía producida por estas cargas y convertirlas en deformaciones; se verifican los pesos de rocas para los que el componente no presentara inconvenientes al momento de trabajar; se seleccionan las dimensiones y los materiales adecuados para cada componente, a través de un proceso iterativo, teniendo en cuenta criterios de manufactura y fatiga.

Figura 1.1 Diagrama de actividades del proyecto



Ya consolidados estos resultados, se realiza el diseño de detalle en software CAD y se evalúa si cumple con los objetivos para los que fue diseñado el componente.

Para la verificación del funcionamiento del dispositivo se fabrica un ensayo binario para establecer si en un rango de rocas seleccionadas, de diferentes diámetros, caen o no en la tolva, para ejemplificar el movimiento el dispositivo.

Se finaliza con los planos, del dispositivo final y de las piezas individuales con las dimensiones acotadas; y con el manual básico de operación, que incluye ensamble del dispositivo para ayudar al operario a entender el funcionamiento del mismo.

1.2 PARÁMETROS DE DISEÑO

Para definir las características funcionales del accesorio recolector de rocas, se consideraron las condiciones de operación en campo. Para ello se realizó un estudio del campo para cuantificar los parámetros de diseño, tal revisión se presenta en el diseño de detalle y a continuación se describen los parámetros estudiados.

Capacidad Operativa.

El propósito de conocer la capacidad operativa (CO) del accesorio recolector de rocas, es verificar que dicho componente cubra el área de terreno en el que va a trabajar, teniendo en cuenta el tiempo disponible para dicha labor [9].

Diámetros de las Rocas

Los diámetros de las rocas que requieren ser removidas de los campos de caña restringen la operatividad del aparato recolector en cuanto a la capacidad de levantarlas o filtrarlas.

Profundidad de Trabajo

En ocasiones es necesario extraer rocas que se encuentran sumergidas a cierta profundidad en el terreno, sin embargo, cuando el recolector se encuentra enterrado hace una oposición al avance del tractor, lo que disminuye la velocidad de operación. Es necesario cuantificar una profundidad adecuada de trabajo que no afecte el tiempo de operación del dispositivo.

Coeficiente de fricción

En el presente documento se define el coeficiente de fricción como el cociente entre la fuerza necesaria para extraer una roca con el peso de la misma. A su vez este depende de la profundidad a la que la roca se encuentra enterada.

Capacidad de almacenamiento

La capacidad de almacenamiento está dada por el volumen de la tolva y la potencia y tracción del tractor.

1.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

1.3.1 Características funcionales del recolector

Basado en las propiedades de los terrenos de siembra de caña, se definieron ciertas características fundamentales de funcionalidad y diseño, a favor de seleccionar una alternativa de diseño para un aparato recolector acorde con el terreno de estudio.

Capacidad operativa de la máquina

La capacidad operativa de la máquina se define como el área de terreno que el accesorio recolector puede inspeccionar en un determinado tiempo como función de la velocidad de avance y el ancho del recolector.

$$CO_m = A_m * v_t \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde A_m es el ancho efectivo de la máquina para realizar la labor y v_t , es la velocidad a la que trabajará la máquina.

Versatilidad de recolección

Este criterio obedece a la practicidad operacional con que el dispositivo puede recoger y almacenar rocas en tanto se encuentre con algún obstáculo en el camino.

Manufactura

Para el equipo interesado en el accesorio recolector de rocas, es importante que éste, sea sencillo de construir, es decir, que tenga la menor cantidad de piezas mecánicas que involucren sofisticados servicios de mecanizados como CNC (Control Numérico Computarizado), entre otros.

Vulnerabilidad

Hace referencia a que el diseño debe tener la menor cantidad de componentes por los que pueda fallar el accesorio (tornillos, acoples, soldaduras, etc.).

Impacto sobre el terreno

Los efectos negativos que se generen en el terreno por el uso del accesorio recolector de rocas deberán ser mínimos, sobre todo efectos por compactación y extracción de tierras.

1.3.2 Alternativas de diseño del accesorio

Ahora que se conocen los requerimientos técnicos, precisos para suplir las necesidades que se tienen en los campos de caña al momento de la cosecha, expuestas por los ingenieros, se va a determinar cuál será el mecanismo más adecuado que haga posible la tarea de recolección de rocas bajo los estándares ya mencionados en la sección 1.3.1. Las alternativas estudiadas son la de forma de Tambor, de Cajón, de Rastrillo y finalmente la de Brazos Giratorios, a continuación se detallará cada una de ellas.

1.3.2.1 En forma de Tambor.

La primera propuesta de diseño, consiste en fabricar un tambor giratorio que permita recolectar las rocas en los campos de caña, y que a su vez, devuelva al campo la tierra que se lleve en el proceso de recolección. El tambor penetra en el suelo y una vez extrae las rocas, gira para devolver la tierra al campo. El movimiento del tambor es controlado independientemente del avance de la máquina por lo que necesitaría un mecanismo adicional. Se puede apreciar el esquema del accesorio en la Figura 1.3.

Figura 1.2. Accesorio en forma de Tambor.



Imagen tomada de [10]

Ventajas del accesorio en forma de tambor

- Puede trabajar a velocidades de avance incluso 2 veces mayores que las de los accesorios en forma de rastrillos.
- Las rotaciones del tambor permiten que el suelo que ha sido removido al recolectar la roca vuelva al campo, disminuyendo la erosión sobre el terreno.
- No necesita cadenas para la transmisión.

Desventajas del accesorio en forma de tambor

- Su capacidad de almacenamiento es limitada, lo que implica que la máquina debe realizar varios viajes para descargar las rocas que se han extraído del campo.
- Su ancho de trabajo depende del diámetro del tambor, y este oscila entre los 70 y 90 cm, lo que disminuye su capacidad operativa y los diámetros de roca con los que puede trabajar, es decir su versatilidad.
- Es inevitable la fabricación de una gran cantidad de mecanismos para garantizar los grados de libertad que necesita el dispositivo para funcionar correctamente.

1.3.2.2 En forma de cajón

La segunda propuesta de diseño, consiste en fabricar un accesorio recolector en forma de cajón similar al que se puede apreciar en la Figura 1.3. Este dispositivo está rígidamente acoplado a la parte frontal del tractor y permite recolectar rocas que se encuentren enterradas en el suelo por su configuración de rastrillo.

Figura 1.3. Accesorio en forma de cajón



Imagen tomada de [11]

Ventajas del accesorio en forma de cajón

- El ancho de trabajo es mayor que la del accesorio en forma de tambor, lo que aumenta su capacidad operativa.
- Puede recolectar rocas que se encuentran enterradas en el suelo dado su configuración de rastrillo.
- Se puede recolectar rocas de diámetro que oscilan entre las 40 y 50 pulgadas.
- Utiliza mecanismos más simples que el extractor de tambor.

Desventajas del accesorio en forma de cajón

- La capacidad de almacenamiento se ve limitada por el tamaño del cajón, lo que implica que el número de viajes para descargar las rocas que se recolecten aumenta.
- Su función de rastrillo permite recolectar rocas que están enterradas, pero a su vez genera erosión de suelo.
- Para realizar la tarea de recolección de rocas con la configuración del rastrillo se eleva el consumo de potencia dado que el dispositivo se encuentra enterrado todo el tiempo.

1.3.2.3 En forma de rastrillo con tolva adaptable.

La tercera propuesta de diseño, consiste en un accesorio en forma de rastrillo con una tolva adaptable, que permita almacenar las rocas en un espacio diferente al que se utiliza para recolectarlas, como se puede apreciar en la Figura 1.4. A diferencia del accesorio en forma de cajón, este accesorio tiene un mecanismo que permite al rastrillo recolectar rocas hasta una cierta capacidad y luego las deposita en la tolva, permitiendo almacenar y transportar rocas de gran diámetro si llegan a ser depositadas en el rastrillo.

Figura 1.4. Accesorio en forma de rastrillo con tolva adaptable.



Imagen tomada de [12]

Ventajas del accesorio en forma de rastrillo con tolva adaptable

- Su ancho de trabajo es similar a la del accesorio en forma de cajón, lo que beneficia su capacidad operativa.
- Puede recolectar rocas que se encuentran enterradas en el suelo dado su configuración de rastrillo.
- Se pueden recolectar rocas de grandes tamaños que oscilan entre las 40 y 50 pulgadas.
- Puede almacenar mayor cantidad de rocas según la tolva que se le adapte.
- La manufactura es sencilla porque no requiere conformar geometrías complejas.

Desventajas del accesorio en forma de rastrillo con tolva adaptable

- Su función de rastrillo permite recolectar rocas que están enterradas, pero a su vez retira del campo tierra que después será necesaria para el proceso de siembra, elevando el consumo de potencia y exponiendo el dispositivo a desgaste.

1.3.2.4 En forma de brazos giratorios con rastrillo

Por último, la cuarta propuesta de diseño para el elemento recolector de rocas, es el de un accesorio en forma de brazos giratorios con rastrillo como se puede apreciar en la Figura 1.5. Este permite recolectar las rocas impulsadas por el componente giratorio, y las que superen estos valores, son aprisionadas entre el rastrillo y los brazos, para evitar incrementos en la potencia. Los daños en el suelo son reducidos debido a que el rastrillo se encuentra posicionado a nivel del suelo y es utilizado para dar trayectoria a las rocas.

Figura 1.5. Accesorio en forma de brazos giratorios con rastrillo. Imagen Modificada. Vista superior (izquierda) y lateral (derecha).

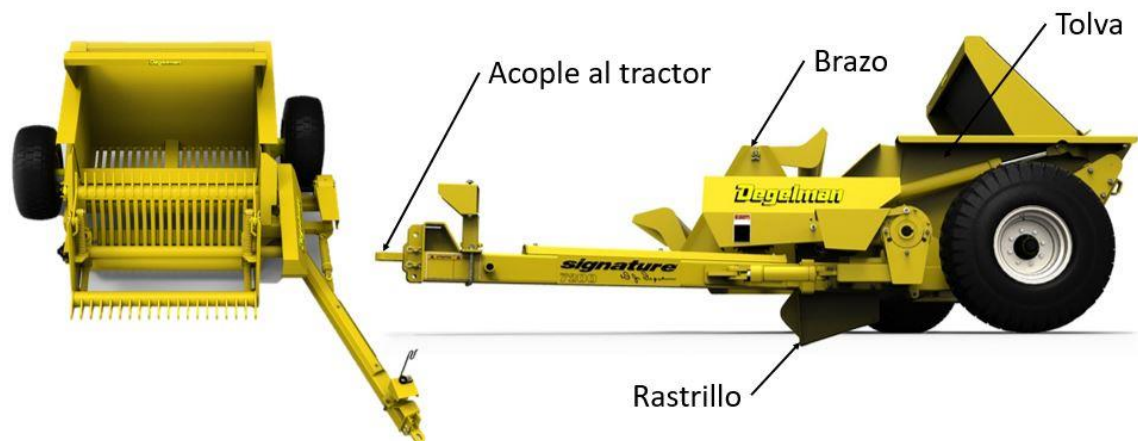


Imagen tomada de [13]

Ventajas del accesorio en forma de brazos giratorios con rastrillo

- Su anchura de trabajo es similar a la del accesorio en forma de cajón y al de rastrillo, lo que beneficia su capacidad operativa.
- El rastrillo puede ser ajustado para que cuando sea necesario se entierre en la tierra, por lo que puede recolectar rocas a mayor profundidad.
- Se pueden recolectar rocas de grandes tamaños que oscilan entre las 40 y 50 pulgadas.
- Su capacidad de almacenamiento depende de la tolva y no de la configuración que tiene el accesorio recolector, de manera que permite almacenar gran cantidad de rocas recolectadas.
- Dado que el rastrillo no se encuentra enterrado, éste no debe desplazar una masa de tierra durante su operación lo que reduce la cantidad de energía requerida por el dispositivo para operar, reduciendo los efectos negativos sobre el suelo y el desgaste del componente.

Desventajas del accesorio en forma de brazos giratorios con rastrillo

- Necesita de un motor para el movimiento giratorio de los brazos.

1.3.3 Selección de la alternativa más adecuada

Con el fin de realizar un análisis cuantitativo de lo que será la alternativa más apropiada de diseño, se creó una matriz de decisión en la que se cuantifica la

importancia (peso en porcentaje) de cada una de las exigencias de diseño mencionadas anteriormente, y se le da un valor de 0 a 5 dependiendo de qué tanto cumple la alternativa en cuestión con cada exigencia de diseño, ver Tabla 1.1. Para cada alternativa se multiplica el peso por el valor establecido para cada criterio de decisión y posteriormente se suman para obtener el valor total de decisión. Finalmente, la alternativa a seleccionar es aquella cuya sumatoria de la ponderación entre los criterios y su peso, resulte en un valor mayor. Cabe resaltar que se desea que el aparato sea fácil de manufacturar y que su vulnerabilidad e impacto sobre el terreno sean bajos. En este caso, la alternativa seleccionada corresponde a la que es en forma de brazos giratorios con rastrillo.

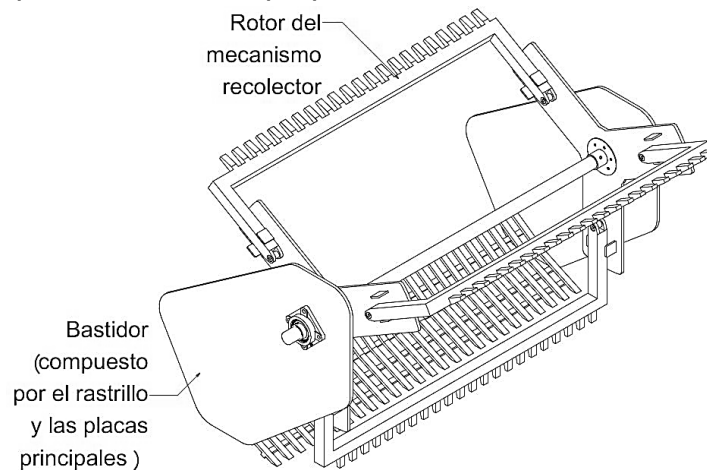
Tabla 1.1 Matriz de decisión

Peso %	0 Puntos: no cumple 5 Puntos: cumple	Alternativa			
		Tambor	Cajón	Rastrillo	Brazos
16	Capacidad operativa maquina	2	3	4	5
11	Versatilidad de recolección	3	4	4	5
21	Manufactura	1	5	4	3
26	Vulnerabilidad	2	4	5	4
26	Impacto sobre el terreno	5	2	2	4
	Total	51	67	71	77

1.4 PROPUESTA DE DISEÑO

De acuerdo con la alternativa seleccionada, se propone el diseño del aparato recolector que será adaptado a tractores de caña compuesto por un rastrillo, que hace parte del bastidor, y brazos giratorios, que de ahora en adelante denominaremos rotor, ver Figura 1.6. El funcionamiento del aparato consiste en la transferencia de energía cinética rotacional desde los brazos del rotor hasta las rocas a recoger. Esta transferencia de energía cinética causa que las rocas adquieran velocidad y tomen trayectoria hacia la tolva, siendo guiadas por el rastrillo. A continuación se realiza una descripción de los componentes que conforman la propuesta, ilustrados en la Figura 1.7.

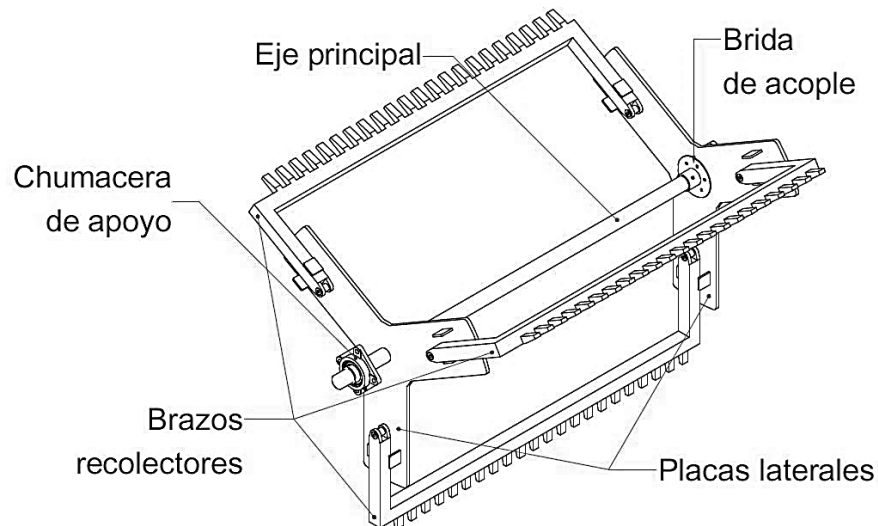
Figura 1.6 Aparato recolector propuesto



Rotor

Para el rotor del mecanismo recolector se propone el diseño de un componente giratorio, compuesto por tres brazos recolectores, soportados en dos placas laterales en forma de roseta. Los brazos pivotarán en un pin sobre las placas laterales con el fin de que cada impacto que reciban al entrar en contacto con alguna roca, sea absorbido por un resorte ubicado en la placa lateral. Como se observa en la Figura 1.7. El número de brazos dependerá del número de veces con que se desee inspeccionar el terreno.

Figura 1.7 Esquema del rotor



Bastidor

El bastidor es el conjunto compuesto por las placas principales y el rastrillo unidos por soldadura. El rastrillo hace a su vez de filtro para el suelo, y de rampa para dar trayectoria a las piedras que serán depositadas en la tolva. Para ello, cuenta con una serie de placas por las que las rocas se deslizarán cada vez que estén siendo impulsadas por los brazos recolectores. El rotor estará apoyado

sobre el bastidor, por lo que se utilizaran dos rodamientos que permitirán el movimiento giratorio con un rozamiento mínimo.

Transmisión entre el eje y las placas laterales

Soldar el eje a las placas laterales traería complicaciones al momento de cambiar algún componente que pudiese presentar falla durante la operación, y la fabricación de una cuña en un eje además de ser de costo elevado, incrementa los tiempos de manufactura, por lo que para transmitir el movimiento desde el eje a las placas laterales, se utilizara una brida de acople en cada placa. Este tipo de acople, aparte de transmitir el movimiento del eje a las placas laterales funciona como fusible mecánico a la hora de una sobre carga en el sistema durante la operación, ya que es mucho más económico y sencillo cambiar el tornillo que sujeta el acople al eje, que cualquier otro componente del sistema recolector.

Transmisión del motor al rotor

Los motores hidráulicos proporcionan grandes torques a velocidades de giro no muy altas, no requieren protección cuando trabajan a la intemperie, no son muy robustos y son de bajo costo. Razones por las cuales, el movimiento de todo el sistema estará dado por un motor hidráulico conectado por medio de una cadena y una configuración de piñones al eje principal, que permitan establecer la relación de velocidad angular necesaria según los requerimientos operacionales del accesorio recolector. Se selecciona la transmisión por cadena dado que la eficiencia de este tipo de transmisiones es del orden del 98% [14].

2. REVISIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CAMPO

Para establecer las condiciones de trabajo normales para el dispositivo, se realizó un muestreo de las rocas que es posible encontrar en el terreno. Con la información recolectada se estableció cual era el rango de rocas con las que será posible usar el dispositivo y las condiciones de carga para la operación, es decir, las propiedades de las rocas y del terreno. Adicionalmente se realizó una consulta del equipo y la jordana usual para la preparación del campo, de esta manera fue posible calcular la capacidad operativa del terreno, que se presenta más adelante.

El terreno evaluado fue la suerte 44A de la Hacienda Piedechinche, corresponde a una zona lista para ser despedregada. Esta estaba disponible porque su cultivo estaba suspendido, debido a que el terreno tiene una inclinación que no permite la irrigación correcta por los métodos convencionales.

La suerte tiene un área de 5,14 hectáreas, de las 200 hectáreas de la Hacienda Piedechinche, y es descrita por el ingeniero de campo como una de las más complejas de despedregar. Un terreno de éste tamaño, según el ingeniero de campo, tarda aproximadamente una semana en ser preparado para cultivo, en la que se realizan las tareas de:

- Descepar
- Despedregar
- Nivelar (opcional)
- Roturar
- Rastrillar
- Pulir
- Surcar

El momento ideal dentro del proceso de preparación del campo para despedregar el terreno es previo a la nivelación, así se remueve la mayor cantidad de volumen de rocas sin que la niveladora entierre parte de ellas. Adicionalmente, se estima que para despedregar el terreno son necesarios cuatro días de trabajo en los que se usa la máquina en un promedio de siete horas diarias.

Para realizar las mediciones se dividió el terreno en una matriz de tres por tres, es decir en nueve secciones, y se realizó el muestreo de tres zonas que fuesen representativas de cada columna y cada fila. El muestreo consistió en la selección de siete rocas por zona, en un área de un metro por 1,6 metros (la longitud del recolector), ver Figura 2.1, y de cada roca se midió la fuerza necesaria para desenterrarla del terreno y el peso de la misma, usando un dinamómetro, y la altura que se encontraba enterrada.

