



Estudio de automatización para la cosecha, recolección y limpieza de papa consumo en Argentina

Quiroz Vera, Abner Daniel

Ricardi, Martín Nicolás

Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Escuela de Ingeniería Mecánica
Rosario, Argentina
2023

Estudio de automatización para la cosecha, recolección y limpieza de papa consumo en Argentina

Quiroz Vera, Abner Daniel

Ricardi, Martín Nicolás

Proyecto Final de Ingeniería Mecánica presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero/a Mecánico/a

Director/a:

Ing. Pedro Sismondi

Ing. Guillermo Rodríguez

Ing. Juan Sismondi

Universidad Nacional de Rosario

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura

Escuela de Ingeniería Mecánica

Rosario, Argentina

2023

Agradecimientos

Martín:

A mis padres Nora y Alfredo, por la infinita dedicación y perseverancia en mi formación tanto personal como académica, brindándome su afecto y apoyo incondicional para completar mis estudios. A mi hermana Laura, por su paciencia y confianza en mi persona, alentándome siempre a no bajar los brazos y creer en mí mismo. A mi novia Paula, por estar siempre a mi lado y enseñarme a entregar siempre lo mejor de mí. A mi compañero de proyecto Daniel, por su invaluable amistad y compañerismo, transitando codo a codo esta hermosa carrera. A Leandro y Tomás, por las largas tardes de estudio que hicieron amenas las materias más difíciles. A la Universidad Nacional de Rosario, por dotarnos de los conocimientos y herramientas necesarias para nuestro desarrollo como profesionales de manera pública y gratuita.

Daniel:

Gracias a Dios por todos momentos vividos durante mi etapa como estudiante, a mis padres por su inagotable esfuerzo y apoyo durante la carrera, a mis amigos ya que con su ayuda desinteresada me permitió superar diversos obstáculos y por último y no menos importante, a mis profesores ya que sus pericias y experiencias me permitieron alcanzar el desarrollo final de este proyecto y volverme un profesional de valor.

Resumen

La papa (*Soberanum Tuberosum*) es el tubérculo más consumido en la República Argentina, presentando un comportamiento con tendencia en alza, alcanzando picos cercanos a los 54Kg/año por habitante.

La alta dificultad en el proceso de discretización del material cosechado, sumado al escaso margen de inversión de parte de pequeños y medianos productores, hacen de la recolección manual el método más difundido, presentando el mismo dificultades tales como escasez en el volumen de mano de obra, trastornos musculoesqueléticos en los operarios y una cobertura de trabajo por jornada que se encuentra entre 1 a 2 hectáreas.

En este estudio se propone un equipo automatizado de arrastre por tractor para la recolección, limpieza y separación del material a fin de garantizar la discretización del tubérculo respecto al material de desecho, con capacidad máxima de trece toneladas por hora utilizando un vehículo tractor de 90HP de potencia.

El resultado de este proyecto pone de manifiesto la utilidad del diseño generado debido a que se alcanzaron las condiciones de borde establecidas, necesitando de una potencia nominal 6,6% menor a la propuesta, asegurando un margen de caudal de material que puede oscilar en un 20% y optimizando los tiempos de trabajo respecto a la del tipo manual en un 293,5%. Se mejora sustancialmente la potencialidad de erosión de los suelos al recircular la mayor parte del sustrato al mismo, evitando la reinserción de elementos compactos en la línea de cosecha que afecten a las futuras plantaciones. La necesidad de personal se reduce en un 66,6% y con ello uno de los problemas principales que refieren a la disponibilidad del mismo.

Palabras clave: *Soberanum Tuberosum*, Spunta, Papa, Cosecha, Discretización, Automatización.

Abstract

The potato (*Solanum tuberosum*) is the most consumed tuber in the Argentine Republic, presenting an upward trend, reaching values near to 54Kg/year per inhabitant.

The high difficulty in the discretization process of the material involved, summarizing the low margin of investment by small and medium producers, make manual collection the most widespread method, presenting difficulties such as scarcity in the volume of labor, musculoskeletal disorders and a work coverage per day that is located between 1 to 2 hectares.

This study proposes an automated tractor-pick-up equipment for the collection, cleaning and separation of the material in order to guarantee the discretization of the tube, with a maximum capacity of thirteen tons per hour using a 90HP power tractor vehicle.

The result of this project demonstrates the usefulness of the design due to the stable edge conditions were met, requiring a nominal power of 6.6% less than the proposal, ensuring a margin in material flow that can fluctuate by 20% and optimizing work times by 293.5% compared to the manual type. Soil erosion potential is substantially improved by recirculating most of the growing medium into the ground, avoiding the re-insertion of compact elements into the labor lines that affect future plantings. Personal need is reduced by 66.6% and with it one of the main problems related to its availability.

Keywords: *Solanum tuberosum*, Spunta, potato, harvest, discretization, automation.