Figura 2.1 Fotografías de la caracterización del terreno



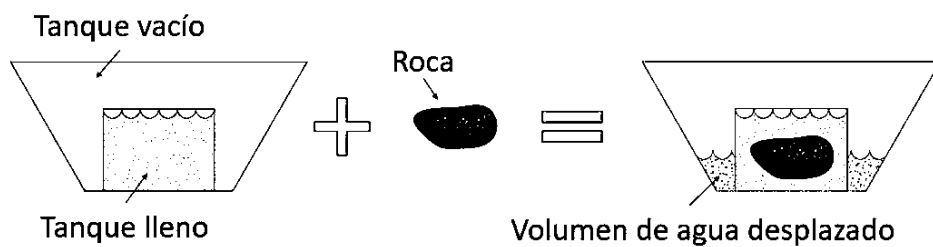
a. Medición de la fuerza necesaria para desprender la roca



b. Medición de la profundidad a la que se encontraba enterrada

Adicionalmente se midió el volumen de cada roca, pesando el volumen de agua que esta desplazaba al ser introducida en un tanque lleno de agua, ya que la densidad de este fluido es conocida, ver Figura 2.2. La información recopilada se presenta como un anexo.

Figura 2.2 Diagrama de la medición de volumen de la roca



$$V_{agua\ desplazada} = V_{roca} = V$$

$$V = \frac{W_{agua\ desplazada}}{g\rho_{agua}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Tractor

El tractor utilizado es un tractor *John Deere 6145J* con una potencia de 143hp y una capacidad de arrastre probada de 3000kg. Adicionalmente cuenta con un sistema hidráulico que proporciona 200 bares de presión a un flujo de 100 l/min. El personal de trabajo reporta que las velocidades alcanzadas en campo realizando las tareas de recolección de rocas oscilan entre los 4 y 8 km/h.

2.1 ANÁLISIS DE DATOS

De la información recopilada en campo se determinaron las variables críticas que restringirían el diseño, descritas en la sección 1.2, y se resumen en la Tabla 2.3.

Capacidad operativa

La capacidad operativa del terreno (CO_t) depende del área A_t , en el que se vaya a realizar la labor, normalmente en hectáreas, del tiempo disponible t_d , para ejecutar dicha labor, normalmente en días, y del tiempo t_t en horas que se trabaja por día en dichos terrenos. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$CO_t = A_t / (t_d * t_t * f_c) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde f_c es un factor de corrección, utilizado para tener en cuenta las pérdidas de tiempo, por ejemplo, las pérdidas impuestas por la cantidad de giros que tenga que hacer la máquina para ejecutar la labor en todo el terreno, $0 < f_c < 1$. En este caso, por las condiciones evidenciadas en la suerte, se recomienda $f_c = 0,3$.

Para efectos del diseño del accesorio recolector de rocas, se consideraron los siguientes datos para la capacidad operativa del terreno en el que se va a desenvolver dicho accesorio, ver Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Capacidad operativa del terreno estudiado

Nomenclatura	Descripción	Magnitud	Unidades
A_t	Área del terreno	5,14	hectáreas
t_d	Tiempo para la labor	4	días
t_t	Tiempo de labor por día en el terreno	7	horas
CO_t	Capacidad operativa terreno	0,61	hectáreas/horas

Adicionalmente, se realizó una verificación de la capacidad operativa evaluada cualitativamente en la matriz de decisión de la sección 1.3.3, ver Tabla 2.2. Se puede inferir que todas las máquinas suplen la capacidad operativa necesaria

para el terreno estudiado (siendo $CO_m > CO_t$). Más aún, si se evalúa el uso de las máquinas para toda la Hacienda de Piedechinche, se puede establecer que se requeriría un menor uso para la alternativa de brazos giratorios, en comparación a las otras alternativas, con el fin de cubrir el terreno. Esto último se ve reflejado en costos de operación.

Tabla 2.2 Capacidad operativa de la máquina para las alternativas propuestas

Alternativa	Velocidad de trabajo	Ancho de trabajo	Capacidad operativa de la máquina, CO_m	Número de veces de uso para el terreno total
	<i>km/h</i>	<i>m</i>	<i>hectáreas/horas</i>	
Tambor	8	0,89	0,71	33
Cajón	4	1,52	0,61	39
Rastrillo	4	1,52	0,61	39
Brazos	6	1,50	0,90	26

La Tabla 2.3 muestra las exigencias con las exigencias que debe cumplir el accesorio, de acuerdo al experimento realizado en la suerte.

Tabla 2.3. Exigencias con las que debe cumplir el aparato

Nomenclatura	Descripción	Magnitud	Unidades
CO_t	Capacidad operativa terreno	0,61	<i>hectáreas/horas</i>
d_{roca}	Diámetro de las rocas	8-20	<i>cm</i>
h	Profundidad trabajo	2	<i>cm</i>
μ	Coeficiente de fricción máximo	0,80	
ρ_{roca}	Densidad promedio de las rocas	3453,6	<i>kg/m³</i>

Según el muestreo realizado y las recomendaciones de los operarios, se considera que una distancia de inspección de 0,6m y una separación entre dientes del recolector igual a 6cm sería adecuada para la distribución de rocas encontrada en campo.

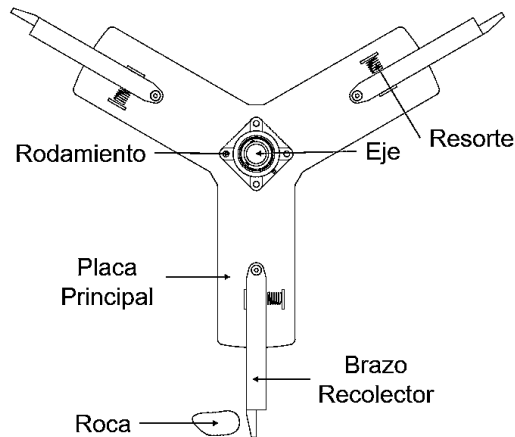
3. DISEÑO EN DETALLE

En esta sección se presentan los cálculos realizados para dimensionar la estructura y garantizar su correcto funcionamiento y vida útil. Cada componente es analizado a fatiga, incluyendo las uniones entre ellos, ya sean de soldadura o con tornillos. Según el caso se presentan referencias de elementos de catálogo que cumplen con los requerimientos de diseño y se presentan como opción para su implementación. Los componentes analizados incluyen el motor, los resortes, las estructuras rígidas, el eje y las uniones necesarias.

3.1 REQUERIMIENTOS DEL MOTOR

El siguiente paso consistió en la selección del motor que garantizase la trayectoria de las rocas para que estas llegaran a la tolva. Para esto, se usaron las propiedades de las rocas calculadas en la sección anterior y se calcularon el torque y la velocidad angular necesarias para efectuar el movimiento de las rocas y garantizar que estas cayesen en la tolva. El mecanismo de brazos giratorios del accesorio recolector de rocas propuesto se presenta a continuación, donde se propone un resorte en cada extremo del brazo que garantizara la amortiguación del impacto recibido.

Figura 3.1 Diagrama de contacto con la roca

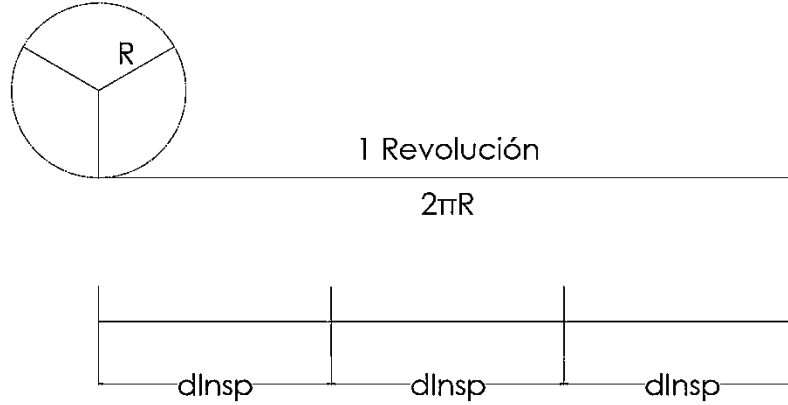


3.1.1 Velocidad angular

Como se describió previamente, el mecanismo recolector funciona gracias al movimiento rotacional del número de brazos, relativos al desplazamiento longitudinal del tractor, que desplazan rocas a su paso para que sean depositadas en la tolva. Dado que el objetivo es abarcar la mayor cantidad de terreno por el giro del recolector, se estableció una dependencia de la velocidad angular ω con el número de brazos del recolector n , la velocidad del tractor $v_{tractor}$ y la distancia de inspección deseada d_{insp} , siendo esta última la distancia lineal de terreno entre un punto de recolección de roca y otro. En la Figura 3.2

se presenta la relación entre la rotación del recolector, presentado como una esfera de radio R , con $n = 3$ distancias de inspección.

Figura 3.2 Relación revolución del rotor con la distancia de inspección



Si se asume que el movimiento del recolector es de una rueda sin deslizar, la velocidad de éste en su centroide será igual a la velocidad del tractor, $v_{tractor} = \omega R$. Adicionalmente, se desea que en cada rotación del aparato recolector se realicen tantas inspecciones como número de brazos tenga, por lo que $2\pi R = nd_{insp}$, donde R es la distancia del eje de giro al extremo del brazo recolector. Despejando R en ambas ecuaciones e igualándolas, se puede obtener una ecuación para la velocidad angular del recolector:

$$\omega = \frac{2\pi v_{tractor}}{d_{insp}n} \left[rad/s \right] \quad \text{Ecuación 4}$$

Gracias a la revisión y caracterización del campo se definió la distancia de inspección según las propiedades del terreno, estableciendo entonces una dependencia lineal de la velocidad angular del motor con la velocidad del tractor. Para simplificar cálculos se fijó la velocidad del tractor en 6 km/h, que es el promedio de las velocidades de trabajo del tractor cuando realiza esta labor, ver sección 2.

Fijando el número de brazos en 3, la velocidad angular de diseño es de $55, \bar{6} rpm$.

3.1.2 Torque mínimo del motor

El torque del motor se estableció de tal manera que la fuerza en el extremo del brazo recolector pudiese igualar a la fuerza de fricción de las rocas enterradas. En el caso crítico, la fuerza de fricción corresponde al coeficiente de fricción máximo multiplicado por el peso generado si la tolva estuviese llena de las rocas de mayor diámetro, se denomina F_{roca} y se calcula usando la Ecuación 5.

$$F_{roca} = \pi \left(\frac{d_{roca}}{2} \right)^2 L_r \cdot \rho_{roca} \cdot g \cdot \mu \quad \text{Ecuación 5}$$

El torque mínimo es el resultante de multiplicar esta fuerza de fricción con la longitud desde la punta del brazo hasta el eje de rotación. Para una longitud del brazo fija, de tal manera que el arco que describa esté siempre en contacto con el recolector, la distancia hasta el eje de rotación R sería igual a 73cm , por lo que $T_{\text{mín}}$ es $993,49\text{Nm}$.

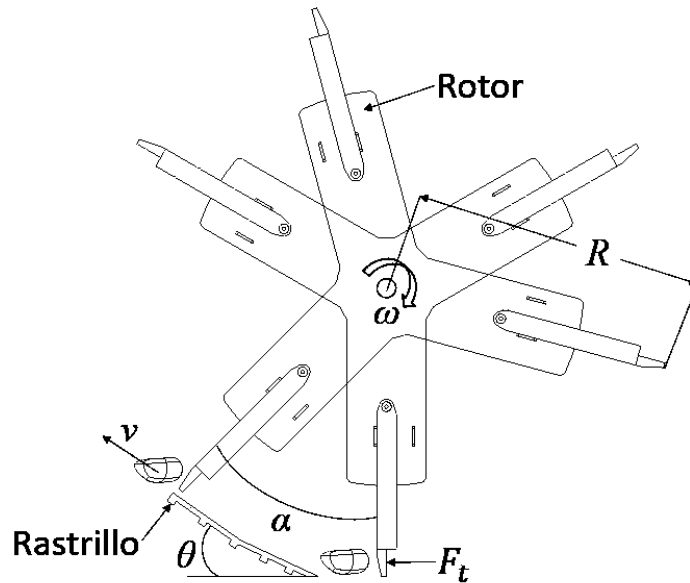
$$T_{\text{mín}} = R \cdot F_{\text{roca}}$$

Ecuación 6

3.1.3 Velocidad inicial de la roca

La roca adquiere velocidad debido al contacto del brazo recolector con ella, sin embargo no es algo que ocurra instantáneamente; el brazo está en contacto con la roca un tiempo que es lo que tarda en atravesar el rastrillo, ver Figura 3.3. Este contacto es lo que define la velocidad y la dirección que adquiere la roca para describir el movimiento parabólico que la lleva hasta la tolva. En primera instancia, se estableció una función entre la fuerza tangencial F_t ejercida por el brazo recolector sobre la roca, producto del torque del motor, el tiempo de contacto t y la cantidad de movimiento P de la roca luego del impacto para determinar la velocidad v de esta última.

Figura 3.3 Diagrama de la velocidad de la roca



$$F = \frac{dP}{dt} \rightarrow \int_0^t F dt = \int_0^P dP \rightarrow F t = P = mv$$

$$F_t t = m_{\text{roca}} v$$

Ecuación 7

El tiempo de contacto t , en segundos, es el tiempo que tardaría el rotor en girar un ángulo α dado, en grados, por consiguiente:

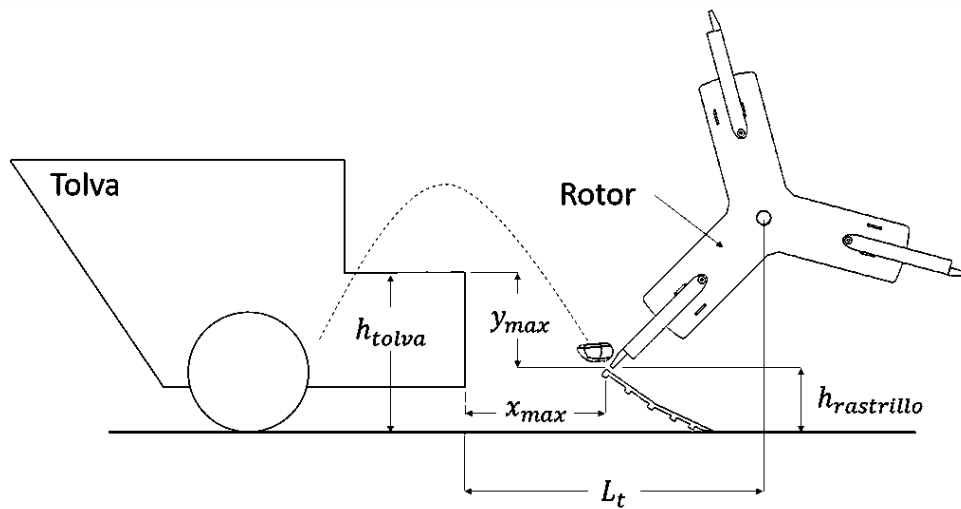
$$t = \frac{\pi\alpha}{180} \cdot \frac{1}{\omega}$$

Ecuación 8

3.1.4 Trayectoria de la roca

Para determinar el comportamiento de la roca una vez entre en contacto con el brazo del rotor se asume que la roca describe un movimiento parabólico que varía según la masa y el volumen de cada una. Se comprobó que el torque propuesto del motor efectivamente logre que las rocas, del tamaño deseado, lleguen a la tolva; y además se establezca un criterio de distancia para el montaje del rastrillo y el rotor relativo a la abertura de la tolva, ver Figura 3.4.

Figura 3.4 Distancias críticas en el conjunto tolva rotor



Por lo tanto, se evalúa la trayectoria para rocas de diferente masa y ángulo, así saber si la velocidad inicial previamente calculada es la suficiente para garantizar que todas las rocas, del rango de diámetros establecido previamente, lleguen a la tolva de almacenamiento y determinar cuál es el mejor ángulo de rastrillo para garantizar la dirección de salida de la roca.

A continuación se presenta un diagrama de la trayectoria de las rocas en un rango determinado de masa de rocas para el torque mínimo mencionado con anterioridad y un ángulo de 35° , ver Figura 3.5. Finalmente, en la Tabla 3.1 se presentan las magnitudes de las dimensiones previamente acotadas acorde con la trayectoria de las rocas calculadas.

Figura 3.5 Trayectoria esperada de las rocas según su masa [kg]

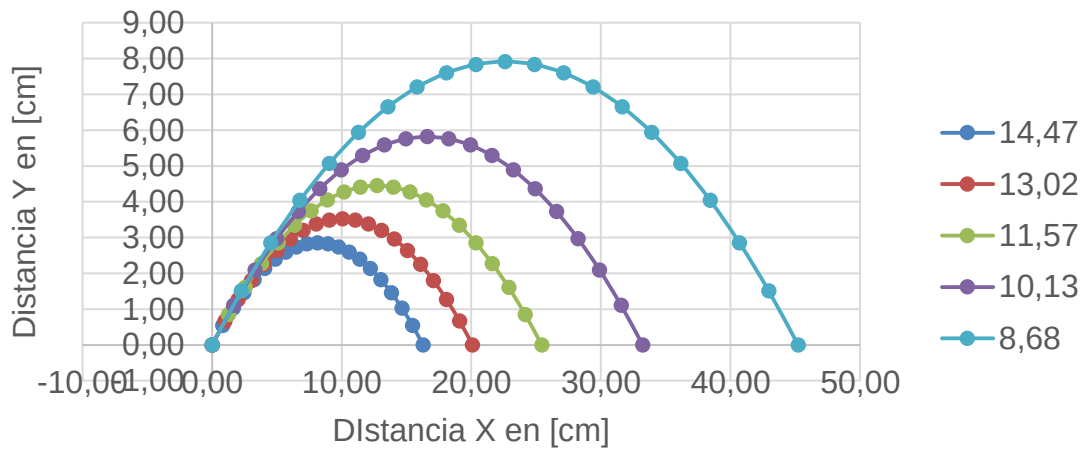


Tabla 3.1 Límites de instalación del dispositivo

Nomenclatura	Descripción	Magnitud	Unidades
h_{tolva}	Altura de la tolva actual	77	cm
$h_{rastrillo}$	Altura del rastrillo	21,5	cm
$y_{m\acute{a}x}$	Altura máxima entre el rastrillo y la tolva	1	cm
$x_{m\acute{a}x}$	Distancia máxima de separación entre el rastrillo y la tolva	5	cm
L_t	Longitud máxima de la tolva hasta el eje de rotación	83	cm

3.2 SELECCIÓN DEL MOTOR

Usando los valores de velocidad angular y torque mínimo se procedió a seleccionar el motor según catálogo. Para esto se tuvo en cuenta la relación de dientes de los engranajes N que permitieran garantizar la velocidad angular para un motor dado, asumiendo que la eficiencia es de 98% por ser transmisión en cadena. Adicionalmente, ya que es un motor hidráulico, este trabajará con el caudal proporcionado por el sistema hidráulico del tractor, en este caso es de 100 l/mín a una presión de 200 bar por lo que necesitara de un sistema de regulación para garantizar las condiciones de entrada para el motor seleccionado.

$$\omega_{motor}N_m = \omega_{rotor}N_r \quad \text{Ecuación 9}$$

En la Tabla 3.2 se presentan las iteraciones realizadas para la selección del motor, considerando diferentes relaciones para la transmisión de potencia.

Tabla 3.2 Iteraciones para la selección del motor

Motor				Rotor		
Referencia	Torque	Velocidad angular, ω_{motor}	N_m	N_r	Torque, T	Velocidad angular rotor, ω_{rotor}
Unidades	Nm	rpm	-	-	Nm	rpm
1MGP400	349	120	13	30	789	51,0
1MGP400	304	108	25	56	667	47,3
1MGP400	466	145	18	47	1192	54,4
1MGP320	338	172	15	45	994	56,2
1MGP320	348	130	18	46	872	49,9

Se seleccionó entonces el motor 1MGP320 con una salida de torque de $338Nm$ y una velocidad angular de $172rpm$ con una entrada de caudal de $56,8 l/min$ y presión de $90bar$ según el catálogo Roquet [15].

3.2.1 Transmisión del motor

Una vez seleccionado el motor se procedió a establecer la longitud de la cadena, la distancia entre centros y las ruedas dentadas para la transmisión de potencia entre el motor y el rotor. En la selección del motor ya se había tenido en cuenta la relación de los dientes de las catarinas para garantizar las propiedades en el rotor, por lo que en esta sección se realizaron las consideraciones mostradas en la Tabla 3.3 para establecer el número de torones y la referencia recomendada para la cadena. Esto se realiza calculando H_{tab} que varía en función del número de torones, y se busca el valor mayor más cercano en tablas de una matriz según la velocidad de la catarina y el número ANSI de cadena recomendado, las cadenas recomendadas se presentan en la Tabla 3.4.

Tabla 3.3 Consideraciones de diseño

Nomenclatura	Descripción	Ecuación
K_1	Factor de corrección para 15	0,87
n_d	Factor de diseño	1,5
K_s	Factor de servicio	1,75
H_{nom}	Entrada de potencia según el motor seleccionado	8,16hp

Tabla 3.4 Selección de la cadena

Número de torones	K_2	H_{tab}	Designación de cadena ANSI
1	1	25	120
2	1,7	14	100
3	2,5	10	80
4	3,3	7	80

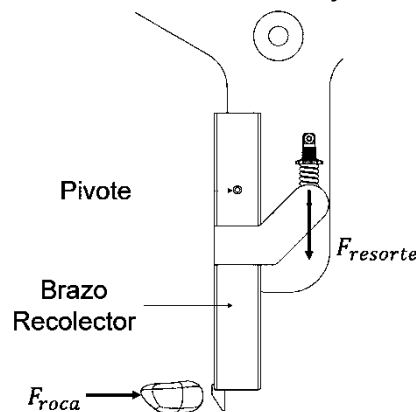
Para las cadenas de la Tabla 3.4 se recomienda lubricación tipo B. Por criterio de espacio se desea que el diámetro de las catarinas sean los mínimos, para eso se utiliza la designación de cadena de menor nominación que corresponde

a un paso menor. Se selecciona una cadena ANSI 80 con tres torones de 62 pulgadas de longitud para catarinas con separación de 15,25 pulgadas.

3.3 RESORTES

Para el cálculo de los resortes se realizó el diagrama de cuerpo libre del brazo recolector, ver diagrama Figura 3.6, en él se ve la resultante en el apoyo deslizante como la fuerza que cae en el resorte. En este orden de ideas la fuerza actuante sobre el extremo del recolector que entra en contacto con la roca, sería F_{roca} calculada previamente, por lo que la fuerza sobre el resorte sería $F_{m\acute{a}x} = F_{roca}$. Se considera que en un punto de la rotación del rotor, el resorte estará apoyado sobre el brazo, por lo que no existirá carga sobre él además de la precarga, por lo que para consideraciones de diseño se asume $F_{m\acute{i}n} = 0$.

Figura 3.6 Diagrama de las fuerzas sobre el conjunto resorte brazo recolector



Para el montaje del resorte se utiliza un vástago para garantizar la amortiguación del impacto con las rocas sin perder alineación. El conjunto del vástago con el resorte y las piezas que lo aprisionan se denomina de ahora en adelante como amortiguador y delimita los criterios de espacio disponible para el montaje del resorte, ver Tabla 3.5. Se usa un resorte con extremos a escuadra y esmerilados, porque se obtiene una mejor transferencia de carga.

Tabla 3.5 Parámetros de diseño para el resorte

Nomenclatura	Descripción	Magnitud	Unidades
d	Diámetro del alambre	-	<i>pulg</i>
D	Diámetro de la espira	-	<i>pulg</i>
DE	Diámetro exterior	2,125	<i>pulg</i>
$d_{varilla}$	Diámetro de la varilla	1,0625	<i>pulg</i>
$F_{m\acute{a}x}$	Fuerza máxima de trabajo	306	<i>lbf</i>
$F_{m\acute{i}n}$	Fuerza mínima de trabajo	0	<i>lbf</i>
f	Frecuencia de operación	0,94	<i>Hz</i>

Se procedió con el diseño del resorte usando las ecuaciones de los anexos y se realizó un proceso iterativo para hallar el diámetro del resorte según los criterios definidos previamente junto con la disponibilidad comercial. A continuación se presentan los criterios generales recomendados para el diseño de un resorte.

Tabla 3.6 Criterios de selección del resorte

Nomenclatura	Descripción	Criterio	Unidades
C	Índice del resorte	$4 \leq C \leq 12$	-
N_a	Número de espiras activas	$3 \leq N_a \leq 15$	-
ξ	Factor de linealidad	$\xi \geq 0,15$	-
n_f	Factor de seguridad a fatiga	$n_f \geq 1,5$	
n_s	Factor de seguridad al cierre (altura sólida)	$n_s \geq 0,12$	-
$(L_0)_{cr}$	Longitud libre crítica	$(L_0)_{cr} > L_0$	<i>pulg</i>
f_n	Frecuencia crítica	$f_n \geq 20f$	<i>Hz</i>

Las iteraciones se realizaron seleccionando del catálogo resortes que cumplieran con las condiciones de diámetros y carga, y luego se verificó si cumplieran con los criterios establecidos aplicando las ecuaciones de los anexos, enfatizando en el factor de seguridad a fatiga. Los parámetros de entrada del catálogo fueron el material del resorte (A228 o A229), el diámetro externo, el diámetro de la espira, la constante elástica y las longitudes del resorte. En la Tabla 3.7 de iteraciones se calculó cada parámetro y se subrayaron los que no cumplieran con la longitud libre del catálogo o con los criterios establecidos. El resorte seleccionado corresponde entonces a un resorte para troquel HEFTY de Cromo Silicio de diámetro de alambre de 0,362 *pulg* y diámetro externo de 1,930 *pulg*, referencia LHL 2000C 05 [16].

Tabla 3.7 Iteraciones para el resorte

Referencia	LHC 207S 01	LHL 1500B 01	LHL 1500C 01	LHL 1500C 11	LHL 1500C 06	LHL 2000C 05
d	0,207	0,234	0,262	0,283	0,283	0,362
D	1,373	1,191	1,318	1,082	1,137	1,568
DE	1,580	1,425	1,580	1,365	1,420	1,930
k	210,0	745,0	1250,0	432,0	710,0	1015,0
C	6,63	5,09	5,03	3,82	4,02	4,33
N_a	5,0	3,5	2,4	17,2	9,0	6,4
L_0	3,12	1,76	1,44	6,25	3,62	3,40
$(L_0)_{cr}$	7,22	6,26	6,93	5,69	5,98	8,25
n_f	0,48	0,75	0,95	1,34	1,30	2,01
n_s	0,68	0,81	1,00	1,39	1,35	2,00
f_n	315	671	887	200	345	325

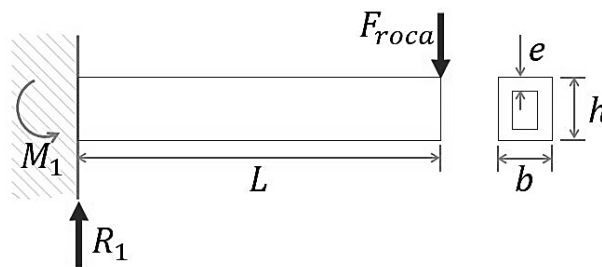
3.4 ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS RÍGIDAS

A continuación se presenta un análisis de las estructuras que componen el conjunto del rotor y están expuestas a la fuerza de la roca para verificar si sus dimensiones son adecuadas. Estas son: la placa lateral, los dientes del brazo y la viga del brazo en la que se posicionan los dientes.

Todos los componentes se asumieron de material AISI SAE 1020 y se diseñaron como vigas. La placa lateral se diseña como si estuviera compuesta por tres brazos empotrados sometidos a la fuerza de la roca.

El brazo está compuesto por tres vigas huecas rectangulares, soldadas entre sí. Para su análisis se consideraron dos escenarios; en el primero, ya que este está soldado a los extremos, se asume como una viga doblemente empotrada, donde el momento más crítico sería cuando la fuerza de la roca estuviera a la mitad; el segundo, considera la posibilidad de que una roca se encuentre en un solo extremo, por lo que se asume el brazo como una viga en voladizo empotrada en un solo extremo y en el otro expuesto a la fuerza de la roca. El segundo caso es el más crítico y conservativo, por lo que es el del cual se muestran los resultados, ver Tabla 3.8, siendo las dimensiones las acotadas en la Figura 3.7.

Figura 3.7 Nomenclatura del brazo como viga en voladizo



En el caso de los dientes, para realizar efectivamente el filtro de las rocas de menor tamaño, las piedras que van a la tolva son arrastradas por al menos dos dientes, por lo que la fuerza de la roca se reparte en dos dientes. Adicionalmente, no se establecen como vigas de sección uniforme, se propone una viga de sección mayor en el empotramiento y menor en el punto donde se aplica la carga para que la inercia ayude a la capacidad de absorber la energía por el impacto sobre el elemento, ver Figura 3.8.

Se analizaron las soldaduras de los dientes con el brazo y de la barra horizontal del brazo con sus dos empotramientos, la soldadura recomendada es 6010 y 7018. A continuación se presentan las dimensiones de los elementos que cumplen con un factor mínimo de seguridad a la fatiga de 3 indicadas con la nomenclatura de la Figura 3.7 y la Figura 3.8 aplicable a los elementos estudiados.

Figura 3.8 Diagrama de cuerpo libre del diente

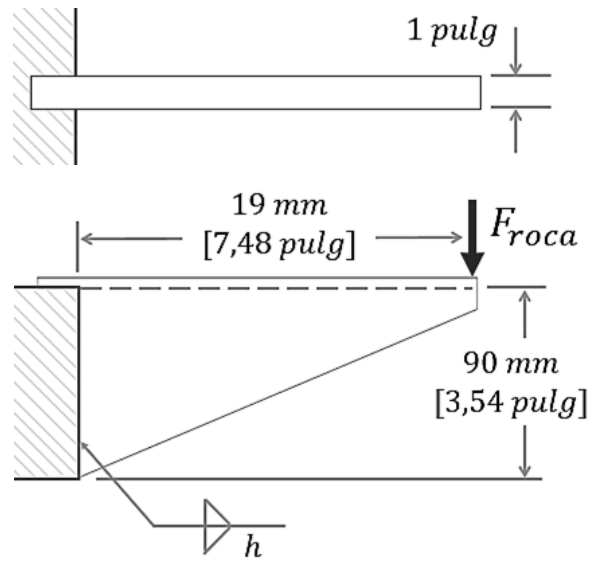


Tabla 3.8 Resultado del análisis de las vigas

	Notación	Unidades	Placa lateral	Diente	Brazo, horizontal
Viga	L	<i>pulg</i>	28,74	7,48	51,97
	b	<i>pulg</i>	0,39	1,00	1,969
	h	<i>pulg</i>	7,87	3,54	3,937
	e	<i>pulg</i>	-	-	0,197
	n_f	-	6,99	>10	2,76
Soldadura	h	<i>pulg</i>	-	0,24	0,39
	n_f	-	-	2,73	3,17

3.5 EJE

El diseño del eje se realizó de acuerdo con los elementos montados sobre él, en la Figura 3.9 se muestra el bosquejo inicial del eje con los elementos principales para el funcionamiento del motor. El primer paso consistió en analizar las cargas sobre el eje y realizar los diagramas de momento y cortante de los planos activos del eje, siendo las cargas actuantes por la tensión de la cadena sobre la catarina, el torque sobre el eje y los pesos de los componentes. Con las cargas fue posible dimensionar el eje y las cuñas sobre él a través de un proceso iterativo, se describe a continuación.

Figura 3.9 Configuración del eje, dimensiones en pulgadas

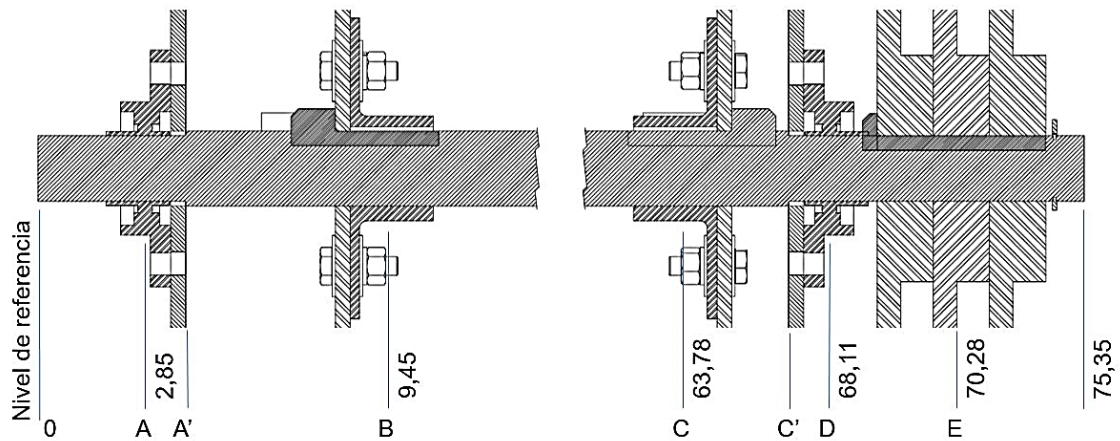


Tabla 3.9 Componentes sobre el eje

Elemento	Punto	Concentrador
Apoyo rodamiento izquierda	A	A', hombro
Acople al brazo izquierda	B	Cuña
Acople al brazo derecha	C	Cuña
Apoyo rodamiento derecha	D	C', hombro
Catarina, acople al motor	E	Cuña

3.5.1 Diagrama de momento y cortante

Para el análisis del eje se estableció el diagrama de cuerpo libre como se ve en Figura 3.10. Los apoyos se ubicaron en los puntos donde se encuentran los rodamientos, sometidos a carga radial. La fuerza de tensión ejercida por la conexión en cadena se calculó según el catálogo para la configuración establecida. En la Figura 3.10 se muestra el diagrama de cuerpo libre ubicando las fuerzas nombradas anteriormente en los planos correspondientes.

Figura 3.10 Diagrama de cuerpo libre del eje

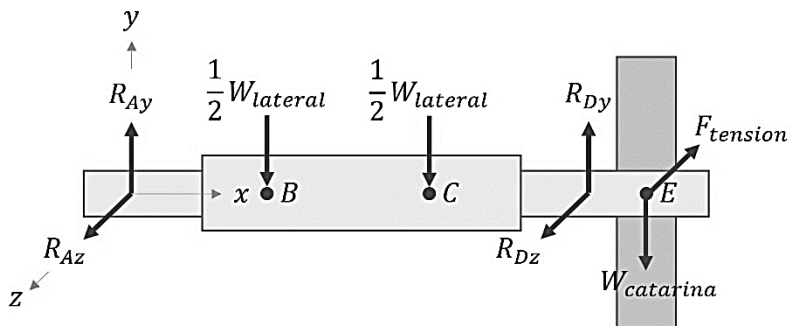
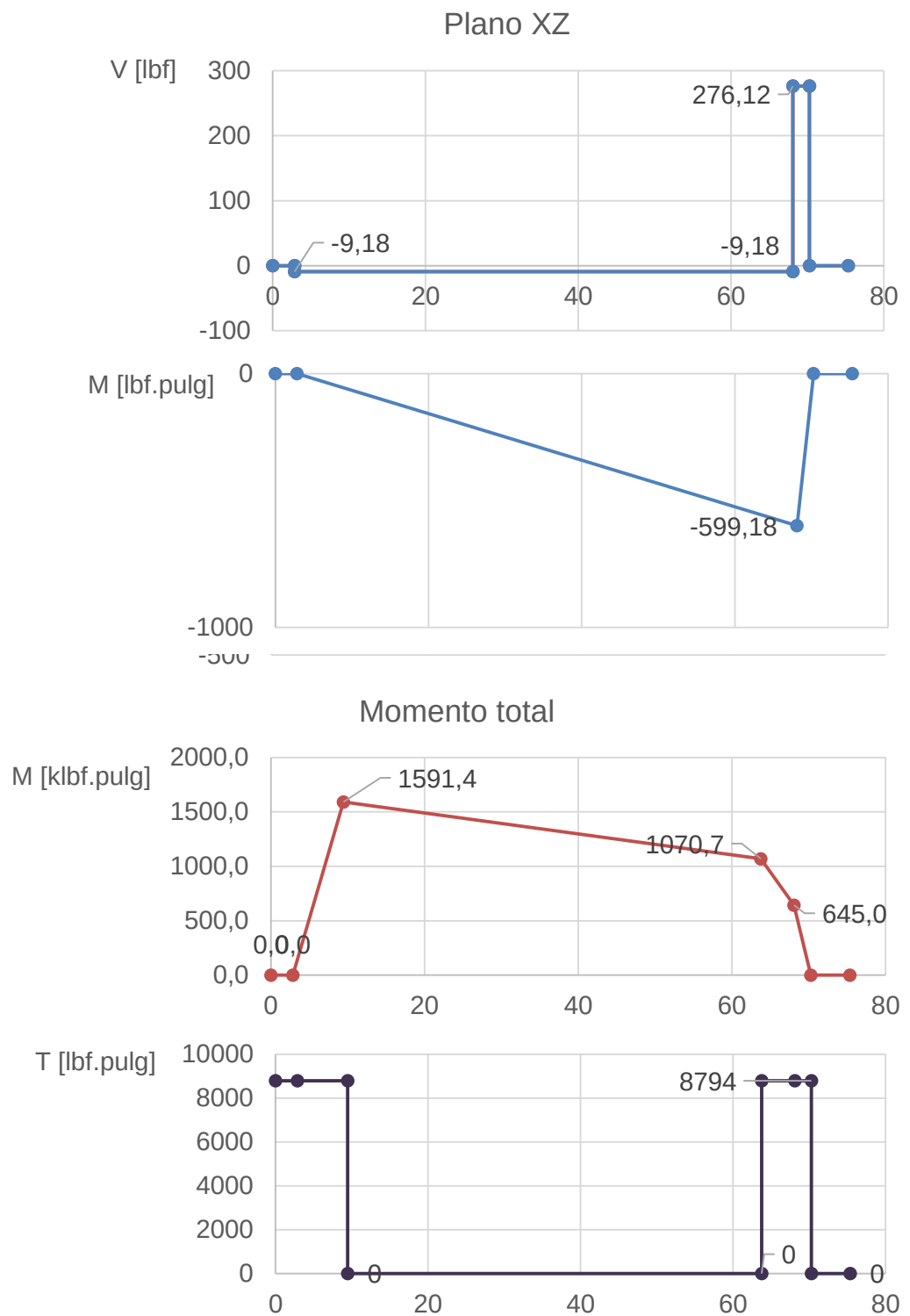


Tabla 3.10 Magnitud de las cargas empleadas para el diseño del eje

Descripción	Carga [lbf]
$W_{lateral}$	506,3
$W_{catarina}$	101,0
$F_{tension}$	1657,5

Figura 3.11 Diagramas de momento y cortante en los planos XY y XZ



3.5.2 Dimensiones y factores de seguridad del eje

El diseño del eje se realizó usando el procedimiento de la referencia [17] estableciendo inicialmente un factor de seguridad igual a 1,5 con $K_f = K_t = 1,7$ y $K_{fs} = K_{ts} = 1,5$ para establecer un diámetro de manera conservadora. Luego se realizó un proceso iterativo en el cual se cambiaba el material del eje para encontrar diámetros del eje acorde a un concentrador de esfuerzo por el cuñero que proporcionara factores de seguridad para la cuña y para el eje mayores a 4 y a 1,5 respectivamente. A continuación se presentan los factores de seguridad y dimensiones correspondientes a la cuña y el eje en los puntos B y C, que corresponden a los momentos más altos.

Tabla 3.11 Dimensiones del eje punto B y C

		Unidades	Punto B	Punto C
Eje	M_a	<i>lbf.pulg</i>	1591,4	1070,7
	T_m	<i>lbf.pulg</i>	8794,0	8794,0
	Material	-	4140 Normalizado	
	d	<i>pulg</i>	1,75	1,75
	n_f	-	2,70	3,06
	n_y	-	2,31	2,42
Cuña	Material	-	UNS G10200	
	b	<i>pulg</i>	0,375	0,375
	L	<i>pulg</i>	3,5	3,5
	n_s	-	4,90	4,90
	n_b	-	4,24	4,24

3.5.3 Selección del rodamiento

Una vez analizado los puntos críticos B y C, se obtuvo el diámetro mayor del eje. Seguidamente se procedió a seleccionar los rodamientos, sometidos a las cargas radiales calculadas en la sección 3.5.1 y con un diámetro cercano al de la catarina, que va montada sobre el eje, de 1,25 pulgadas, para garantizar el ensamble, pero de tal manera que el concentrador de esfuerzo en el hombro de los puntos A' y D' sea el mínimo.

Según el catálogo la fuerza sobre el rodamiento debe ser menor a la capacidad de carga de este C a una razón de 0,01. En este caso debería ser de al menos 66,1kN. Se selecciona entonces un rodamiento de rodillos cilíndricos NJ 2308 ECP de SKF de longitud 33mm y diámetro de 40mm.

3.5.4 Chequeo de los demás puntos

Una vez establecidas las dimensiones del rodamiento se procede a verificar los demás puntos del eje, es decir los puntos por el cambio de sección para el posicionamiento de los rodamientos A' y C', y el punto de la catarina, E. Es necesario maquinarse el diámetro interno de la catarina del rotor para facilitar el montaje, a un diámetro de 40mm.

Tabla 3.12 Factores de seguridad del eje puntos A', C' y E

		Unidades	Punto A'	Punto C'	Punto E
Eje	M_a	<i>lbf.pulg</i>	156,8	708,8	0,0
	T_m	<i>lbf.pulg</i>	8794,0		
	Material	-	4140 Normalizado		
	d	<i>pulg</i>	1,75		
	n_f	-	4,64	3,72	3,05
	n_y	-	3,13	2,90	1,96
Cuña	Material	-	-	-	UNS G10200
	b	<i>pulg</i>	-	-	0,375
	L	<i>pulg</i>	-	-	3,5
	n_s	-	-	-	4,41
	n_p	-	-	-	3,82

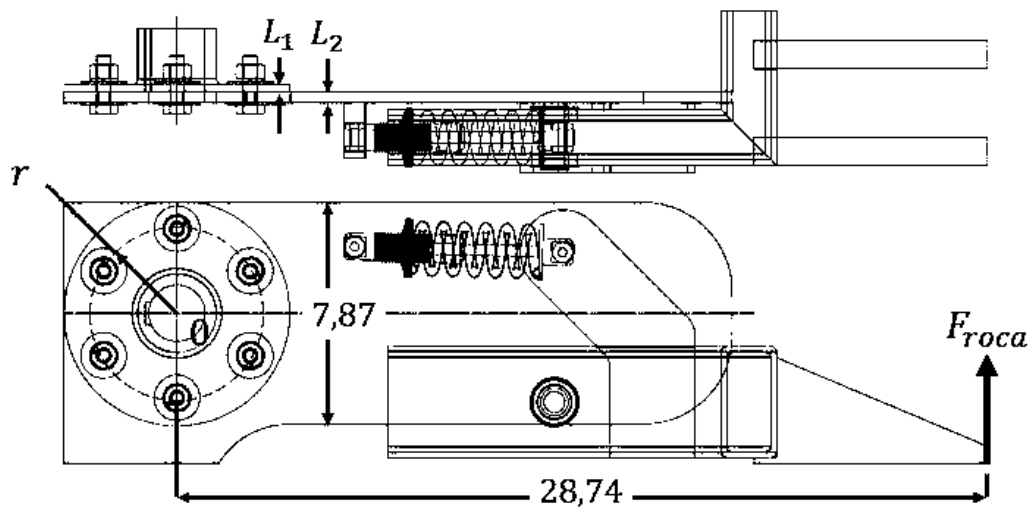
3.6 UNIONES

En esta sección se analizan las uniones, por soldadura y tornillos, que son críticas en el componente. Estas incluyen los bujes que transmiten el torque entre el eje y el brazo recolector (en las placas laterales); la soldadura de la base del motor sobre la placa principal; y el acople del motor al eje de la catarina de menor diámetro, para que funcione como fusible mecánico, protegiendo al motor de posibles sobrecargas.