Contenido

Resumen	v
Abstract.....	vi
Contenido	vii
Introducción.....	11
El cultivo de papa.....	11
Volúmenes de producción argentina.....	11
Conflicto	12
Pérdida de calidad de la materia prima	12
Mano de obra requerida.....	12
Seguridad e higiene en el trabajo	12
Variación de rentabilidad del producto	12
Problema.....	13
Zonas de cosecha.....	13
Variabilidad de las dimensiones de la materia.....	13
Similitud física de los terrones	14
Potencia disponible.....	14
Efecto Útil Deseado	14
Capítulo 1: Investigación del estado del arte.....	15
Dispositivos extractores de papa	15
Arado de disco.....	15
Dispositivos semi-mecánicos.....	16
Cosechadoras recolectoras	16
Cosechadoras automatizadas	18
Métodos de limpieza y separación.....	19
Limpieza mecánica.....	19
Separación de piedras y terrones	20
Separación de follaje:	21
Resumen del estado del arte	22
Descripción del aporte	23

Objetivos	23
Capítulo 2: Propuestas de solución.....	24
Consideraciones iniciales	24
Propiedades específicas de los elementos involucrados	24
▪ Densidad del cultivo en estudio	24
▪ Densidad de los terrones:	24
Densidad de cosecha y caudal de material en la máquina	25
Cantidad de elementos a separación	28
Secuencia de acción sobre el flujo de material	28
Espectro de conceptos solución	30
Propuestas de solución	31
Propuestas para desbroce:.....	31
Propuestas para limpieza	35
Disposición de los órganos del equipo	40
Cálculos de potencia parciales.....	42
▪ Cabezal de cosecha	42
▪ Cribado	42
▪ Separación de follaje.....	43
▪ Limpieza	43
▪ Transporte	43
▪ Peso propio del equipo	47
Tabla resumen de potencias parcial	49
Propuestas para método de separación	50
Separación mecánica mediante cepillo de cerdas	50
Separación de tipo neumática	57
▪ Potencia mínima de los sopladores:	60
Mejora en la propuesta de separación aérea	62
▪ Verificación de caudal de aire necesario.....	63
▪ Clasificación del material.....	64
▪ Verificación del caudal de material.....	68
Diseño del soplador y verificación.....	69
Simulación del fenómeno	70

Análisis de flujo.....	70
▪ Condiciones de borde	70
▪ Diseño de los deflectores:	72
▪ Toma de datos.....	74
Obtención de las fuerzas y presiones involucradas	74
Valores finales de fuerzas y caudales de aire necesarios	78
Separador 1:.....	79
▪ Grupo de separación B ($M' - Mg$; $1 \text{ m}^3/\text{s}$)	79
▪ Grupo de separación A ($Mg - Gg$; $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$)	80
Separador 2:.....	81
▪ <i>Grupo de separación D</i> ($Cch - Cg$; $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$).....	81
▪ <i>Grupo de separación C</i> ($Cg - M'$; $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$).....	82
Verificación mediante análisis de movimiento	82
Colocación de las rampas de caída.....	87
Conclusión del método	88
▪ Potencia final necesaria para la separación:	89
Tabla resumen de potencia global.....	90
Capítulo 3: Ingeniería de detalle.....	91
Resumen de selecciones	91
Consideraciones iniciales	92
Sistema de clasificación por tamaños.....	92
Tamiz de clasificación.....	93
Bandejas de clasificación	93
▪ Diseño de compuertas para alternancia del flujo de material	94
Órgano de separación	96
Cuerpo del soplador:	96
▪ Cuerpo inferior.....	96
▪ Cuerpo superior del soplador	98
Cuerpos de separación.....	99
▪ Cuerpo de separación 1:	99
▪ Cuerpo de separación 2:	101
▪ Sistema de gestión de residuos.....	103

Diagrama hidráulico propuesto	106
Posicionamiento final de todos los órganos del equipo	107
Diseño básico de chasis	110
Ensamblaje general definitivo del equipo.....	115
Conclusiones y recomendaciones	119
Conclusiones	119
Recomendaciones	120
Anexo 1	121
Zonas productoras de argentina.....	122
Estacionalidad del producto:	123
Costo por bolsa:	124
Bibliografía	121

Introducción

El cultivo de papa

La papa (*Solanum Tuberosum*) es una especie vegetal de hortalizas con origen en el altiplano sur del Perú. Es el tubérculo más consumido en el mundo y se encuentra entre los diez principales cultivos de la humanidad y por lo tanto no está exenta de ser también la especie vegetal de mayor volumen de consumo en la República Argentina.

Según afirman Capezio S.; Constantino S. (2020), el consumo promedio de este tubérculo por persona ha aumentado un 18% en las últimas mediciones realizadas en 2021, llegando a un pico máximo de 52 kg/año p/habitante.

Según informa el relevamiento del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la República Argentina (2021) la variedad más consumida es llamada Spunta de origen holandés, abarcando un 90% del total, debido a sus altos rendimientos y cualidades comerciales.

Volúmenes de producción argentina

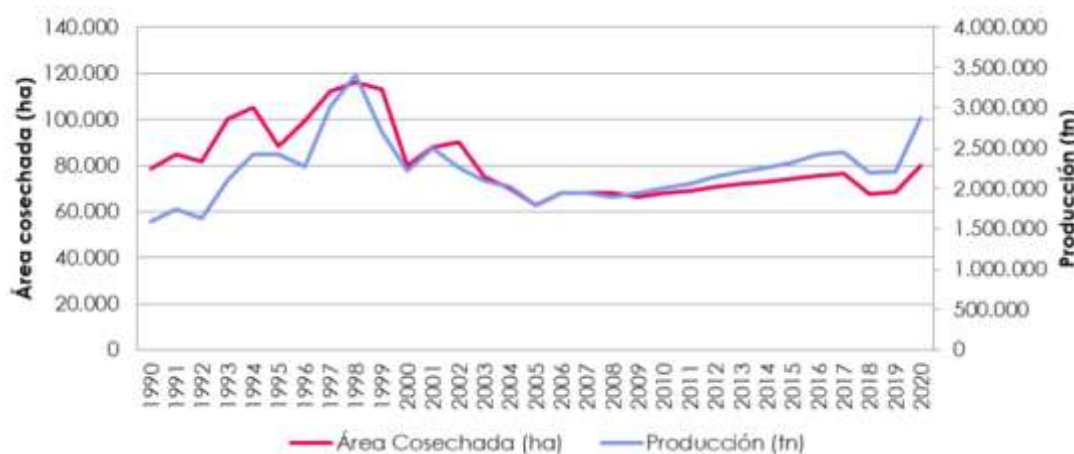


Figura 1: volúmenes de producción de papa en argentina. Fuente: Informe Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Mayo 2021.

Desde el año 2005 al 2020, la producción de papa¹ a nivel nacional ha evidenciado un aumento lento pero progresivo, alcanzando en el año 2020 un valor cercano a los 3 millones de toneladas y con menor área cosechada debido al uso de semillas de mejor calidad.

¹ En el anexo 1 se puede encontrar más información relacionada a las distintas zonas y estadios de producción, así como información general del mercado argentino en la actualidad.

Conflicto

Pérdida de calidad de la materia prima

Durante la cosecha de la papa, la calidad del producto se ve afectada por daños físicos, como cortaduras, pérdida de la piel y magulladuras. Además, se observa una variabilidad alta del contenido de tierra adherida en la misma, lo cual afecta a su capacidad de venta.

Mano de obra requerida

El método de cosecha de este tubérculo más difundido en nuestro país se realiza mediante el desenterramiento por hileradora o extractor mecánico y recolección manual. Huarte M.; Capezio S. (2013) afirman:

El promedio por hectárea ronda los 12 hombres y en un cultivo que rinde aproximadamente 1000 bolsas / ha de 30 kg, puede recolectar alrededor de 2 hectáreas por jornada dejándola tapada en montones. Si realizan las labores de cosecha con canastos, embolsada, cosida y cargada a camión esa cantidad de personas puede cosechar una hectárea.

Seguridad e higiene en el trabajo

En este tipo de laboreo las condiciones de trabajo del personal son muy precarias. En el caso de recolección manual, el personal acarrea bolsas de 30kg, entre sus piernas, con posiciones forzadas, realizando esfuerzos que pueden llevar a trastornos musculo esqueléticos, exposición prolongada a la incidencia directa del sol, entre otros factores de riesgo como (Martino, 2018) explica:

La hiperlordosis lumbar sumado a la manipulación de cargas pesadas se convierte en una alteración perjudicial en los recolectores por la asimetría de la descarga de peso sobre el conjunto articular vertebral. La lesión más frecuente fue diagnosticada como Lumbalgia. Dada la afectación de distintos tejidos siendo el cartilaginoso el más afectado entre este diagnóstico. Fue muy frecuente la presencia de hernias discales lo que en ellos limita la actividad laboral inmediatamente después del comienzo de los síntomas.

Variación de rentabilidad del producto

Los productores que venden a las industrias de papas, pueden ser multados o premiados según el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (2021) quien afirma:

La producción de papa que se destina a la industria se comercializa por contratos, asegurándose un aprovisionamiento regular, previsible y estandarizado de la calidad. Por el lado de los productores se aseguran el lugar de colocación, precio conocido y mayor certeza de cobro. La industria realiza el pago del precio pactado en las mejores condiciones para ser procesada, pero no realiza el pago por bolsas, tierra, defectos, enfermedades o papas pequeñas (menores de 50 mm), además bonifica o castiga por el contenido de materia seca y la calidad de fritura según el procesamiento que haga la industria.

Problema

La cosecha de este tubérculo presenta dificultades de diversas índoles que han de tenerse en cuenta en este estudio.

Zonas de cosecha

Debido a la variabilidad de suelos en los que este cultivo se presenta en el país, se generan variabilidades físicas en el producto y en el proceso de recolección y limpieza. Zonas cuyo suelo es más arenoso, como el caso de Córdoba y Mendoza, presentan cultivos con piel lisa y limpia, conocida comercialmente como papa “blanca” la cual es fácilmente extraíble y desterrada de suciedad. En cambio, en la zona Sureste de Buenos Aires, el suelo se presenta con mayor contenido de arcilla, lo que se evidencia en un producto con una piel más áspera y con contenido de sedimentos adheridos conocida comercialmente como papa “negra” la cual presenta mayores dificultades para su limpieza y separación de forma automatizada.

Variabilidad de las dimensiones de la materia

Debido a la variabilidad genética inherente de la especie y diversos factores durante el desarrollo y crecimiento de la misma asociado a la cantidad de nutrientes en el suelo, humedad, temperatura, plagas y estadía de cosecha, se ve afectado el tamaño final del producto. Esto hace que se dificulte el proceso de limpieza y selección automática, favoreciendo el uso de mano de obra humana para tal fin.

La variabilidad de tamaños explicada con anterioridad se puede apreciar en la Tabla 1, la cual se basa en la clasificación adoptada por la resolución 641/2004 de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.

Tabla 1: Clasificación de la materia prima según sea su peso. Fuente: resolución 641/2004, SAGyP.

CLASIFICACION	PESO (gramos)
GIGANTE	> 600
GRANDE	£ 600 > 300
MEDIANA	£ 300 >120
CHICA	£ 120 > 70
PAPIN	£ 70

Similitud física de los terrones

El método de extracción de los tubérculos se basa en la remoción del camellón de tierra mediante algún tipo de órgano extractor que actúe por cizalladura sobre el suelo. En zonas cuyas texturas de suelo son franco-limosas, como es el caso del SE de Buenos Aires, variabilidades en el riego y compactación pueden fomentar la generación de terrones de tamaños considerables los cuales puedan asemejarse a un tubérculo, dificultando los procesos de separación mecánica propuestos en la actualidad.

(Carvajal-Rivadeneira et al., 2019) afirman que para suelos franco limosos, propios de la región pampeana, el diámetro máximo de terrones obtenido por una labor de arado, como es el caso del cabezal extractor, rondan los 15,73 cm. Esto significa que la presencia de terrones el par de tubérculos del mismo tamaño se evidencia hasta la clasificación de papas tipo “papa grande” de hasta aproximadamente 500g.