3.6.1 Pernos entre el buje y la placa lateral del brazo

La unión seleccionada para la transmisión de potencia cuenta con una cuña, ya seleccionada previamente, y una unión pernada. Esta segunda en un arreglo radial montada en un buje con centro coincidente al eje del dispositivo. En el peor de los casos se asume que el conjunto del brazo es rígido, es decir brazo no pivotea sobre la placa lateral, y los pernos sienten toda la fuerza de la roca, porque la roca está directamente en uno de los extremos. La sección se presenta en la Figura 3.12.

Figura 3.12 Dimensiones de la unión del buje



Se realiza el análisis de los esfuerzos cortantes sobre los pernos, primarios a causa de la fuerza cortante, y secundarios a causa del momento generado en el plano paralelo a la fuerza de la roca que pasa por el centro del sistema de pernos, en cero. Estos esfuerzos son dependientes del número de pernos usados en el arreglo y la distancia a la que se encuentren espaciados del plano central y entre sí, para facilitar cálculos se asume que el arreglo es circular a una distancia r del eje del sistema. Con un factor de seguridad a fatiga mínimo de 1,5 y material del perno SAE Grado 5, se obtienen los siguientes resultados:

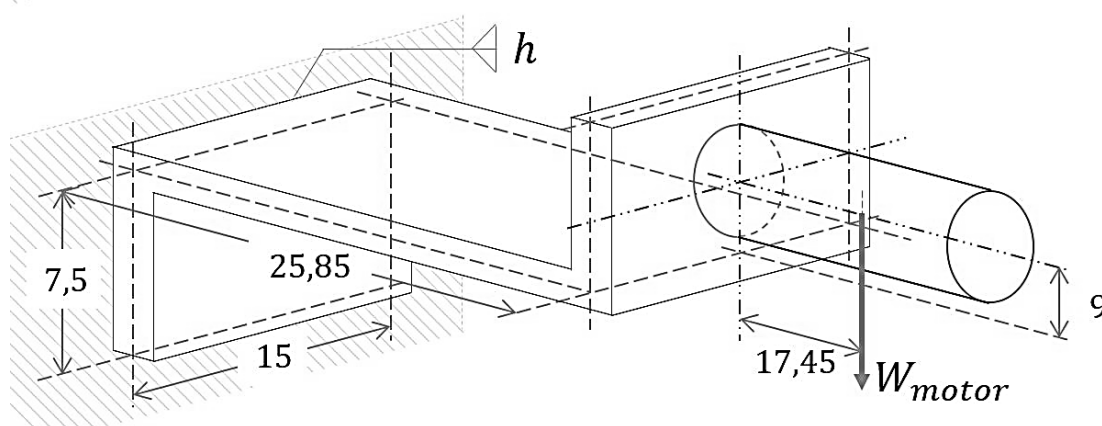
Tabla 3.13 Dimensiones del buje para el brazo

Notación	Descripción	Magnitud	Unidades
r	Radio de posicionamiento de los tornillos	2,5	<i>pulg</i>
n	Número de tornillos	6	-
d	Diámetro de los tornillos	0,5	<i>pulg</i>
L	Longitud del tornillos	1,25	<i>pulg</i>
t_1	Espesor del buje	0,39	<i>pulg</i>
t_2	Espesor de la placa	0,39	<i>pulg</i>
n_s	Factor de seguridad a cortante	1,80	-
n_a	Factor de seguridad de aplastamiento	1,79	-
n_{b1}	Factor de seguridad a flexión	2,57	-
n_{b2}	Factor de seguridad a flexión del material	6,26	-

3.6.2 Soldadura de la base del motor

Para posicionar el motor se propone una base soldada a la placa principal del conjunto de geometría como se ve en la Figura 3.13 con un espesor de placa de un centímetro. El peso del motor es de 8kgf considerando el fluido que contiene.

Figura 3.13 Soldadura base del motor, unidades en centímetros



$$n_f = \frac{S_{se}}{\tau'_a}$$

Ecuación 10

Con una soldadura de filete en la placa de dimensiones 7,5cm y 15cm con un espesor de 5mm se obtiene un factor de seguridad de 6,21 a fatiga para la soldadura y de 9 para el material de la viga en el empotramiento con la placa principal.

3.6.3 Acople del motor con el eje

Se diseñó un acople para el eje del motor con el eje sobre el que está montada la catarina de menor diámetro, de manera que funcionara de fusible mecánico. La transmisión se realiza del mismo modo que en el rotor del dispositivo, en este caso los pernos están sometidos a la fuerza tangencial producto del torque de 2,99klbf.pulg del motor. Se verificó el factor de seguridad en los pernos producto de la cortante y del aplastamiento.

Tabla 3.14 Dimensiones del buje para el motor

Notación	Descripción	Magnitud	Unidades
r	Radio de posicionamiento de los tornillos	1	pulg
n	Número de tornillos	6	-
d	Diámetro de los tornillos	0,375	pulg
L	Longitud del tornillos	1,00	pulg
t	Espesor del buje	0,25	pulg
n_s	Factor de seguridad a cortante	1,96	-
n_a	Factor de seguridad de aplastamiento	2,88	-

3.7 GUÍA DEL ACCESORIO RECOLECTOR DE ROCAS

La guía del accesorio recolector de rocas describe detalladamente el proceso de ensamblaje, montaje y desmontaje del accesorio. De esta manera se garantiza la integridad de los componentes y su correcta alineación. Este documento se adjunta en los anexos.

4. PROTOTIPO A ESCALA

En este capítulo se presenta el desarrollo del estudio del accesorio recolector de rocas diseñado, usando un modelo adaptado a la Fresadora Universal disponible en el laboratorio de procesos de manufactura de la Universidad del Valle.

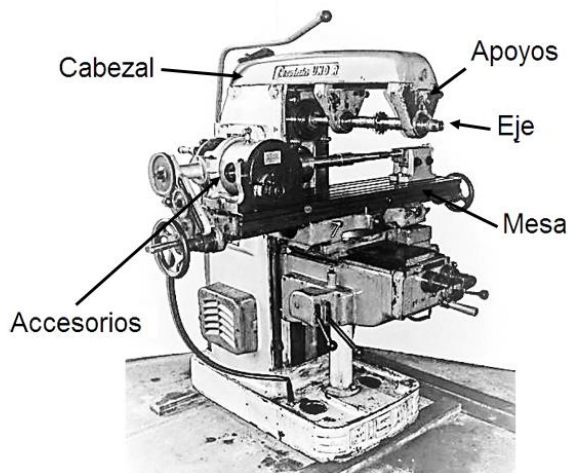
El ensayo consistió en la verificación de la trayectoria de las rocas hacia la tolva usando las condiciones geométricas del accesorio recolector de rocas propuestas, es decir: la longitud del brazo, la inclinación del rastrillo y la distancia de estos dos a la tolva.

4.1 MÁQUINA DE ENSAYOS

La máquina de ensayos escogida fue la fresadora universal, ver Figura 4.1, dado que permitía el montaje del dispositivo sobre su eje horizontal, facilitando la transmisión de potencia sin utilizar elementos mecánicos como tornillos o cuñas. El ajuste se realiza con un sistema de bujes y tuerca sobre el eje que aprisiona el componente y lo hace girar. Adicionalmente, la máquina permite desplazar el cabezal en dirección del eje, por lo que se puede desplazar hacia atrás para que la distancia del eje al cabezal no sea una restricción del dispositivo.

La fresadora cuenta con un motor de 4 caballos de fuerza y distintas velocidades angulares de salida del eje que permiten ajustar las condiciones de ensayo para un torque particular en el dispositivo.

Figura 4.1 Esquema de las partes de la Fresadora Universal



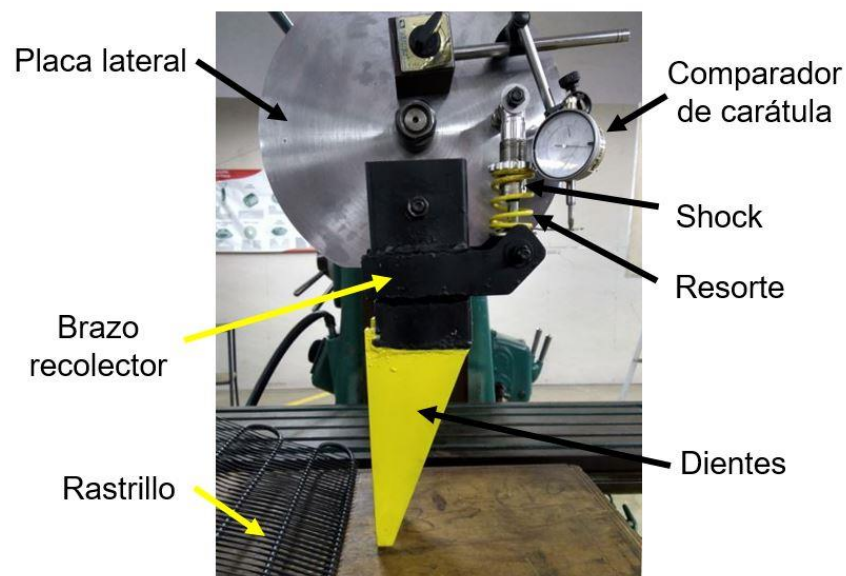
4.2 DIMENSIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

El montaje experimental consiste en el posicionamiento del dispositivo sobre el eje de la fresadora, y el rastrillo sobre la mesa de la misma. La distancia del eje al extremo del brazo recolector se fijó de tal manera que la fuerza resultante del prototipo se aproximara a la fuerza del dispositivo, iterando con las velocidades

angulares disponibles. Se estableció que para una velocidad de 48rpm y un brazo de 40cms de longitud se obtiene una fuerza tangencial en el extremo del prototipo de 1,48kN (sin considerar pérdidas) equiparable con una fuerza estimada de 1,42kN para el dispositivo recolector de rocas.

El prototipo se diseñó con un mínimo de dos dientes, al ser los necesarios para filtrar las rocas, y así reducir el peso del prototipo. Se conservaron las dimensiones del shock con el fin de utilizar el resorte como variable de estudio para los ensayos a los que está destinado el dispositivo. Los planos del prototipo se adjuntan luego de los anexos y el montaje final del dispositivo se presenta en la Figura 4.2.

Figura 4.2 Partes del prototipo del dispositivo recolector



4.3 APLICABILIDAD

El dispositivo fue fabricado para el estudio de la dinámica y resistencia de sus componentes ante el rango de rocas de diseño, y se espera que sea aplicado para realizar ensayos de diferente naturaleza, por ejemplo:

- Estudiar el comportamiento del montaje ante resortes de diferentes k por la versatilidad que permite el shock.
- Visualizar la trayectoria de las rocas a través de un estudio que involucre rocas de diferentes tamaños y pesos.
- Utilizar diferentes ángulos para el rastrillo y estudiar la trayectoria de las rocas.
- Evidenciar la capacidad de filtrar las rocas ante distintos tamaños de roca posicionados en el terreno.

4.4 MONTAJE EXPERIMENTAL

Para el montaje experimental se utilizó el ángulo de diseño, igual a 35° , con una longitud proporcional al brazo de 40cm del prototipo. Una mesa adicional fue posicionada al lado de la fresadora para tener una mayor área donde ubicar el rastrillo y garantizar su estabilidad.

Para realizar los ensayos se dispuso de resortes de diferente constante k e igual longitud, de tal manera que fuese más notorio el desplazamiento del resorte al impactar con la roca.

Adicionalmente, se incluyó un comparador de carátula con el indicador apoyado sobre una platina instalada entre el shock y el resorte, de tal manera que esta platina se desplazara paralelamente con el resorte y se pudiera cuantificar el desplazamiento del mismo.

El dispositivo se probó usando rocas de diferentes tamaños dentro del rango de diseño, es decir entre 20 y 8 centímetros de diámetro. Usando un cronómetro se realizó el cálculo de las revoluciones por minuto del dispositivo, difiriendo de las indicadas por la máquina, en este caso, cuando el indicador estaba en 40rpm, la rotación real era de 48rpm.

Figura 4.3 Montaje del prototipo y el rastrillo sobre la Fresadora Universal



El montaje experimental permitió evidenciar que las rocas seguían eficientemente la trayectoria hacia la tolva. Por motivos de seguridad no se evaluó el comportamiento del dispositivo para rocas de mayor tamaño, sin embargo es posible adaptar una cabina que garantice que estas caigan en un sitio particular sin poner en riesgo el equipo o el personal del laboratorio.

Adicionalmente, se propone el uso de galgas extensiométricas o algún instrumento de medición alternativo, ya que el comparador de carátula no constituye una herramienta efectiva al rotar con el dispositivo.

5. CONCLUSIONES

Se diseñó un accesorio recolector de rocas adaptable a diferentes tipos de tractores de caña, bajo estándares de potencia, carga, maniobrabilidad y costo, que permitiesen la efectiva remoción de rocas en campos de caña a nivelar.

Se determinaron las condiciones de operación para un accesorio recolector de rocas, basado en el estado de los campos visitados y las recomendaciones de operación establecidas por los ingenieros de campo.

Se desarrollaron alternativas de diseño a partir de una comparación cuantitativa de las cualidades de los accesorios recolectores de rocas utilizados en el mercado a través de una matriz de decisión. Con los resultados de dicho análisis se seleccionó el dispositivo de brazos giratorios, dado que este presentó un puntaje mayor, basado en las características de operación requeridas para despedregar el terreno explorado.

Adicionalmente, se puede concluir que el dispositivo de brazos giratorios presenta una capacidad operativa mayor en comparación con las demás alternativas, es decir, una tasa de recolección de piedras más alta en un menor tiempo, requiriendo menos inspecciones de un mismo campo para limpiarlo, lo que se ve reflejado en la disminución de los costos de operación, tales como mano de obra, combustible, etc.

Se realizó el diseño en detalle de la alternativa seleccionada, basado en los criterios del campo explorado, considerando su versatilidad y capacidad de adaptación al chasis de la tolva aprovechando la energía del sistema hidráulico del tractor.

El accesorio cuenta con una guía detallada para su montaje que incluye normativas de seguridad y los requerimientos de instalación del tractor, para garantizar las condiciones con las que fue diseñado.

Se fabricó un prototipo a escala del dispositivo diseñado para evaluar su comportamiento ante las rocas de trabajo. Este dispositivo fue evaluado sobre la Fresadora Universal para comprobar las fuerzas que actuaban sobre él y la amortiguación ejercida por el resorte. El dispositivo está disponible para futuros ensayos ante condiciones variables de trabajo, tales como la rigidez del resorte, los tamaños de rocas, etc.

6. TRABAJOS FUTUROS

- Se recomienda automatizar la velocidad angular del motor respecto de la velocidad de avance del tractor para garantizar la distancia de inspección.
- El diseño de este accesorio recolector consideró la implementación de un mecanismo de auto volteo para la remoción de rocas de mayor envergadura.
- Para reducir el espacio ocupado por la transmisión por cadena y mejorar su confiabilidad, se recomienda estudiar el uso de un moto reductor en su lugar.
- De ser necesario, es posible implementar una camisa protectora para evitar entalladuras en el eje.
- Medir las deformaciones causadas por el impacto con las rocas sobre el prototipo, con un instrumento de medición que facilite la toma de datos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Incauca S.A.S., «Procesos,» [En línea]. Available: <http://www.incauca.com/es/procesos/>. [Último acceso: Marzo 2017].
- [2] F. Giraldo M., «Consecha, alce y transporte,» de *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*, Cali, CENICAÑA, 1995, pp. 357-362.
- [3] NETAFIM, «Agronomic Practices,» Marzo 2017. [En línea]. Available: <http://www.sugarcane crops.com>.
- [4] Pioneer, «Pioneer,» [En línea]. Available: <https://www.pioneer.com/landing>. [Último acceso: Marzo 2017].
- [5] Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, «Despedregadoras: Recogedoras y trocedoras de piedras,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.mapama.gob.es/es/>.
- [6] LA CASA DEL BOBCAT, «Clasificados,» Febrero 2016. [En línea]. Available: lacasadelbobcat.com.
- [7] INTEREMPRESAS, «INTEREMPRESAS,» Febrero 2016. [En línea]. Available: www.interempresas.net.
- [8] M. Luis, *Piedras y despedregadoras de Colombia*, 2002, pp. p 35 - 38.
- [9] E. Gil, «Elección correcta de la maquinaria agrícola. Aspectos fundamentales,» *agrotécnica*, pp. 167-175, Abril 2001.
- [10] Flexxifinger QD Industries Inc., «Flexxifinger Quicker Picker Rock Picker,» [En línea]. Available: <http://www.roborockpicker.com>.
- [11] Loftness Manufacturing, «Loftness,» [En línea]. Available: <http://www.loftness.com/>.
- [12] Murphy Sales LLC & JustHost.com, «Murphy Sales LLC,» [En línea]. Available: <http://www.murphysalesllc.com/>. [Último acceso: Abril 2017].
- [13] Degelman, «Degelman,» [En línea]. Available: <http://www.degelman.com>. [Último acceso: Abril 2017].
- [14] Aplicaciones móviles SKF, Rodamientos, 2015: Grupo SKF.

- [15] Roquet, «Componentes oleo-dinámicos,» *Motores Hidráulicos 1MGP-1MGR*.
- [16] Lee Spring, «Serie 23,» [En línea].
- [17] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, McGraw-Hill Interamericana, 2008.
- [18] Highline Manufacturing, «Rock Removal,» [En línea]. Available: <http://www.highlinemfg.com>.
- [19] F. Q. I. Inc., «Flexxifinger,» Abril 2017. [En línea]. Available: <http://www.roborockpicker.com/>.