Potencia disponible

Dadas las condiciones de trabajo en la región, donde predomina el método de recolección manual, se genera un limitante en el valor de potencia disponible por el tractor utilizado globalmente por los pequeños y medianos productores. Dicho valor ronda un promedio de 90HP y se obtuvo producto de la discusión con Ingenieros Agrónomos de la Universidad Nacional de Zavalla, quienes se encuentran en proceso de realización de un censo de tractores en la región que finalizaría este mismo año.

Efecto Útil Deseado

Extraer, limpiar y separar la papa a razón de 10 toneladas la hora o superior, para una máquina de simple hilera, utilizando un tractor con un estimado de 90HP de potencia, utilizando una menor intervención de personal en comparación a los métodos tradicionales de cosecha en Argentina.

Capítulo 1: Investigación del estado del arte

La cosecha de papa, se realiza tres principales formas.

- Uso de maquinaria para extracción de la papa y su posterior recolección y clasificación manual del producto.
- Dispositivos semi-mecánicos, en los cuales la extracción y limpieza es automática pero la clasificación se realiza con mano de obra humana.
- Dispositivos totalmente automatizados de gran porte.

Dispositivos extractores de papa

Arado de disco



Figura 1-1: extractora de papa de disco simple hilera.

Dispositivo de simple hilera que consta de un disco solidario a la toma de fuerza del tractor, el cual invierte el pan de tierra dejando el tubérculo en la superficie para su posterior recolección manual, similar a un arado de disco simple. Es uno de los tipos de extractores más antiguos y menos eficientes. Es imprescindible la mano de obra humana para clasificar los elementos que, en para el caso de suelos con mayor contenido de arcilla, poseerán grandes porciones de tierra adherida.

Existen versiones mejoradas del sistema las cuales aún se siguen comercializando en la actualidad. Disponen de un sistema de zafe de retorno automático e instantáneo evitando detenciones y roturas innecesarias. El sistema de zafe es accionado mediante 4 muelles dimensionados al efecto, los cuales ejercen una presión sobre la leva que permite que el buje realice su recorrido hasta lograr superar el obstáculo, con retorno automático a la posición de trabajo. El accionamiento del disco se logra a través de correas, cuyo movimiento es generado desde la toma de fuerza del tractor.



Figura 1-2: arrancadora de papas por disco. Esta versión mejorada cuenta con un sistema de zafe mediante muelles, que evita atascamientos. Fuente: Escañuela maquinaria

Dispositivos semi-mecánicos

Este tipo de modelos disponen de una reja y dos discos laterales que limitan el ancho de trabajo. Se remueve el pan de tierra longitudinalmente en dirección al avance y una cinta vibradora traslada la papa, terrones y follaje hacia la cola del dispositivo mientras se remueve el exceso de tierra. Posteriormente se deposita el producto en la superficie formando una hilera que deberá ser recolectada manualmente. Vale destacar que las versiones en venta se diferencian en la forma de agarre al tractor, el cual puede realizarse mediante el enganche de tres puntos o solo a la barra de tiro. En cualquier caso, el accionamiento de los mecanismos se realiza mediante la toma de fuerza del tractor.



Figura1-3: Hileradora de papas de dos líneas modelo H290. Fuente: Escañuela maquinaria.

Cosechadoras recolectoras

Las cosechadoras de arrastre por tractor, cuentan generalmente con cabezal de uno o dos surcos hasta 0,90cm entre líneas. Tratan el material con cintas de cribado en una primera instancia para luego realizar el desbroce del material y luego limpiar el mismo, lo cual generalmente se realiza mediante un sistema de cintas de dedos y rodillos. Luego, se transporta el material hacia una o más mesas de inspección visual, donde operadores quitan los terrones y piedras, sumados a follaje que pueda quedar atrapado.



Figura 1-4: cosechadora recolectora marca Balthom de una hilera. Es traccionada por la barra de tiro y accionada por la toma de fuerza del tractor. Posee una mesa de inspección y embolsado, sumado a una plataforma hidráulica de descarga.



Figura 1-5: Cosechadora de arrastre modelo CR290 de la marca Escañuela. Posee dos líneas de cosecha, dirección hidráulica y mesa de clasificación. Almacena el material en bolsones de un metro cúbico.



Figura 1-6: cosechadora recolectora Escañuela modelo PRO 2900. Cuenta con una configuración mas compacta que la CR290 pero con los mismos órganos. Se diferencia en su tolva trasera de almacenamiento.

Cosechadoras automatizadas

Este tipo de cosechadora es de gran porte, manejan mínimamente dos hileras, y poseen la opción de clasificación manual. Posee mejoras en los separadores de material, logrando así separar las piedras y el follaje de la papa. Tiene una capacidad de almacenamiento de hasta 9 toneladas y están diseñadas para los grandes productores.



Figura 1-7: Cosechadora remolcada GRIMME EVO290.

El caso más complejo es de los dispositivos autopropulsados, siendo los de mayor tamaño del mercado, pudiendo alcanzar hasta 15 toneladas de almacenamiento. Este tipo de equipos se destina a los grandes productores los cuales, generalmente destinan su cosecha a la venta para las empresas de alimentos. Tienen la capacidad de trabajar hasta 4 hileras y cuentan con potentes motores de alrededor de 500HP.



Figura 1-8: Cosechadora autopropulsada GRIMME VENTOR 4150

Métodos de limpieza y separación

Limpieza mecánica

- **Vibración (cribado):** La mayoría de estos dispositivos cuentan con un engranaje excéntrico o una pieza de tres o cuatro lóbulos cuya función es provocar un sacudimiento de la cinta transportadora a fin de remover los terrones (grandes) de tierra de la papa los cuales se filtran por los intersticios de la cinta.
Se suele implementar una segunda etapa utilizando otro método para garantizar la limpieza.



Figura 1-9: dispositivo de vibración de cinta de cribado. Este tipo de dispositivos cuentan con un rodillo lobulado que transmite un movimiento de vaivén vertical a la cinta, removiéndola y quitando las grandes porciones de tierra adheridas a las papas y reduciendo los terrones presentes

- **Fricción:** Es habitual utilizar este método como continuación de la limpieza por vibración. En general mediante una serie de rodillos se mantiene al material en un movimiento de roto traslación para eliminar mediante fricción con los mismos la tierra más adherida.



Rolos axiales



Easy-Clean

Figura 1-10: sistema de tren de rodillos. Los mismos rascan la superficie de las papas a la vez que ruedan sobre ellas y se trasladan.

Separación de piedras y terrones

- **Manual:** Es el método más adoptado a nivel país, ya que se eliminan las pérdidas por daño mecánico durante la separación y la misma es altamente efectiva ya que se utiliza la resolución del ojo humano.



Figura 1-11: Recolección manual de papas realizando a su vez la separación y omisión de los terrones.

- **Neumática:** Se utiliza un ventilador para generar un flujo de aire a contracorriente que mantiene en flotación al material cosechado, filtrando los restos de mayor densidad. Este tipo de equipos es generalmente utilizado en países europeos donde el horizonte del suelo es escaso y se tiene un suelo arenoso con gran cantidad de piedras.

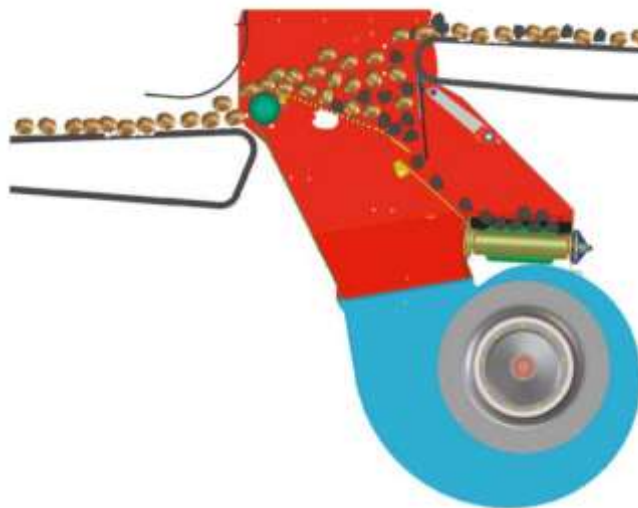


Figura 1-12: Separador aéreo de material. Este sistema utilizado por la firma Grimme en sus máquinas utiliza la diferencia de densidades de los elementos, generalmente piedras y papas) para realizar la separación.

Separación de follaje:

En general, todos los tipos de equipos llevan a cabo la separación del follaje mediante la remoción mecánica del mismo, haciendo pasar el flujo de material por un cambio abrupto de dirección, donde una cinta especial atrapa estos elementos retirándolos del flujo principal. Dicha cinta puede tomar diversas formas, desde una cinta de cadenas o dedos hasta una cinta lisa. Dependiendo del espacio disponible y la disposición de los órganos de la maquina se elige una o otra opción, todas basándose en la diferencia geométrica entre el follaje y el resto del material para evitar que el mismo continúe su camino junto a los demás elementos.