Anexo A : Información recopilada en campo

Nomenclatura	Descripción	Unidades
W_r	Peso de la roca	$\pm 0,1 \text{ kgf}$
F_{ext}	Fuerza de extracción	$\pm 0,1 \text{ kgf}$
h_r	Altura enterrada	$\pm 0,1 \text{ cm}$
W_{agua}	Peso del agua	$\pm 0,1 \text{ kgf}$
ρ_r	Densidad de la roca	$\pm 543,3 \text{ kg/m}^3$
μ	Coefficiente de fricción	$\pm 0,05$
d_r	Diámetro de la roca	$\pm 0,5 \text{ cm}$

No.	W_r	F_{ext}	h_r	W_{agua}	ρ_r	μ	d_r
1	2,5	2,0	8,3	0,7	3571,4	0,80	11,8
2	1,9	1,0	4,8	0,6	3166,7	0,53	11,2
3	3,2	2,5	7,2	0,9	3555,6	0,78	12,8
4	2,3	0,8	3,4	0,6	3833,3	0,35	11,2
5	2,7	1,0	3,8	0,8	3375,0	0,37	12,4
6	4,8	1,0	2,3	1,3	3692,3	0,21	14,5
7	5,5	1,2	2,1	1,6	3437,5	0,22	15,6
8	9,8	7,5	6,8	2,4	3309,8	0,77	17,8
9	1	0,3	2,4	0,3	3333,3	0,30	8,9
10	1,6	0,6	4,3	0,5	3200,0	0,38	10,6
11	3,3	0,8	2,5	0,9	3666,7	0,24	12,8
12	4,1	1,5	3,5	1,2	3416,7	0,37	14,1
13	2,6	2,0	8,4	0,8	3250,0	0,77	12,4
14	4,8	1,3	3,2	1,4	3428,6	0,27	14,9
15	5,2	1,2	2,5	1,4	3714,3	0,23	14,9
16	1,8	1,1	5,5	0,6	3000,0	0,61	11,2
17	2,9	0,8	2,3	0,9	3222,2	0,28	12,8
18	5,0	1,3	2,5	1,4	3571,4	0,26	14,9
19	3,4	1,0	2,1	0,9	3777,8	0,29	12,8
20	2,4	0,9	4,3	0,7	3428,6	0,38	11,8
21	3,4	2,4	7,6	1,1	3090,9	0,71	13,7

Anexo B : Ecuaciones de apoyo

Cálculos de la cadena

Nomenclatura	Descripción	Ecuación
K_1	Factor de corrección para un número de dientes distinto a 17	-
K_2	Corrección por número de torones	-
n_d	Factor de diseño	-
K_s	Factor de servicio	-
H_{nom}	Entrada de potencia	-
H_{tab}	Potencia tabulada según el número de torones	$H_{tab} = \frac{n_d K_s H_{nom}}{K_1 K_2}$

Cálculos Resorte [17]

Condiciones a escuadra y esmerilado

Nomenclatura	Descripción	Ecuación
N_e	Espiras en el extremo	2
N_t	Espiras totales	$N_a + 2$
L_0	Longitud libre	$pN_a + 2d$
L_s	Longitud sólida	dN_t
p	Paso	$(L_0 - 2d)/N_a$
α	Constante de condición de los extremos	0,5

Descripción	Ecuación	Unidades
Resistencia última de tensión	$S_{ut} = \frac{A}{d^m}$	kpsi
Resistencia última de cortante	$S_{su} = 0,67S_{ut}$	kpsi
Criterio de Sines	$S_{se} = S_{sa} = 35kpsi$	Para superficies sin martillar
Fuerza de operación máxima	$F_s = (1 + \xi)F_{máx}$	lbf
Longitud libre mínima	$L_0 = L_s + \frac{F_s}{k}$	pulg
Longitud libre crítica	$(L_0)_{cr} = 2,63D/\alpha$	pulg
Fuerza alternante	$F_a = \frac{F_{máx} - F_{mín}}{2}$	lbf
Fuerza media	$F_m = \frac{F_{máx} + F_{mín}}{2}$	lbf
Índice del resorte	$C = D/d$	-
Factor de Bergsträsser	$K_B = \frac{4C + 2}{4C - 3}$	-

Amplitud del esfuerzo cortante	$\tau_a = K_B \frac{8F_a D}{\pi d^3}$	kpsi
Esfuerzo de cierre	$\tau_s = \tau_a \frac{F_s}{F_a}$	kpsi
Esfuerzo de fluencia al corte	$S_{sy} = 0,45S_{ut}$	kpsi
Factor de seguridad a la fatiga	$n_f = \frac{S_{se}}{\tau_a}$	-
Factor de seguridad de cierre	$n_s = S_{sy}/\tau_s$	-
Peso del resorte	$W = \frac{\pi^2 d^2 D N_a \gamma}{4}$	lbf
Frecuencia crítica	$f_n = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{kg}{W}}$	Hz

Cálculos del eje [17]

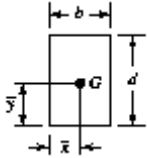
Descripción	Ecuación
Diámetro del eje	$d = \left\{ \frac{16n_f}{\pi} \left(\frac{2(K_f M_a)}{S_e} + \frac{[3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right) \right\}^{1/3}$
Esfuerzo alternante	$\sigma'_a = \frac{32K_f M_a}{\pi d^3}$
Esfuerzo medio	$\sigma'_m = \left[3 \left(\frac{16K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2}$
Factor de seguridad a fatiga	$\frac{1}{n_f} = \frac{16}{\pi d^3} \left(\frac{2(K_f M_a)}{S_e} + \frac{[3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right)$
Factor de seguridad a la fluencia	$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_{máx}} > \frac{S_y}{\sigma'_a + \sigma'_m}$

Uniones con tornillos a cortante por carga excéntrica [17]

Descripción	Ecuación
Número de tornillos	n
Carga cortante primaria	$F' = \frac{V}{n}$
Carga cortante secundaria	$F'' = \frac{Mr}{nr^2}$
Esfuerzo cortante	$\tau = \frac{F}{A_s}$
Esfuerzo de aplastamiento	$\sigma = -\frac{F}{A_b} = -\frac{F}{td}$
Criterio de falla de Goodman	$S_a = \frac{S_e(S_{ut} - \sigma_i)}{S_{ut} + S_e}$

Factor de seguridad a fatiga	$n_f = \frac{S_a}{\sigma_a}$
------------------------------	------------------------------

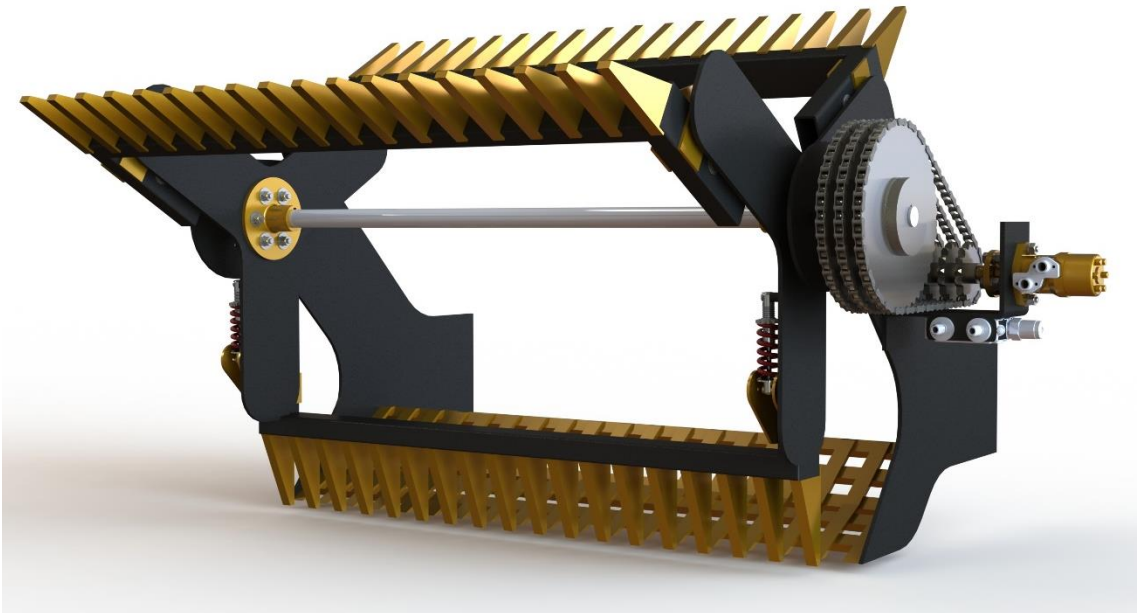
Propiedades flexionantes de las soldadura de filete

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
	$A = 1,414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$

Accesorio Recolector de Rocas

Serie 01

Javier A R Betancourt



UNIVERSIDAD DEL VALLE
Ciudad Universitaria Meléndez
Calle 13 # 100-00
Sede San Fernando
Cali, Valle del Cauca - Colombia
Tel.: 018000 22 00 21



¡La seguridad es importante!



Este símbolo identifica mensajes importantes de seguridad. Preste mucha atención cuando vea este símbolo y esté alerta ante la posibilidad de incurrir en una situación de riesgo, o perjudicar la integridad del equipo.

NORMAS DE SEGURIDAD GENERAL

1. El personal de operación que haga uso de esta máquina, debe tener en cuenta de que hay diferentes riesgos que pueden causar daños graves tanto físicos como materiales.
2. Usted es responsable de la operación segura del dispositivo. Lea cuidadosamente el manual antes de operar, ajustar o realizar mantenimiento al dispositivo.
3. Tenga un kit de primeros auxilios a la mano y aprenda cómo utilizarlo.
4. Use los implementos de seguridad apropiados, tales como guantes, gafas de seguridad, protección auditiva, etc.
5. No opere el dispositivo a menos que el motor del tractor esté detenido y el freno de parqueo esté activado. Remueva la llave de ignición y espere a que todas las piezas móviles se hayan detenido antes de empezar a maniobrar con el dispositivo.

PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

El dispositivo recolector de rocas es una estructura giratoria que se desplaza sobre la superficie gracias al movimiento del tractor para recoger rocas y escombros. La estructura compuesta por tres brazos gira sobre un rastrillo que conduce a la tolva las rocas y el material, de manera que la tierra necesaria para el cultivo sea filtrada por el rastrillo. El dispositivo puede adosado al chasis de una tolva de uso agrícola de tal manera que cuando la tolva se vuelca para vaciar su contenido, su movimiento no sea obstruido por el recolector.

REQUERIMIENTOS DEL TRACTOR

Utilice sólo un tractor que cuente con un sistema hidráulico de capacidad de 100l/min y 200bar como mínimo, y con la capacidad de arrastre de 3 toneladas.



PRECAUCIONES IMPORTANTES

1. LEA ESTE MANUAL ANTES DE CUALQUIER INTERVENCIÓN CON LA MÁQUINA
2. Tenga en cuenta que lo descrito en este documento, son consejos que facilitaran el montaje del accesorio recolector y el ensamble de cada uno de los componentes que hacen parte de este equipo.
3. Este manual debe considerarse como parte integral del accesorio recolector, por lo que se recomienda conservar en buen estado, y ser divulgado a

cualquier tipo de personal que sus labores impliquen algún tipo de intervención con este dispositivo.

4. Lea y entienda las acciones de seguridad antes de comenzar con el ensamblaje
5. Reúna todas las piezas necesarias para cada punto del ensamblaje
6. Utilice la herramienta recomendada para realizar los ajustes necesarios indicados en cada paso. **Nota: para apretar los tornillos y tuercas, gírelos en el sentido de las manecillas del reloj; para soltarlos, gírelos en contra de las manecillas de reloj.**
7. El ensamble requiere de al menos dos personas.
8. Utilice solamente piezas con las especificaciones aquí descritas, para garantizar el correcto funcionamiento del equipo.
9. Asegúrese que todos los tornillos estén bien ajustados antes de encender la máquina.
10. Manténgase a una distancia prudente del conjunto una vez esté en operación para prevenir el impacto de las rocas que estén en vuelo.

CHEQUEO ANTES DE LA OPERACIÓN

1. Lubrique la máquina donde sea necesario
2. Asegúrese de que el dispositivo se encuentre bien acoplado al tractor.
3. Verifique que los neumáticos se encuentran inflados con la presión que especifique el fabricante.
4. Revise que el nivel de aceite en el reservorio del tractor se encuentre al nivel recomendado por el fabricante.
5. Inspeccione el sistema hidráulico y apriete si hay alguna fuga. Limpie los acoples de la tubería de cualquier suciedad antes de conectar el sistema hidráulico.
6. Verifique las catarinas y cadenas para su correcta alineación y tensión. Ajuste la tensión como sea requerido.
7. Revise los dientes del rotor y del rastrillo por alguna obstrucción, y si tal es el caso remuela la obstrucción.

VÁLVULA DE CONTROL DE FLUJO

Una válvula de control es necesaria en el circuito hidráulico para ajustar la velocidad del motor y por ende la velocidad de los brazos giratorios. En el presente manual se recomienda una válvula para los tractores que no vienen equipados con una. Ajuste la salida del fluido según lo indique el fabricante a una presión de 90 bares y un caudal de 56,8 litros por minuto.

OPERACIÓN

1. **Tamaño del material:** El dispositivo fue diseñado para recoger rocas y escombros de 8 a 20 centímetros de diámetro. Piezas de menor tamaño caerán a través de la grilla que compone el rastrillo, y las piezas de mayor tamaño serán conducidas hacia la tolva del conjunto.

2. **Responsabilidad del operario:** Todo operador debe leer este manual y ser instruido en procedimientos de seguridad, de lo contrario se expondrá a si mismo a peligro.
3. **Velocidad del tractor:** La velocidad de operación del tractor puede variar según la densidad de las rocas en el terreno. Sin embargo es recomendable mantener una relación entre la velocidad de rotación del dispositivo y el desplazamiento del tractor. Una velocidad de operación normal varía entre 4 y 8 km/h.
4. **Rocas enterradas:** El dispositivo fue diseñado para recoger material suelto o ligeramente enterrado en el suelo. Sin embargo, puede que hayan objetos que no se desprendan fácilmente e inclusive que el tractor mismo los pueda incrustar al suelo. Estos pueden poner en riesgo el dispositivo y lo más aconsejable es que se extraigan manualmente antes de recolectarlos con el dispositivo.
5. **Carga y descarga:** Es recomendable utilizar el dispositivo hasta que el volumen de rocas y escombros llegue al borde de la tolva. Para vaciar el contenido de la tolva, detenga el dispositivo.

ENSAMBLE RECOMENDADO

A continuación se presenta el procedimiento recomendado para el ensamble del accesorio recolector:

1. Instalar las placas principales ⑬ con el rastrillo en el chasis la tolva.
2. Soportar el eje del rotor ③① en una de las placas principales con el extremo que tiene el cuñero hacia el lado en el que se ubicará la transmisión.
3. Ubicar los acoples del rotor ② y las placas laterales ① sobre el eje en el espacio entre los cuñeros. Los bujes de los acoples deben ser posicionados apuntando hacia el centro del eje. Las placas laterales se ubican en el espacio entre el buje y la placa principal, con los pines de ambas placas apuntando hacia el lado opuesto a la transmisión.
4. Soportar el extremo libre del eje en la otra placa principal.
5. Instalar las chumaceras con sus respectivos rodamientos ③③ y pernos entre la placa principal y el eje del rotor.
6. Ajustar los acoples a las placas laterales con los tornillos ⑦ y arandelas ⑧, ⑨ y ⑩.
7. Posicionar las cuñas ③ en los cuñeros del eje de forma que sus cabezas apunten hacia las placas principales y estén lo más cerca de estas.



NOTA: Este paso es de significativa importancia, dado que las cabezas de las cuñas mencionadas se encargan de evitar los desplazamientos en dirección axial del rotor. El posicionamiento incorrecto de estas piezas en el dispositivo puede causar una falla catastrófica del mismo.

8. Desplazar las placas laterales en dirección axial hasta que entren en contacto con la cabeza de las cuñas.
9. Ensamblar los brazos recolectores ④, insertando los pines de $\frac{3}{4}$ de pulgada en los rodamientos de flanche ⑤ previamente instalados en los brazos.
10. Insertar los resortes ⑫ precargados y ensamblados con su correspondiente shock absorber ⑪ en el pin de $\frac{3}{4}$ de pulgada de la placa lateral, usando la perforación que se encuentra en el vástago roscado.
11. Asegurar el otro extremo del shock al brazo recolector ⑥ usando un pasador roscado.
12. Ensamblar la cuña ③⑤ y catarina ③⑥ de mayor diámetro sobre el eje principal en el extremo de la transmisión.
13. Incorporar los anillos de retención ③⑦ los extremos libres del eje.
14. Posicionar la chumacera ③②, con su rodamiento ①⑧, y el eje de la catarina ②⑤, por el lado que no tiene cuñero, sobre la placa principal ①③ en el lado de la transmisión.
15. Montar la cuña ②⑥ y la catarina de menor diámetro ①⑦ sobre el eje de la catarina.
16. Incorporar el acople ①⑥ con su cuña en el extremo del eje de la catarina y posicionar el motor ①⑤ atravesando el agujero de la placa ①④.
17. Ajustar los tornillos del acople ②⑦②⑧ y del motor ②⑨③⑩.
18. Colocar la cadena ③④ sobre las catarinas
19. Conectar las mangueras de circulación del sistema hidráulico ②⑩②①②②②③②④, ver SISTEMA HIDRÁULICO. Tenga en cuenta que la válvula ①⑨ debe ser ajustada para garantizar el flujo que necesita el motor para la velocidad angular deseada.

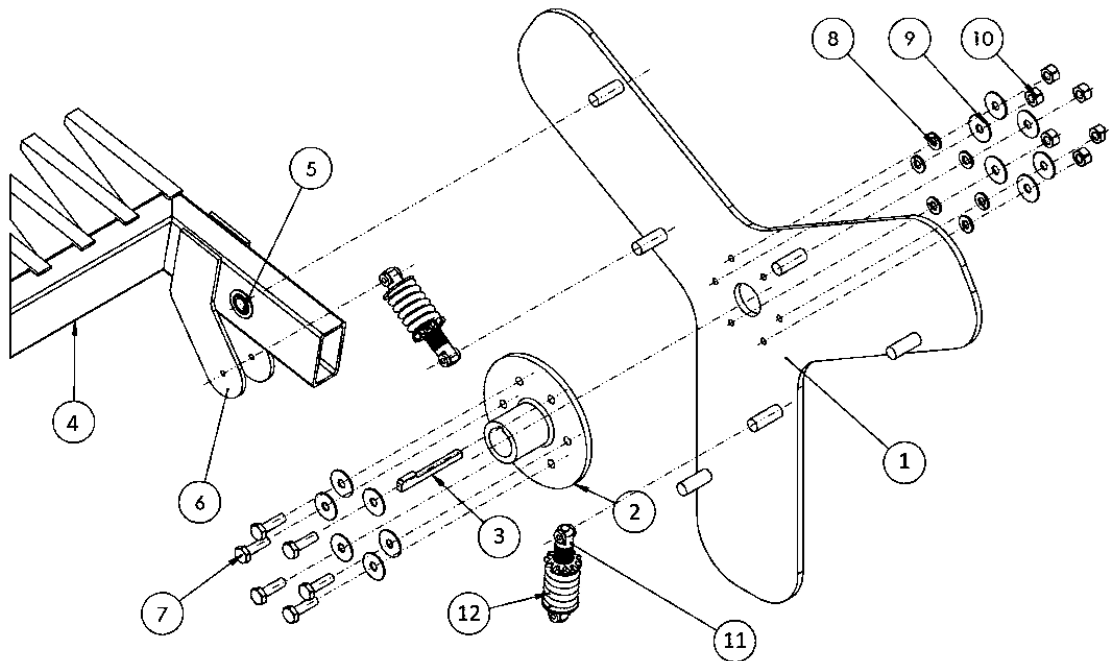


Se recomienda una velocidad angular para el rotor del accesorio de 56,2 rpm por lo que para la referencia indicada del motor se necesita un fluido con entrada de caudal de 56,8 l/min y presión de 90bar.



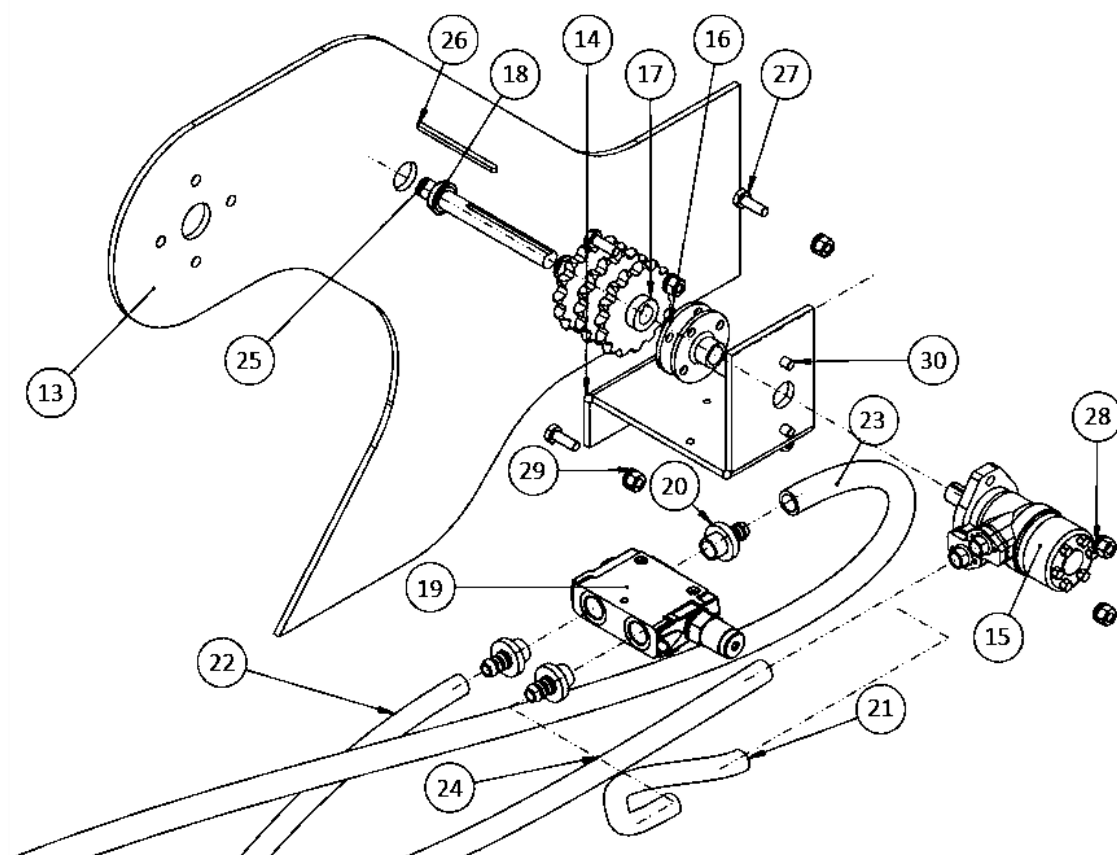
Recuerde que de sentido de giro del motor depende de la instalación de la tubería.