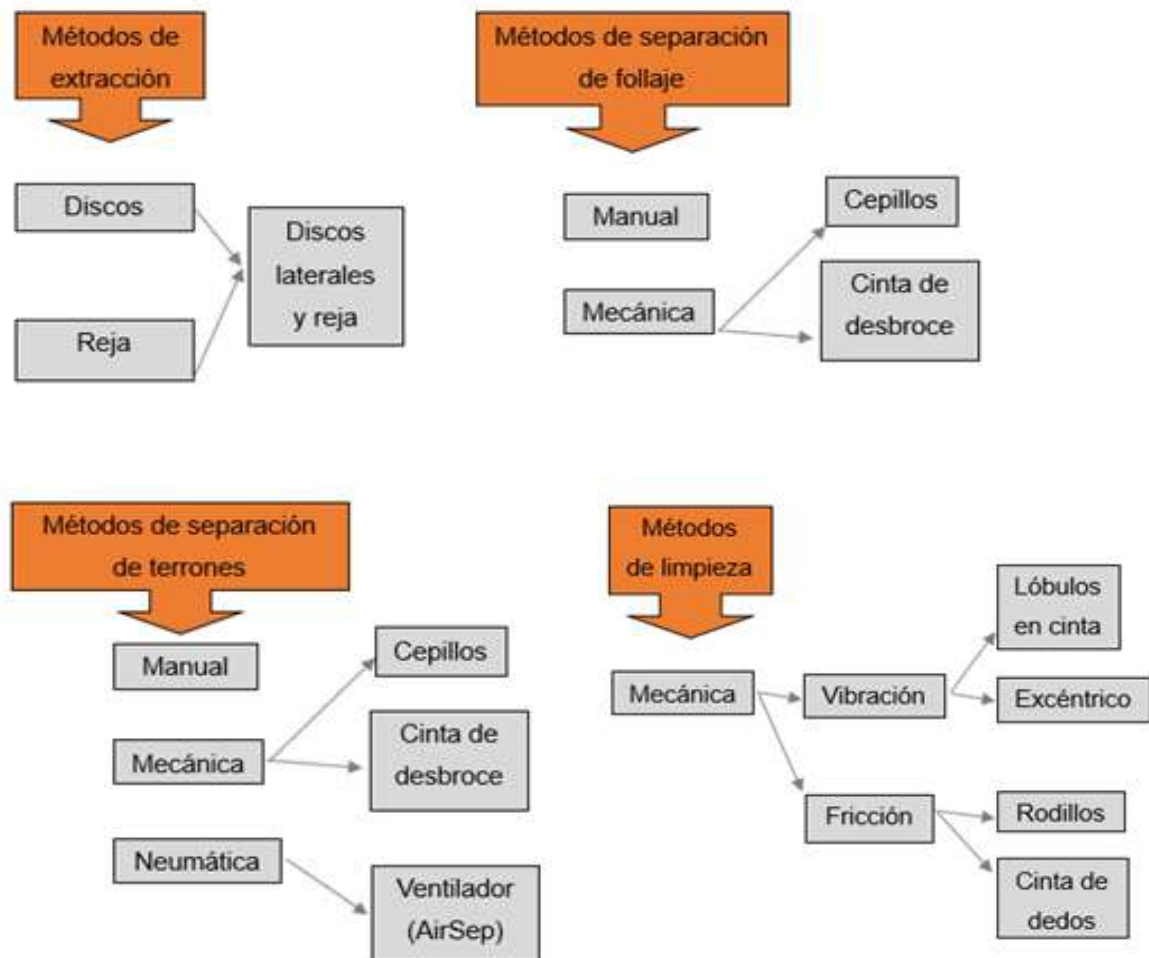


*Figura 1-13: Métodos de separación del follaje. Arriba, cinta de cadenas.
Abajo, cinta de dedos.*

Cabe destacar como segunda opción la separación manual, cuando se utilice ese mismo método de recolección.

Resumen del estado del arte

En el siguiente cuadro sinóptico podemos apreciar un resumen de los métodos de cosecha, desbroce, limpieza y separación de terrones recopilado en el apartado anterior



Descripción del aporte

Según lo observado en el estado del arte, la gran cantidad de pequeños y medianos productores utilizan el método de recolección manual. Las máquinas totalmente automatizadas no responden correctamente a las condiciones de nuestro país debido a una diferencia sustancial en la densidad de los componentes involucrados en la separación, debido a que estos sistemas se destinan principalmente a la separación de piedras. Aquellas de origen nacional, no aseguran un órgano que genere una separación efectiva y proponen mesas de inspección para saldar este inconveniente con los riesgos que conlleva el traslado de gente de pie sobre maquinaria en movimiento, sumado a las falencias en materia de ergonomía que representa mantener a personal de pie sin posibilidad de deambulación y expuesto a factores externos como la incidencia del sol por tiempos prolongados.

Nuestro aporte entonces, se enfoca primordialmente en abordar los siguientes factores:

- Automatizar los métodos de limpieza y selección del producto, enfocándonos principalmente en este último para, en consecuencia, minimizar el uso de mano de obra a la hora de la cosecha
- Aumentar los valores estándares de velocidad de recolección respecto al trabajo manual
- Disminuir el uso de insumos y por ende aumentar la rentabilidad del productor.
- Mejorar la nutrición del suelo reintegrando el follaje homogéneamente al mismo.
- Evitar la reintegración de terrones a fin de minimizar deformaciones en el crecimiento del producto de la próxima temporada.
- Evitar bajo los límites de la norma que el producto final contenga porciones netamente compuestas por tierra en cualquier agregado (terrones o tierra suelta).
- Minimizar los daños mecánicos producto del manipuleo y colisión con terrones en las etapas de separación y limpieza.
- Devolver al terreno la tierra extraída durante el proceso de separación y limpieza a fin de minimizar la degradación del estrato.
- Disminuir el reproceso del producto en una planta de limpieza.

Objetivos

Los objetivos del proyecto, aplicando los aportes que deseamos realizar están comprendidos:

- Investigación y estudio del fenómeno de cosecha, separación y limpieza de la papa consumo.
- Diseño y desarrollo general de una máquina cosechadora de arrastre de una hilera, con separación y limpieza automática del producto.
- Diseño del sistema de separación de terrones y piedras, junto a los planos de definición y montaje del mismo.

Capítulo 2: Propuestas de solución

Consideraciones iniciales

Propiedades específicas de los elementos involucrados

- Densidad del cultivo en estudio

Según afirman (Buitrago et al., 2004) la densidad aparente de las muestras de papa de la variedad Capiro ronda los 1227 Kg/m³. Dicha variante posee una mayor cantidad de materia seca, por lo que su densidad es mayor que la competente a la variante en estudio (Spunta).

Debido a la escasa información técnica existente sobre este tipo de cultivo se realizaron una serie de mediciones de elaboración propia utilizando muestras de papa Spunta y mediante un líquido conocido (en este caso agua) se corroboró esta hipótesis, obteniendo un valor aproximado de densidad que se utilizará como referencia utilizando la ecuación 2.1. Dichos resultados se presentan a continuación:

- Volumen de agua inicial: 1000ml
- Peso de la muestra: 220g
- Volumen final de líquido: 1200ml

$$\delta_{muestra\ Spunta} = \frac{m}{V_f - V_i} \quad (2.1.1)$$

$$\delta_{muestra\ Spunta} = \frac{220g}{(1200 - 1000)cm^3} \cong 1,1 \frac{g}{cm^3}$$

Por lo tanto, se toma este valor como promedio para continuar con los cálculos.

- Densidad de los terrones:

En cuanto a la densidad de los terrones involucrados, la variabilidad de los mismos puede ser amplia. Dado que la zona de mayor cultivo se da en el SE de Buenos Aires optamos por tomar como referencia las densidades de los suelos del tipo Hapludoles presentes en la zona.

Según Afirma INTA en su boletín técnico de Indicadores de calidad Física de suelos (2005) los valores típicos de densidad aparente en profundidades mayores a 15 cm en este tipo de suelos, ronda los 1.45 g/cm³ observado en la figura 2-1.

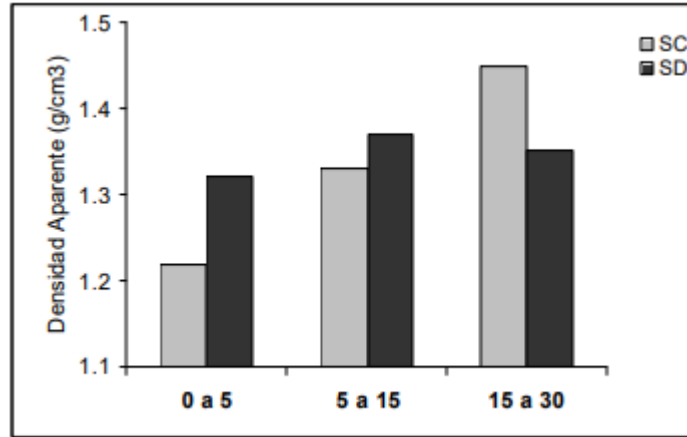


Figura 2-1: Valores de densidad aparente de suelo para laboreo convencional de siembra (SC) y siembra directa (SD) a tres distintas profundidades.

Debido a que el valor de densidad aparente del suelo desprecia el contenido de agua, se considera la misma como un porcentaje de la capacidad del campo la cual ronda el 70%. La capacidad de este tipo de suelos se encuentra en un porcentaje de alrededor de 34%, por lo que los terrones poseerán un 23,8% más de humedad, lo que se traduce en $0,24\text{g/cm}^3$ de agua, sumado a la densidad aparente del sólido.

Por tanto, la densidad de terrones adoptada para el estudio será:

$$\delta_{\text{Terrones}} = 1,45 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} + 0,24 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cong 1,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Densidad de cosecha y caudal de material en la máquina

En primer lugar, una vez establecido el público al cual estaría destinado el proyecto, se debe de calcular el gasto de material que fluye por el mismo. Según lo concluido en el apartado del estado del arte, la velocidad promedio de laboreo para las condiciones de terreno estándar en hileradoras de papa ronda los 5 km/h.

Por otra parte, se propone como valor promedio de rinde unas 35 ton/h para la variedad Spunta, con un ancho de laboreo de 800mm por línea.

Tenemos entonces que, aproximando estos valores a una densidad lineal de cosecha se obtiene:

$$\delta_{\text{cosecha}} = \frac{35000\text{kg}}{1\text{ha}} * \frac{1\text{ha}}{12500\text{m} * 0,8\text{m}} * 0,8\text{m} = 2,8 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$$

Y el caudal entrante por unidad de segundos:

$$Q_{\text{entrante}} = 2,8 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 5 \frac{\text{Km}}{\text{h}} * \frac{1000\text{m}}{1\text{Km}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 3,8 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Para conocer la cantidad de producto efectiva en unidades, que ingresará al equipo es necesario primeramente realizar una separación por tamaños. Para ello se generó una base de datos sencilla, partiendo de la medición de un grupo de papas al azar y tomando como referencias de nomenclatura y peso a las dictadas por el la Resolución 641/2004 de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, las cuales se repiten nuevamente en la tabla 2-2 para mayor comodidad como sigue.

Tabla 2-2: Clasificación del cultivo según su peso propuesto por la Resolución 641/2004 de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos.

CLASIFICACION	PESO (gramos)
GIGANTE	> 600
GRANDE	£ 600 > 300
MEDIANA	£ 300 >120
CHICA	£ 120 > 70
PAPIN	£ 70

Para obtener un volumen físico utilizable para los cálculos a realizar, se propone un modelo de papa de tipo elipsoidal como se muestra en la figura 2-2.

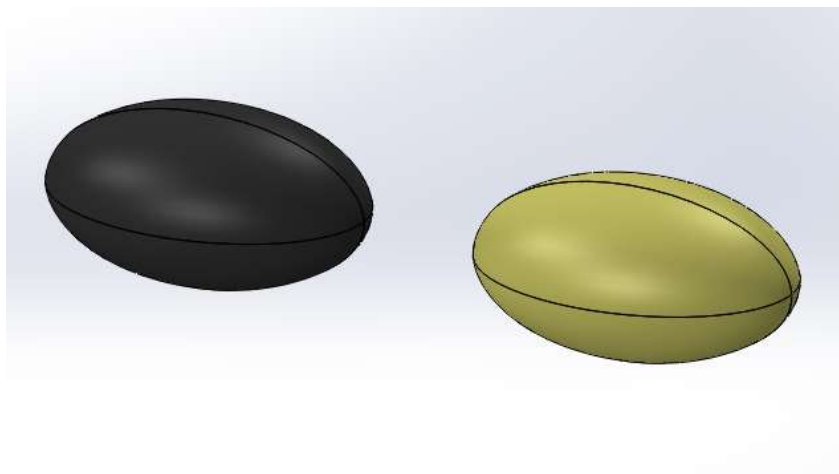


Figura 2-2: Modelo de papa y terrón de tipo elipsoidal. A la izquierda: terrón. A la derecha: modelo de papa para el mismo tamaño.