ENSAMBLE DE LA PLACA LATERAL



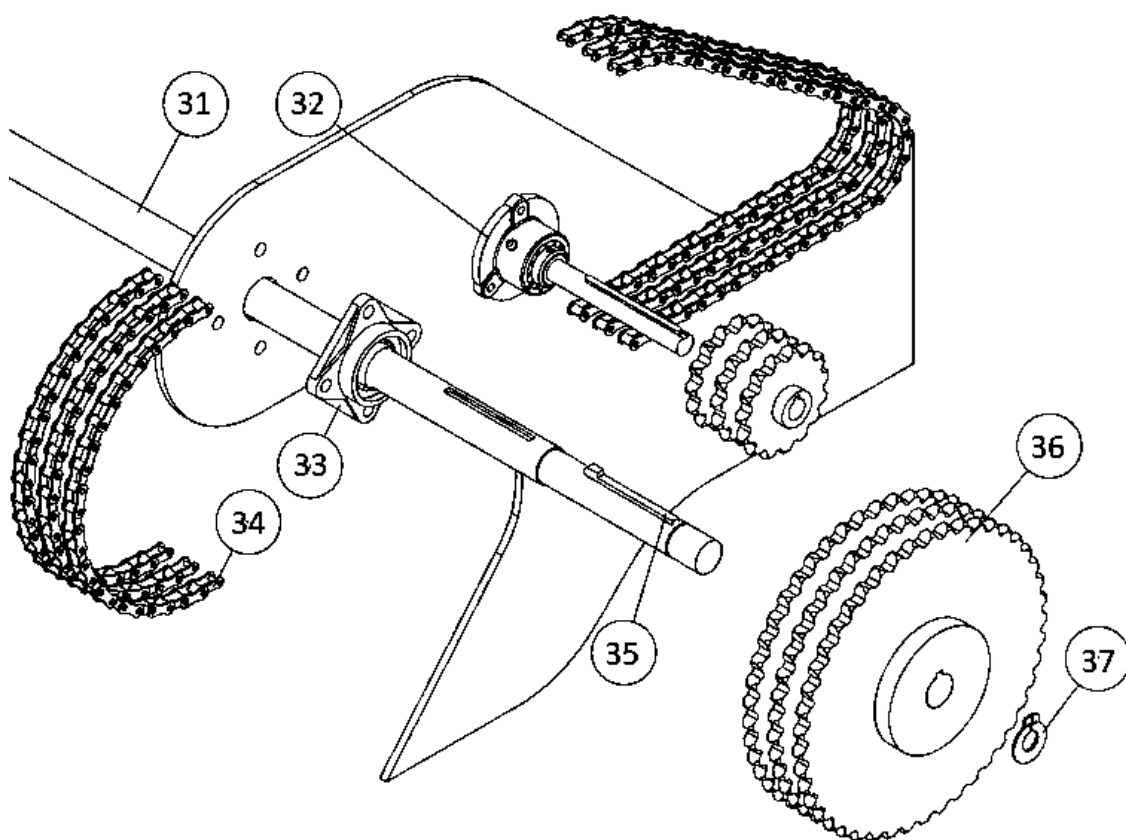
1	Placa lateral
2	Acople del rotor
3	Cuña de cabeza Gib para el eje del rotor
4	Brazo recolector
5	Rodamiento de flanche para pin deslizante
6	Direccionador de carga
7	Tornillos del acople del rotor ½ pulgada x 1 ½ pulgada SAE Grado 5
8	Arandelas de seguridad unión acople
9	Arandelas unión acople
10	Tuercas unión acople
11	Shock absorber
12	Resorte

SISTEMA HIDRÁULICO



13	Placa principal
14	Base del motor
15	Motor hidráulico 1MGP320
16	Acople del motor
17	Catarina 80-3B15
18	Rodamiento del eje del motor
19	Válvula de control de flujo de presión compensada
20	Racor
21	Manguera de la válvula al motor
22	Manguera de la bomba hacia la válvula
23	Manguera de regulación – de la válvula a la bomba
24	Manguera de retorno – del motor a la bomba
25	Eje de la catarina
26	Cuña para el eje del motor
27	Tornillos del acople del motor 3/8 pulgada x 1 ½ pulgada SAE Grado 5
28	Tuercas del acople del motor
29	Arandela normal y de seguridad del montaje del motor
30	Tornillos del montaje del motor ½ pulgada x 1 ½ pulgada SAE Grado 5

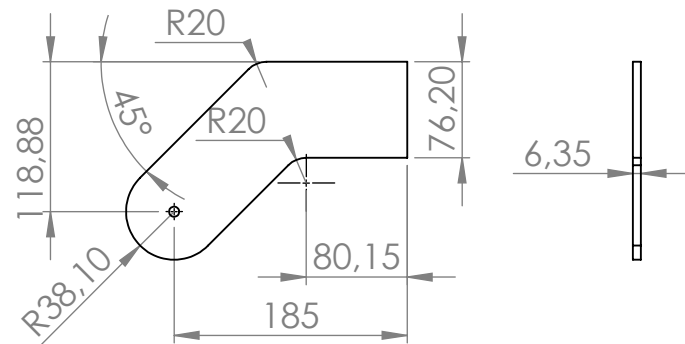
TRANSMISIÓN



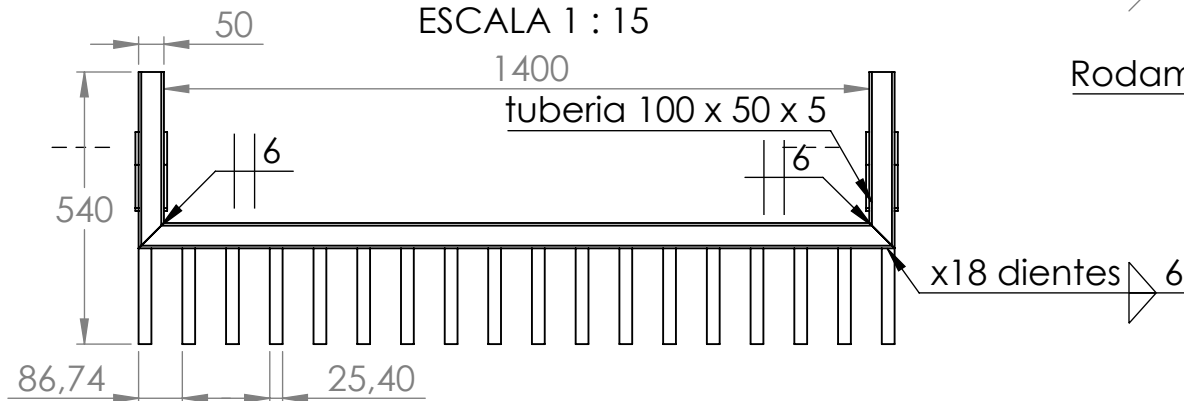
31	Eje del rotor
32	Rodamiento del eje de la catarina
33	Rodamiento del eje del rotor
34	Cadena 80-3B
35	Cuña de la catarina de mayor diámetro
36	Catarina 80-3B45
37	Anillo de retención

Anexo D : Planos del dispositivo y del Prototipo

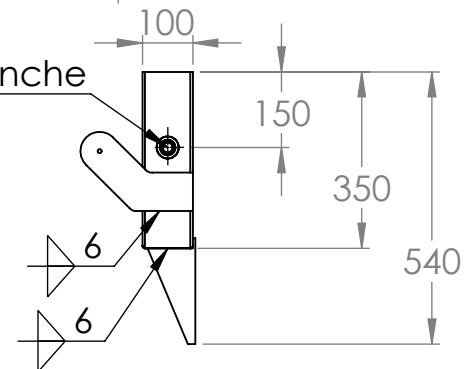
1 2 3 4 5 6



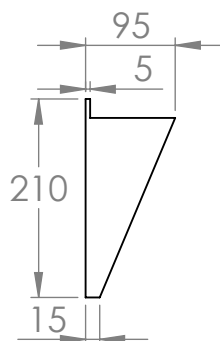
VISTA FRONTAL
ESCALA 1 : 15



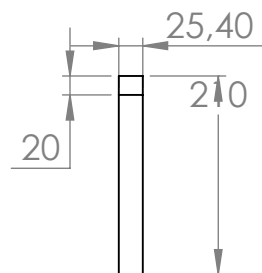
Rodamiento de flange



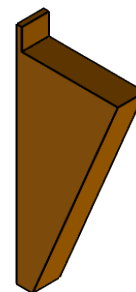
VISTA LATERAL
ESCALA 1 : 15



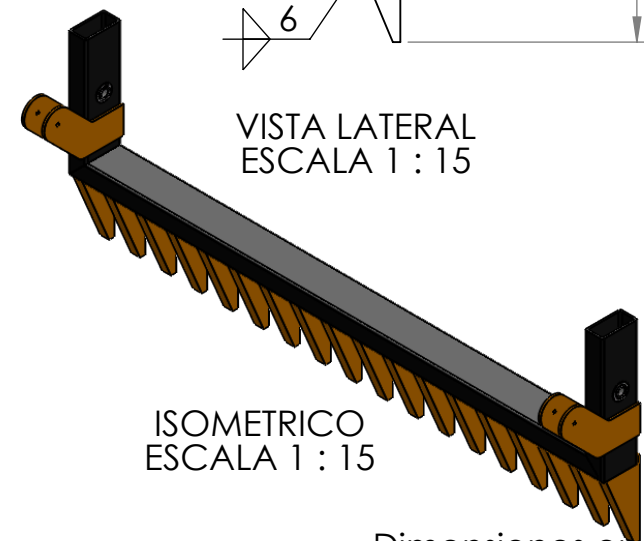
VISTA LATERAL
ESCALA 1 : 8



VISTA FRONTAL
ESCALA 1 : 8



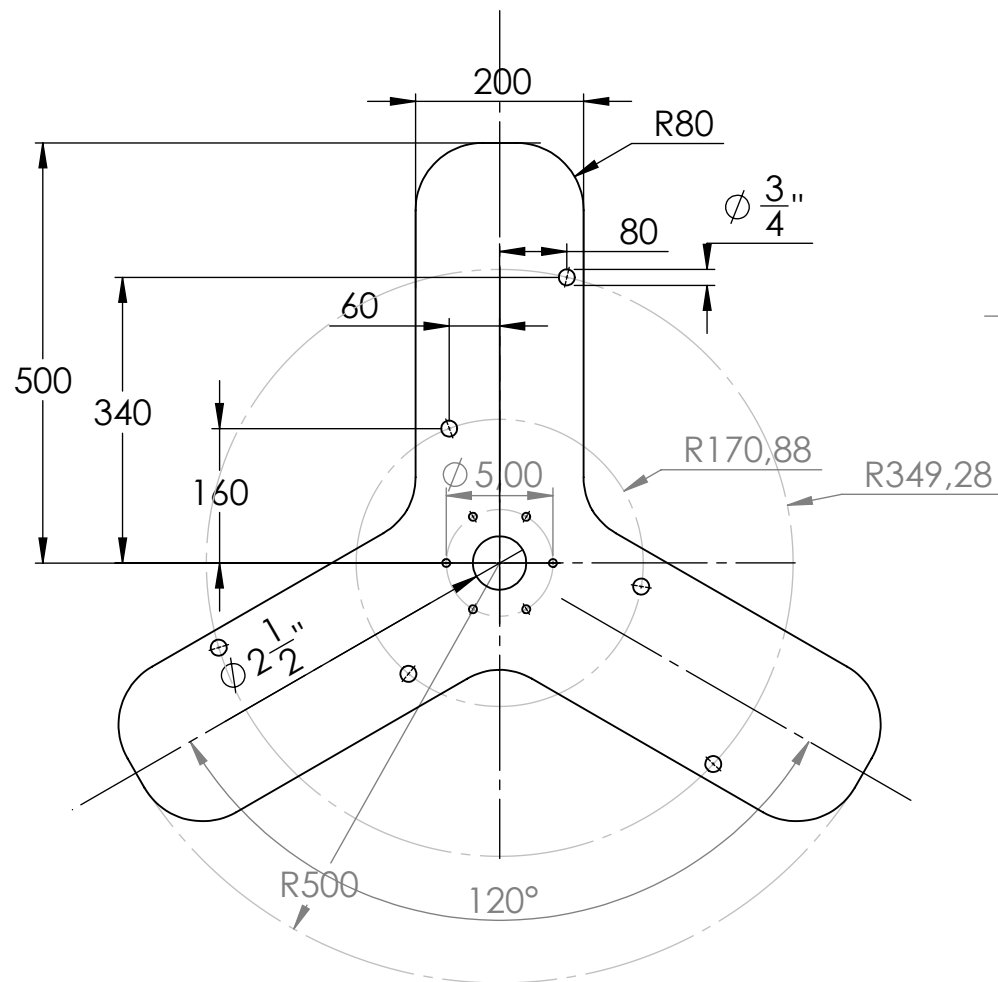
ISOMETRICO
ESCALA 1 : 5



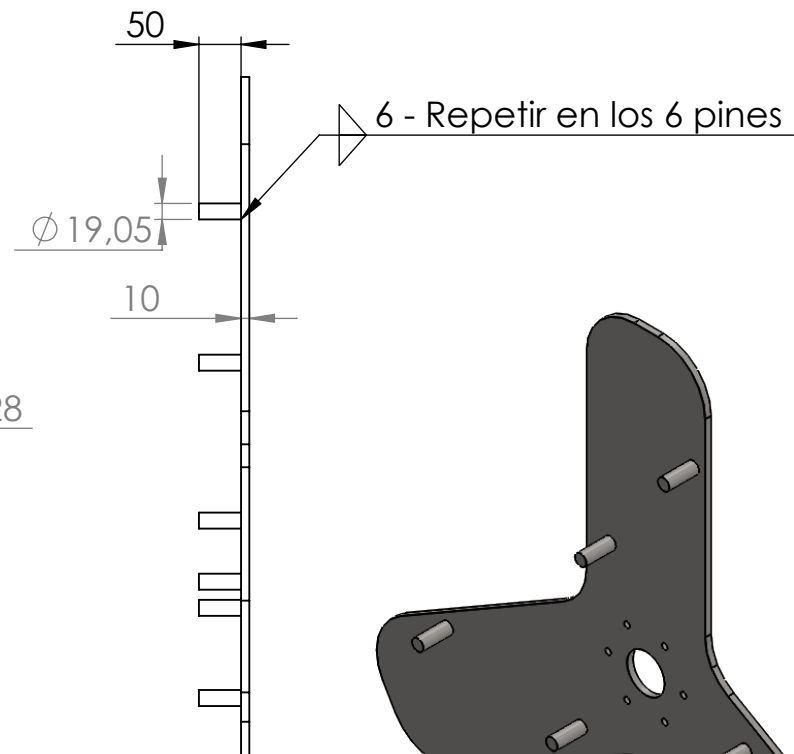
ISOMETRICO
ESCALA 1 : 15

Dimensiones en mm
a menos que se especifique lo contrario

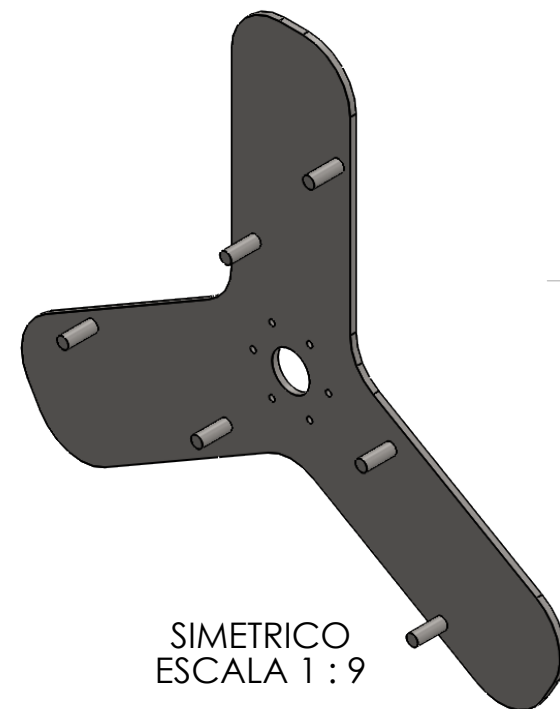
TÍTULO: Planos Accesorio Recolector	DIBUJ. NOMBRE Javier Ríncon	FIRMA	FECHA		 Universidad del Valle HOJA 3 DE 11
N.º DE DIBUJO 1	ING. NOMBRE Adolfo León Gómez	FIRMA	Recibido	Entregado	



VISTA FRONTAL
ESCALA 1 : 9



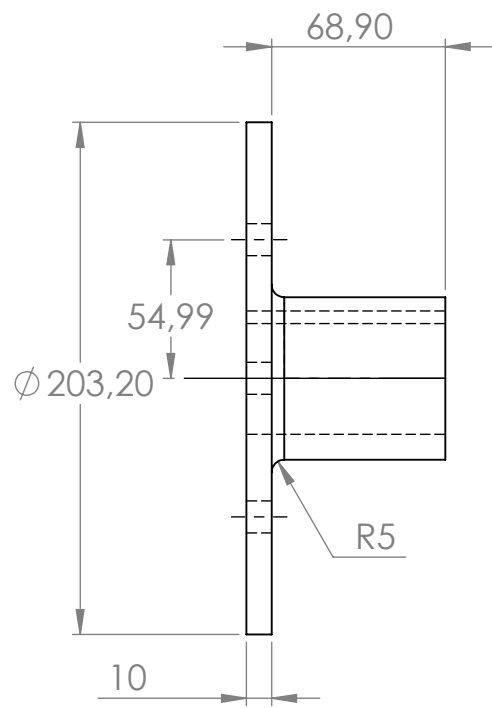
VISTA LATERAL
ESCALA 1 : 9



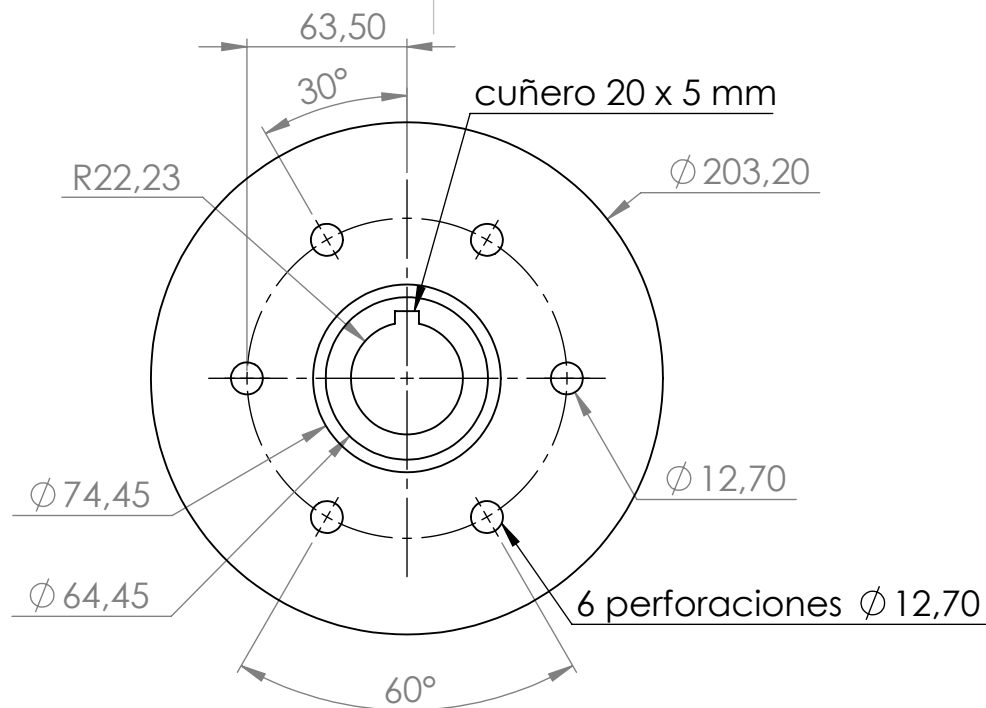
SIMETRICO
ESCALA 1 : 9

Dimensiones en mm
a menos que se especifique lo contrario

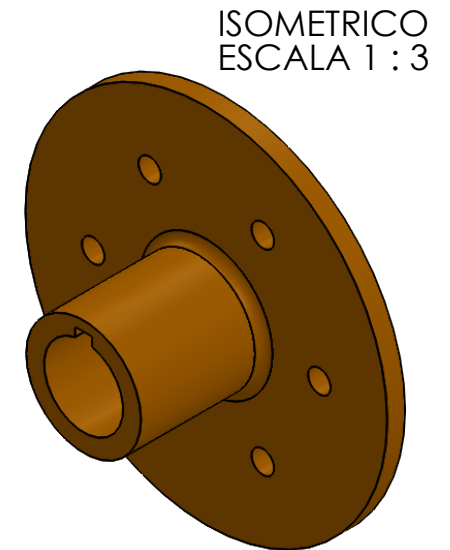
TÍTULO: Planos Accesorio Recolector	DIBUJ.	NOMBRE Javier Ríncon	FIRMA	FECHA		 Universidad del Valle	Universidad del Valle
N.º DE DIBUJO 2	ING.	NOMBRE Adolfo León Gómez	FIRMA	Recibido	Entregado		



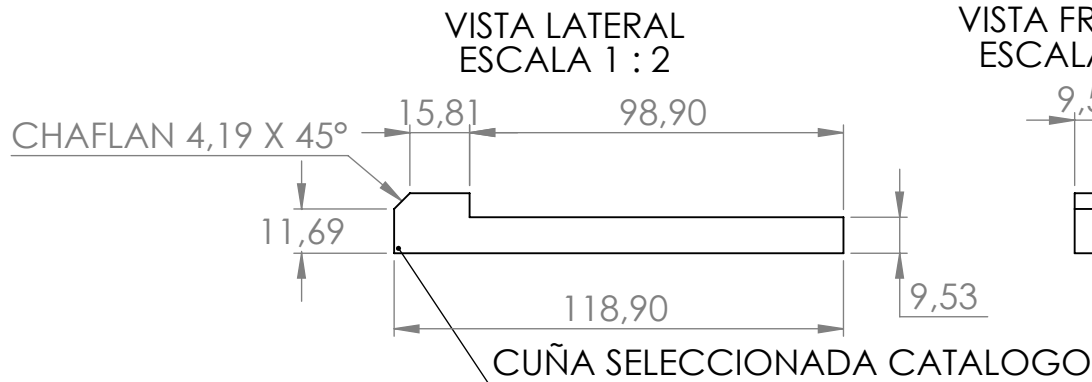
VISTA LATERAL
ESCALA 1 : 3



VISTA FRONTAL
ESCALA 1 : 3

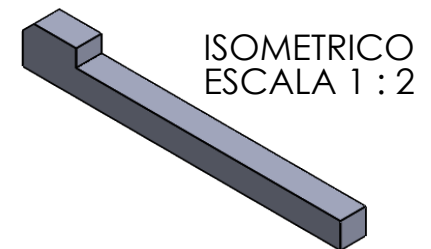
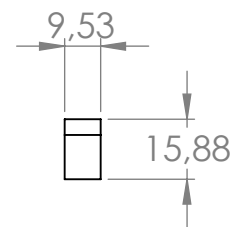


ISOMETRICO
ESCALA 1 : 3



VISTA LATERAL
ESCALA 1 : 2

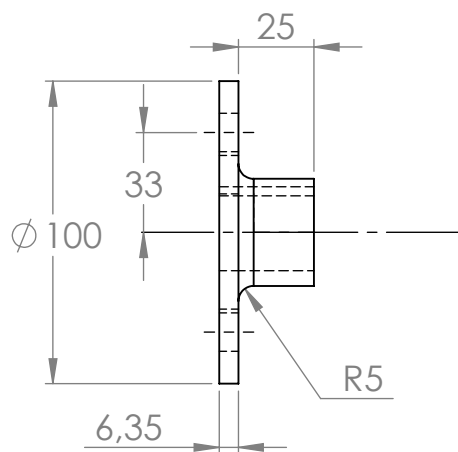
VISTA FRONTAL
ESCALA 1 : 2



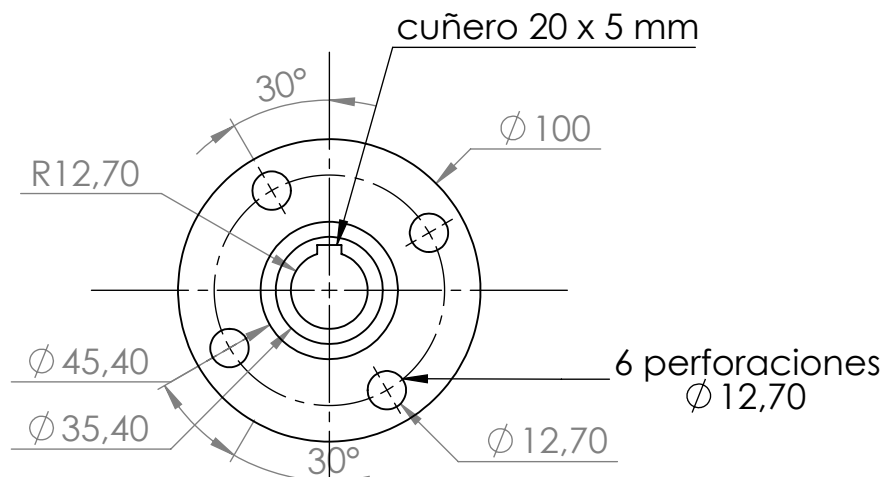
ISOMETRICO
ESCALA 1 : 2

Dimensiones en mm
a menos que se especifique lo contrario

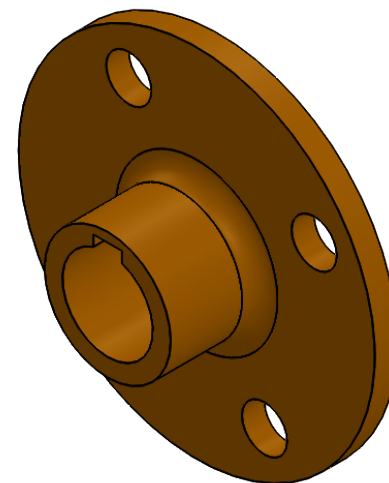
TÍTULO: Planos Accesorio Recolector	DIBUJ.	NOMBRE: Javier Ríncon	FIRMA	FECHA			Universidad del Valle
N.º DE DIBUJO: 3	ING.	NOMBRE: Adolfo León Gómez	FIRMA	Recibido	Entregado		



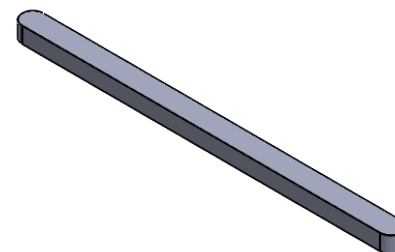
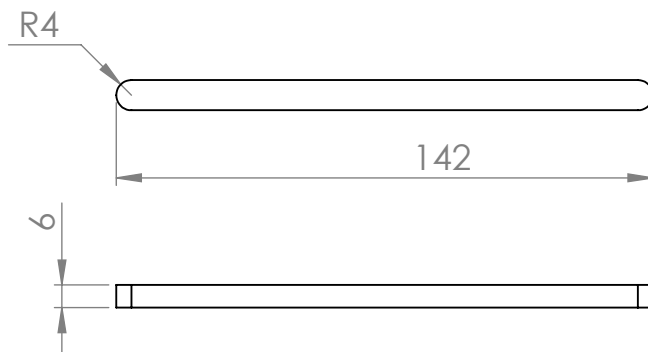
VISTA LATERAL
ESCALA
1 : 2.5



VISTA FRONTAL
ESCALA 1 : 2.5



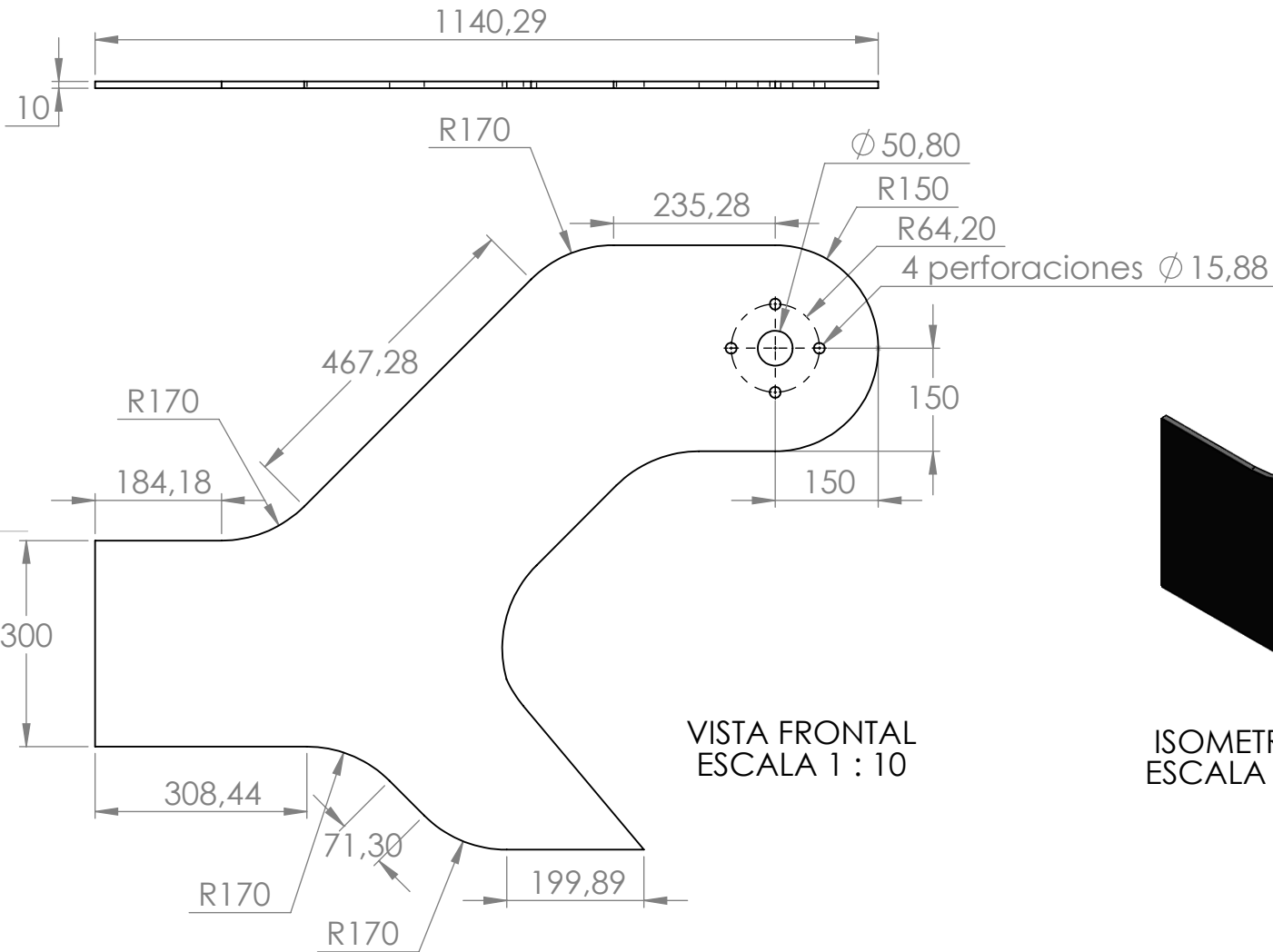
ISOMETRICO
ESCALA 1 : 1.5



Dimensiones en mm
a menos que se especifique lo contrario

TÍTULO: Planos Accesorio Recolector	DIBUJ.	NOMBRE Javier Ríncon	FIRMA	FECHA		 Universidad del Valle	Universidad del Valle
N.º DE DIBUJO 4	ING.	NOMBRE Adolfo León Gómez	FIRMA	Recibido	Entregado		

VISTA SUPERIOR
ESCALA 1 : 10

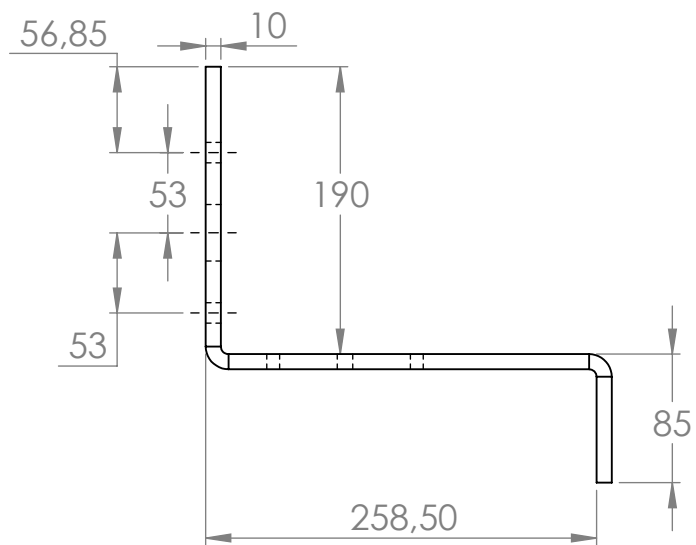


VISTA FRONTAL
ESCALA 1 : 10

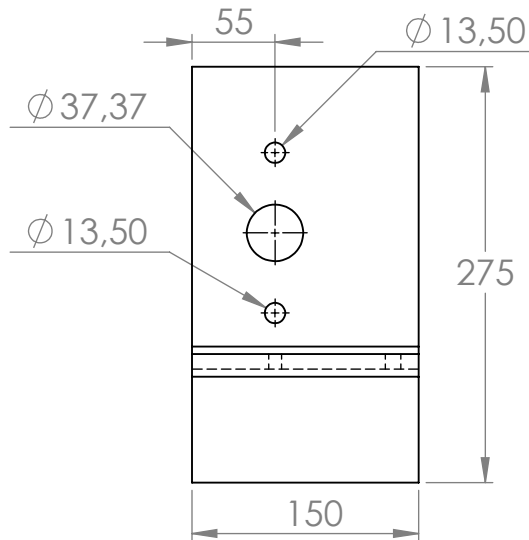
ISOMETRICO
ESCALA 1 : 10

Dimensiones en mm
a menos que se especifique lo contrario

TÍTULO:	Planos Accesorio Recolector	DIBUJ.	NOMBRE Javier Ríncon	FIRMA	FECHA		 Universidad del Valle	Dimensiones en mm a menos que se especifique lo contrario
					Recibido	Entregado		
N.º DE DIBUJO	5	ING.	Adolfo León Gómez	FIRMA				



VISTA LATERAL
ESCALA 1 : 5



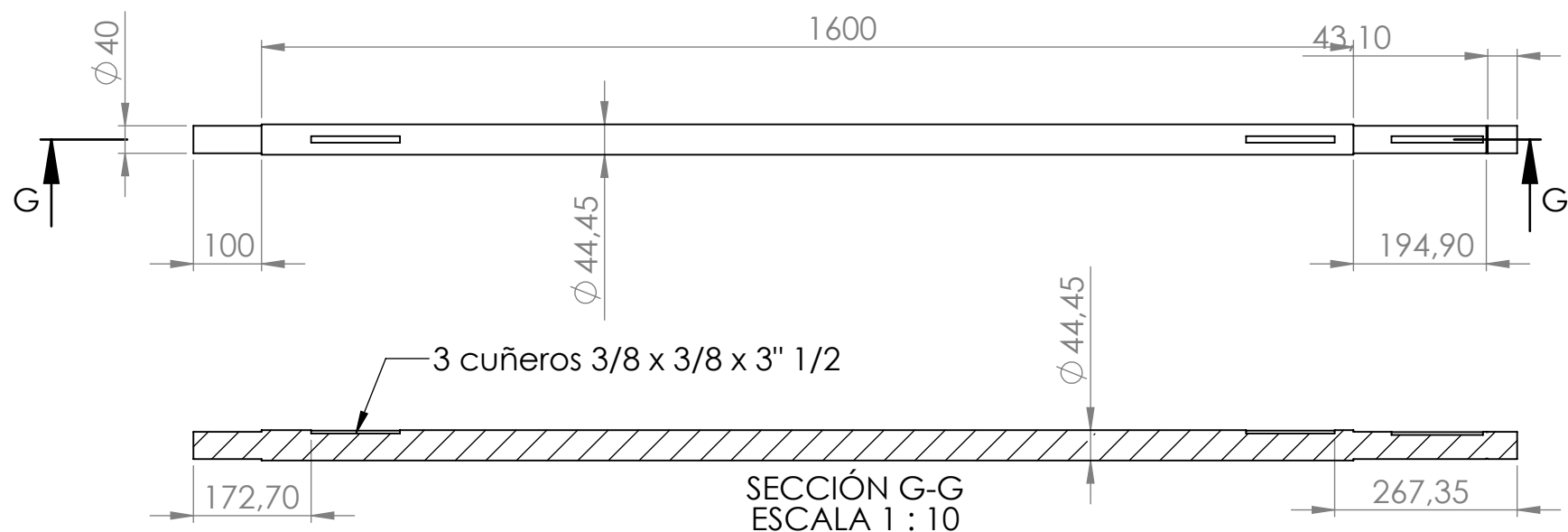
VISTA FRONTAL
ESCALA 1 : 5



ISOMETRICO
ESCALA 1 : 5

Dimensiones en mm
a menos que se especifique lo contrario

TÍTULO:	Planos Accesorio Recolector	DIBUJ.	NOMBRE Javier Ríncon	FIRMA	FECHA			Universidad del Valle	HOJA 8 DE 11
					Recibido	Entregado			
N.º DE DIBUJO	6	ING.	Adolfo León Gómez	FIRMA					



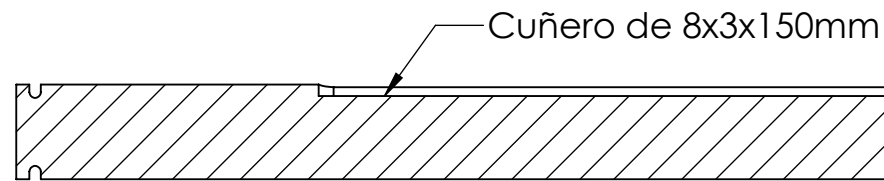
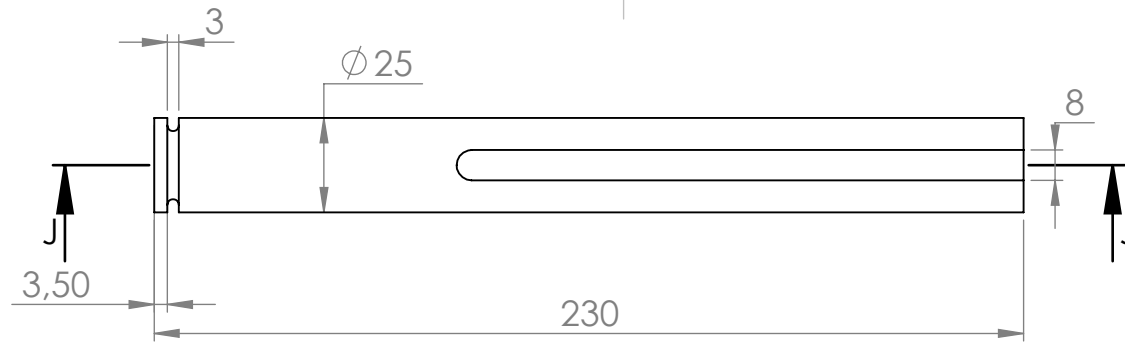
ISOMETRICO
ESCALA 1 : 13

Dimensiones en mm
a menos que se especifique lo contrario

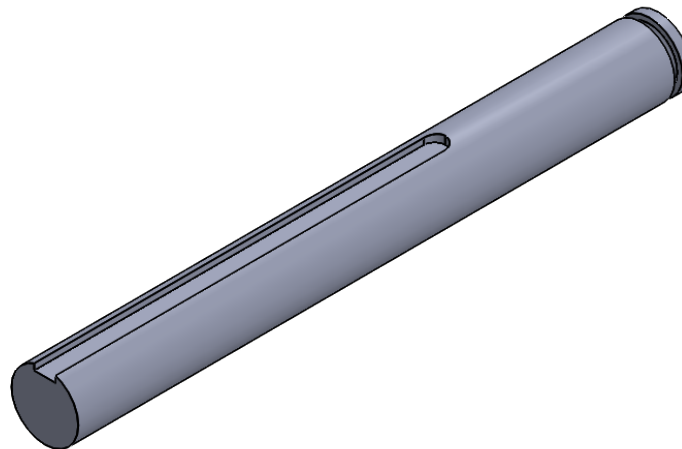
TÍTULO:	Plano Accesorio Recolector	DIBUJ.	NOMBRE Javier Ríncon	FIRMA	FECHA	
					Recibido	Entregado
N.º DE DIBUJO	7	ING.	Adolfo León Gómez	FIRMA		



Universidad del
Valle



SECCIÓN J-J
ESCALA 1 : 2

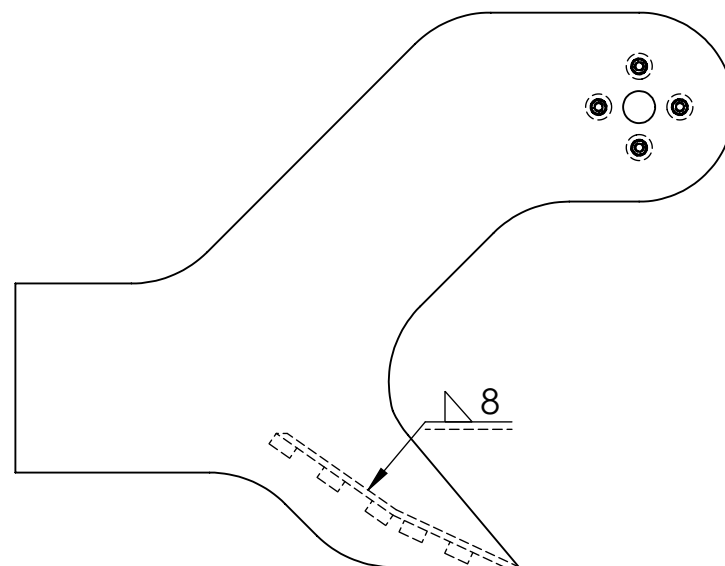
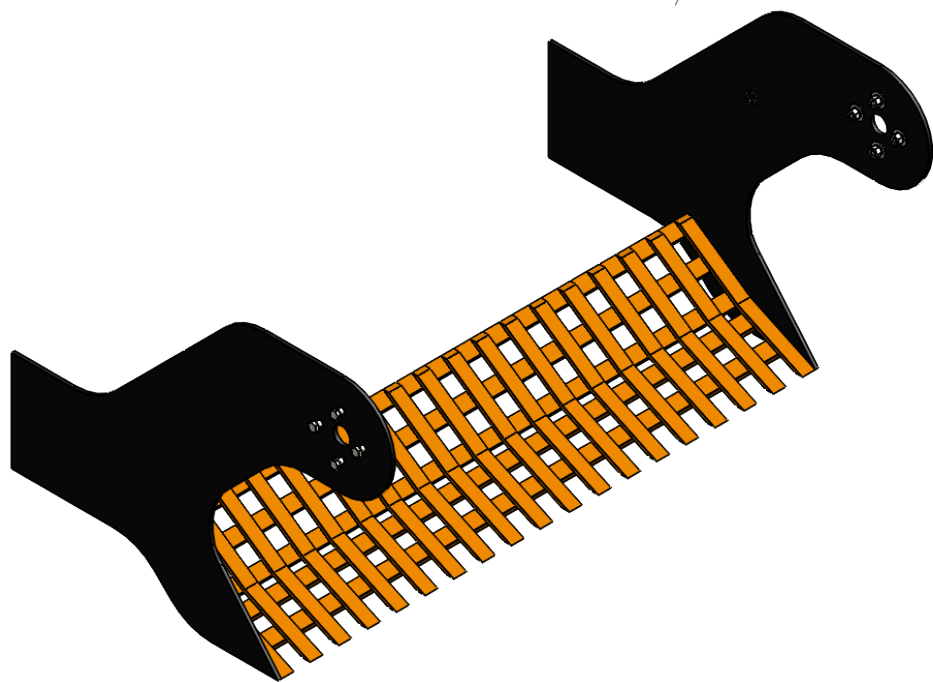
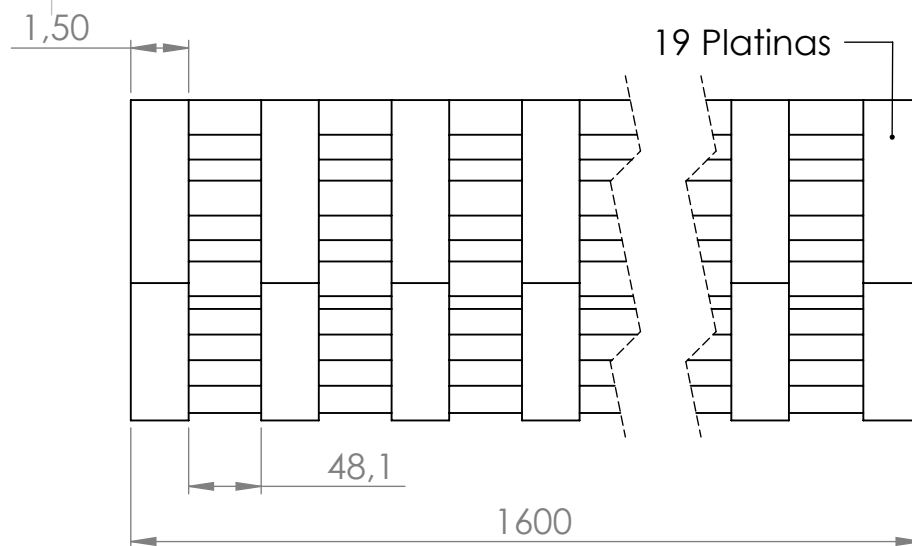
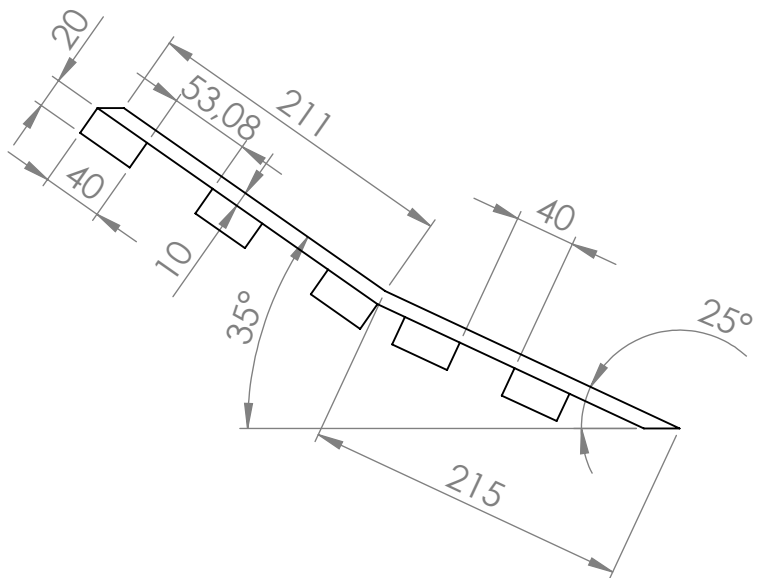


Dimensiones en mm
a menos que se especifique lo contrario

TÍTULO:	Planos Accesorio Recolector	DIBUJ.	NOMBRE Javier Ríncon	FIRMA	FECHA	
					Recibido	Entregado
N.º DE DIBUJO	(8)	ING.	NOMBRE Adolfo León Gómez	FIRMA		



Universidad del
Valle



Dimensiones en mm
a menos que se especifique lo contrario

TÍTULO:	Planos Accesorio Recolector	DIBUJ.	NOMBRE Javier Ríncon	FIRMA	FECHA			Universidad del Valle
					Recibido	Entregado		
N.º DE DIBUJO	9	ING.	Adolfo León Gómez	FIRMA				

1

2

3

4

5

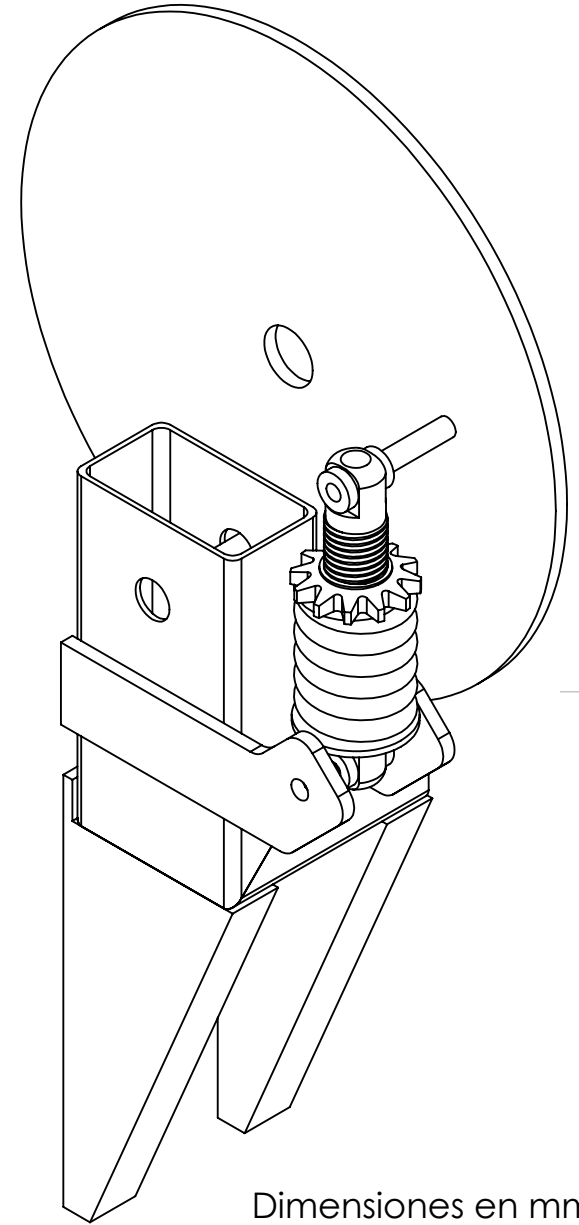
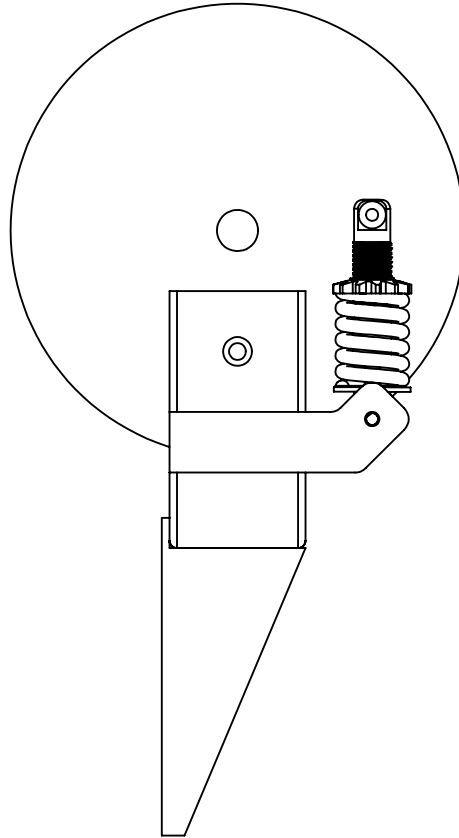
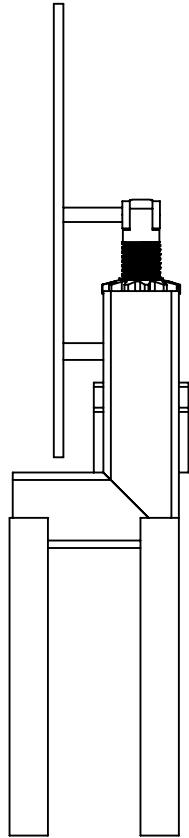
6

A

B

C

D



A

B

C

D

Dimensiones en mm
a menos que se especifique lo contrario

TÍTULO:	Prototipo	DIBUJ.	NOMBRE Javier Ríncon	FIRMA	FECHA	
					Recibido	Entregado
N.º DE DIBUJO	1	ING.	NOMBRE Adolfo León Gómez	FIRMA		



Universidad del
Valle

HOJA 1 DE 5

1

2

3

4

5

6

A

A

 $\frac{1}{4}$ " $\phi 300$

B

B

89,10

 $\phi 27,20$

10,36

 $\phi \frac{3}{8}$ "

80

 $\phi \frac{7}{16}$ "

C

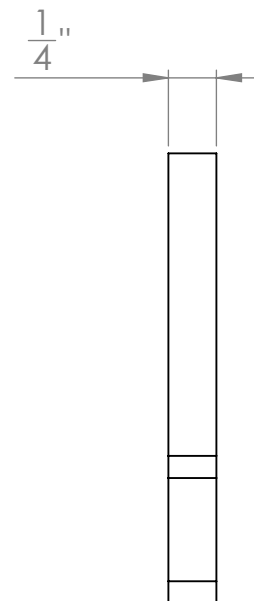
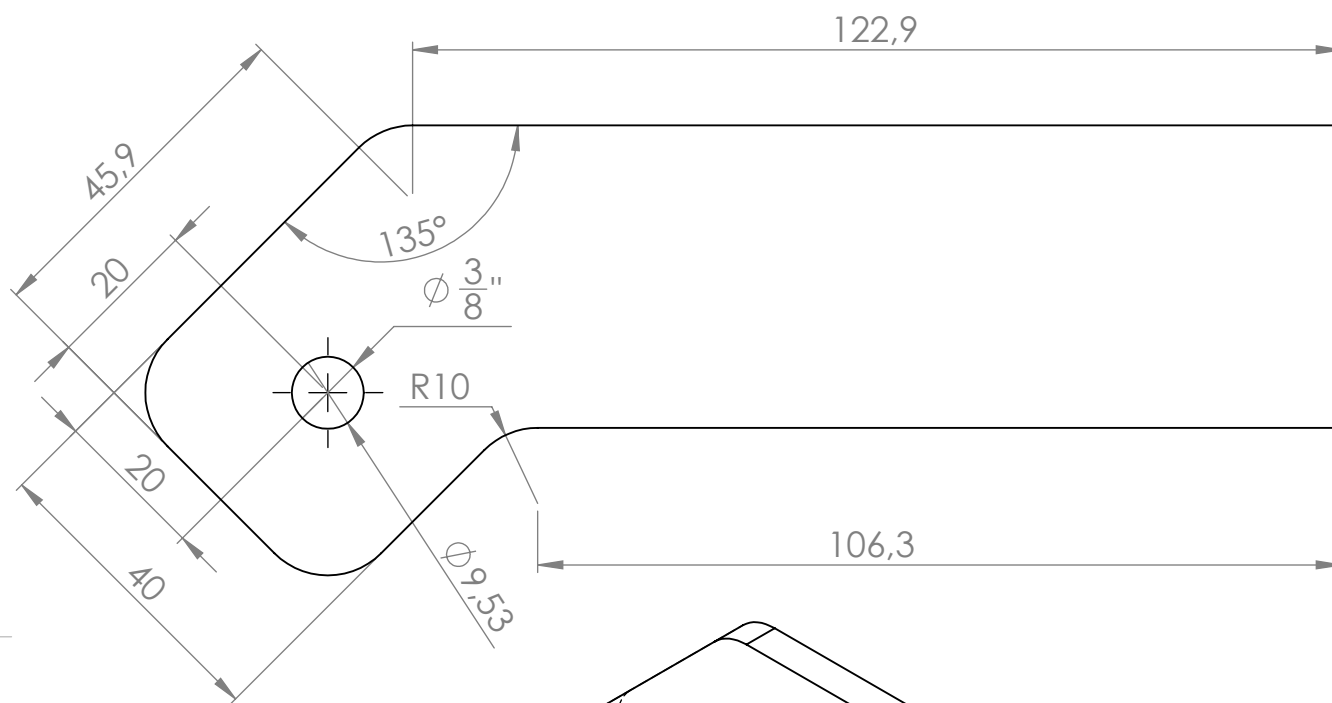
C

D

D

TÍTULO: Prototipo: Disco		NOMBRE: Javier Ríncon		FIRMA:		FECHA:		 Universidad del Valle			
N.º DE DIBUJO: 2		ING. Adolfo León Gómez		FIRMA:		<table border="1"> <tr> <td>Recibido</td> <td>Entregado</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>			Recibido	Entregado	
Recibido	Entregado										

Dimensiones en mm
a menos que se especifique lo contrario



Dimensiones en mm
a menos que se especifique lo contrario

TÍTULO: Prototipo: Direccionador
de Carga

N.º DE DIBUJO
3

DIBUJ.

ING.

NOMBRE
Javier Ríncon

NOMBRE
Adolfo León Gómez

FIRMA

FIRMA

FECHA

Recibido

Entregado



Universidad del
Valle

1

2

3

4

5

6

A

A

B

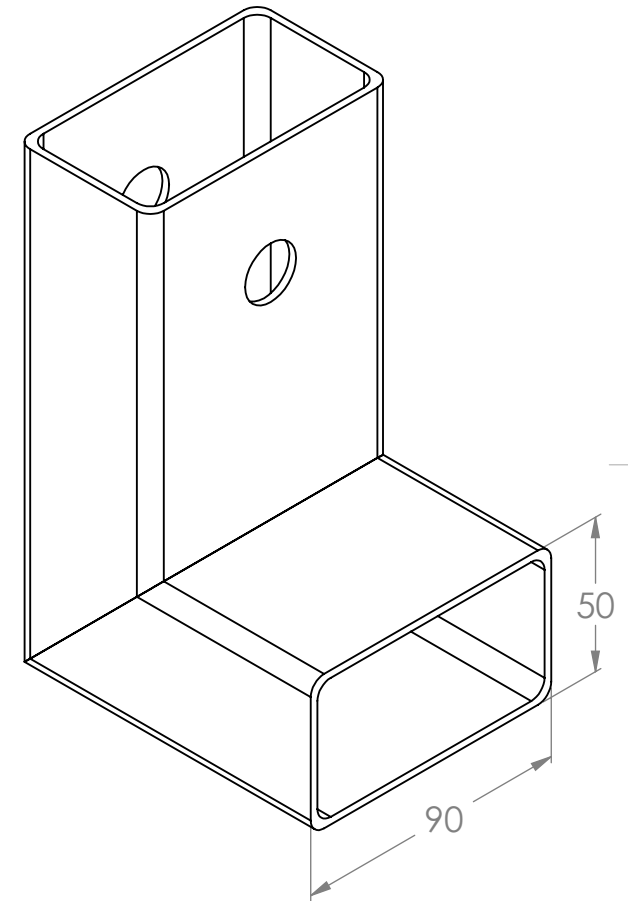
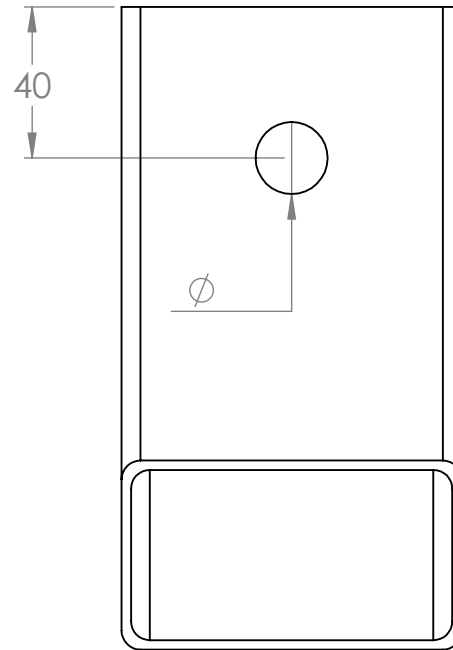
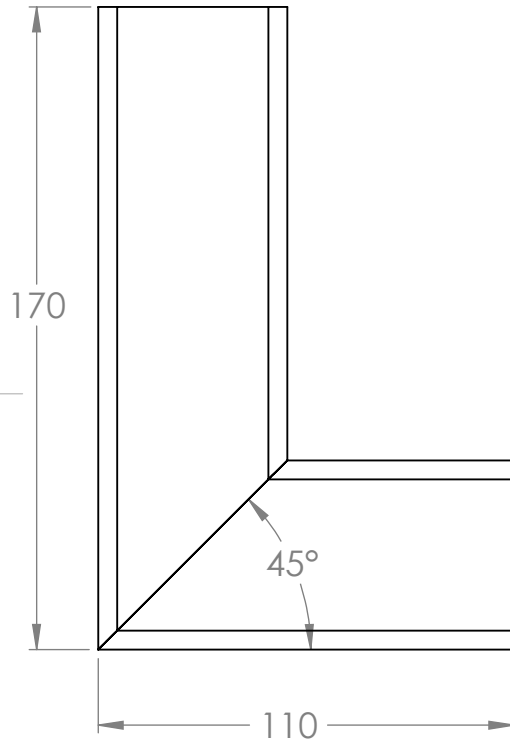
B

C

C

D

D



Dimensiones en mm
a menos que se especifique lo contrario

TÍTULO: Prototipo: Brazo Recolector	DIBUJ.	NOMBRE Javier Ríncon	FIRMA	FECHA		 Universidad del Valle	Universidad del Valle HOJA 4 DE 5
N.º DE DIBUJO 4	ING.	NOMBRE Adolfo León Gómez	FIRMA	Recibido	Entregado		

1

2

3

4

5

6

A

B

C

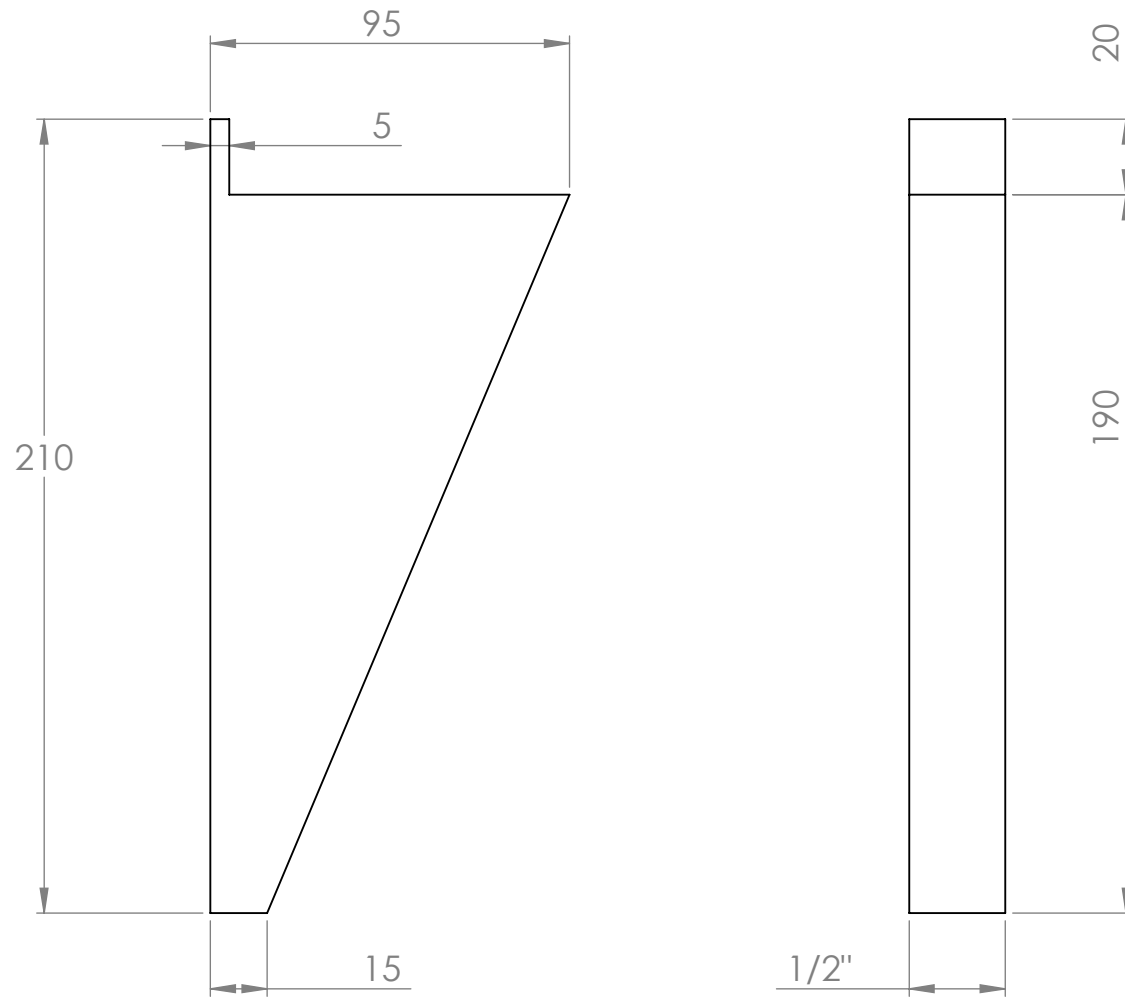
D

A

B

C

D



Dimensiones en mm
a menos que se especifique lo contrario

TÍTULO:	Prototipo: Diente	DIBUJ.	NOMBRE Javier Ríncon	FIRMA	FECHA	
N.º DE DIBUJO	5	ING.	NOMBRE Adolfo León Gómez	FIRMA	Recibido	Entregado



Universidad del
Valle

HOJAS DE 5