Mediante esta geometría se obtienen entonces las geometrías dadas para cada rango de peso, basándonos en la clasificación que genera MAGyP como se aprecia en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Tamaños de papa y medidas propuestas siguiendo un modelo elipsoidal y basándose en los rangos propuestos por la secretaría de Ganadería Agricultura y Pesca de la Nación.

Tipo	tamaño	Peso [g]
Ggrande	145x91x72	542
G	132x82,5x66	411
Gchica = Mgrande	116x72x58	277
M	104x65x52	202
Mchica = Cgrande	85x54x42	99,7
C	80x50x40	91,5
Cchica	73x47x37	70,5

Tomando como valor promedio una papa Mediana de 202 g tenemos entonces:

$$C = 3,8 \frac{kg}{s} * 1 \frac{papa}{0,202 kg} \approx 17 \frac{papas}{s}$$

Siendo: *C: cantidad de papas medianas que recorren el equipo*

Tanto explicado en la bibliografía de Ortiz Cañavate (2003), como lo investigado mediante averiguaciones propias con personal que trabaja con este tipo de cultivos, la relación típica aproximada entre terrones y papas ronda los 2:1, es decir, por cada dos terrones recogidos, se recoge una papa. Es por eso que para el caudal entrante de material a separar (denominado aquí Ω como explica la ecuación 2.2) tomaremos en cuenta:

$$\Omega = C + T = C + 2 * C \quad (2.1.2)$$

$$\Omega = 17 \frac{papas}{s} + 34 \frac{terriones}{s} = 51 \frac{unidades}{s}$$

Teniendo en cuenta que dependiendo de la forma y altura del camellón el cabezal debe remover de 70 a 100 kg de tierra por metro lineal recorrido, se toman 100 kg/m como peor condición para los cálculos de caudal total de material a ingresar en la máquina.

Entonces, tenemos una masa total ingresando por el cabezal de:

$$Q = 100 \frac{kg}{m} tierra + 17 \frac{papas}{s} * \frac{1}{1,39 \frac{m}{s}} * \frac{0,202kg}{papa_{med}} \approx 103 \frac{kg}{m} * 1,39 \frac{m}{s} \approx 143,2 \frac{Kg}{s}$$

Cantidad de elementos a separación

Como se explicó en el apartado de “Similitud física de los terrones” el tamaño de papas el cual compite con los terrones y piedras presentes se limita hasta el grupo tipo “papa grande” de hasta aproximadamente 500g. Por esta razón, el material restante superior al tamaño compatible, de aproximadamente 14cm de longitud, no se tendrá en consideración para la separación, siendo entonces restada una cuarta parte del flujo de material propuesto, quedando entonces:

$$\Omega_{separacion} = \Omega * \frac{3}{4} = 51 \frac{unidades}{s} * \frac{3}{4} = 39 \frac{unidades}{s}$$

Secuencia de acción sobre el flujo de material

Para atacar el problema principal de la separación entre el material cosechado y los terrones y piedras presenten en el caudal de material de entrada, primeramente, se debe de realizar un análisis básico del flujo del mismo dentro de la máquina para así proponer el mejor esquema en el cual se coloquen los órganos principales de la misma.

El flujo de material entrante estará compuesto por:

- Tierra suelta
- Terrones
- Papas
- Raíces
- Parte aérea de la planta seca (follaje)
- Objetos extraños (piedras, malezas, cascotes, entre otros)

Primeramente, se debería eliminar la tierra suelta en un primer tamizado, para evitar acarrear material suelto que agregue volumen y peso innecesario, además de afectar a los demás órganos del equipo con empastamiento y acumulación de suciedad. Aprovechando esta etapa de tamizado, se puede realizar al unísono, un sacudimiento del material (cribado) para eliminar la tierra adherida a las papas y romper terrones sueltos.

Una vez obtenido este material filtrado el segundo paso a seguir sería eliminar el follaje y materia seca circundante. El motivo de ello radica en la diferencia morfológica que posee, debido a que el material restante compuesto por papas, terrones y piedras tienen en común una geometría en mayor o menor medida elipsoidal que es beneficiosa para su transporte y manipulación en las futuras etapas de limpieza y separación. Además la presencia de follaje puede alterar dichos órganos y generar atascos en los sistemas subsiguientes.

Como tercer paso se debería realizar una separación por tamaños, de ser necesario, para obtener distintos grupos de material a separar o limpiar con similares geometrías.

Se decide limpiar primeramente el material para luego ser separado. Esta decisión radica en la posibilidad de reducir el tamaño de los terrones pequeños circundantes hasta el punto de poder eliminarlos, y preparar el cultivo para evitar variaciones en sus propiedades específicas; como la densidad, el color y el tamaño de las papas las cuales variarán si se poseen adheridas porciones grandes de tierra que no pudiesen ser atacadas en los órganos de cribado y limpieza, lo que interferirá en el proceso de separación.

Por último, se dirigirá el material hacia la zona de acopio. Para este estudio se propone almacenar el material en un bolsón de 1m³.

Resumiendo, el orden de las acciones a abordar sobre el flujo de material se representa gráficamente en el siguiente esquema de la figura 2-3:

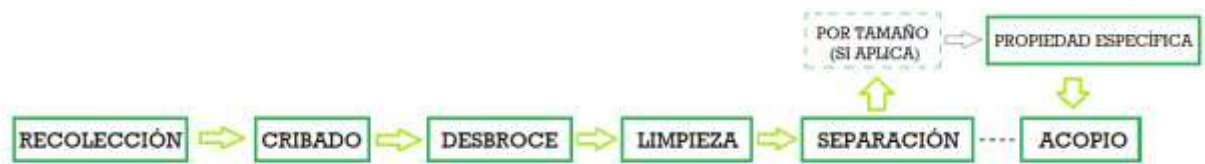
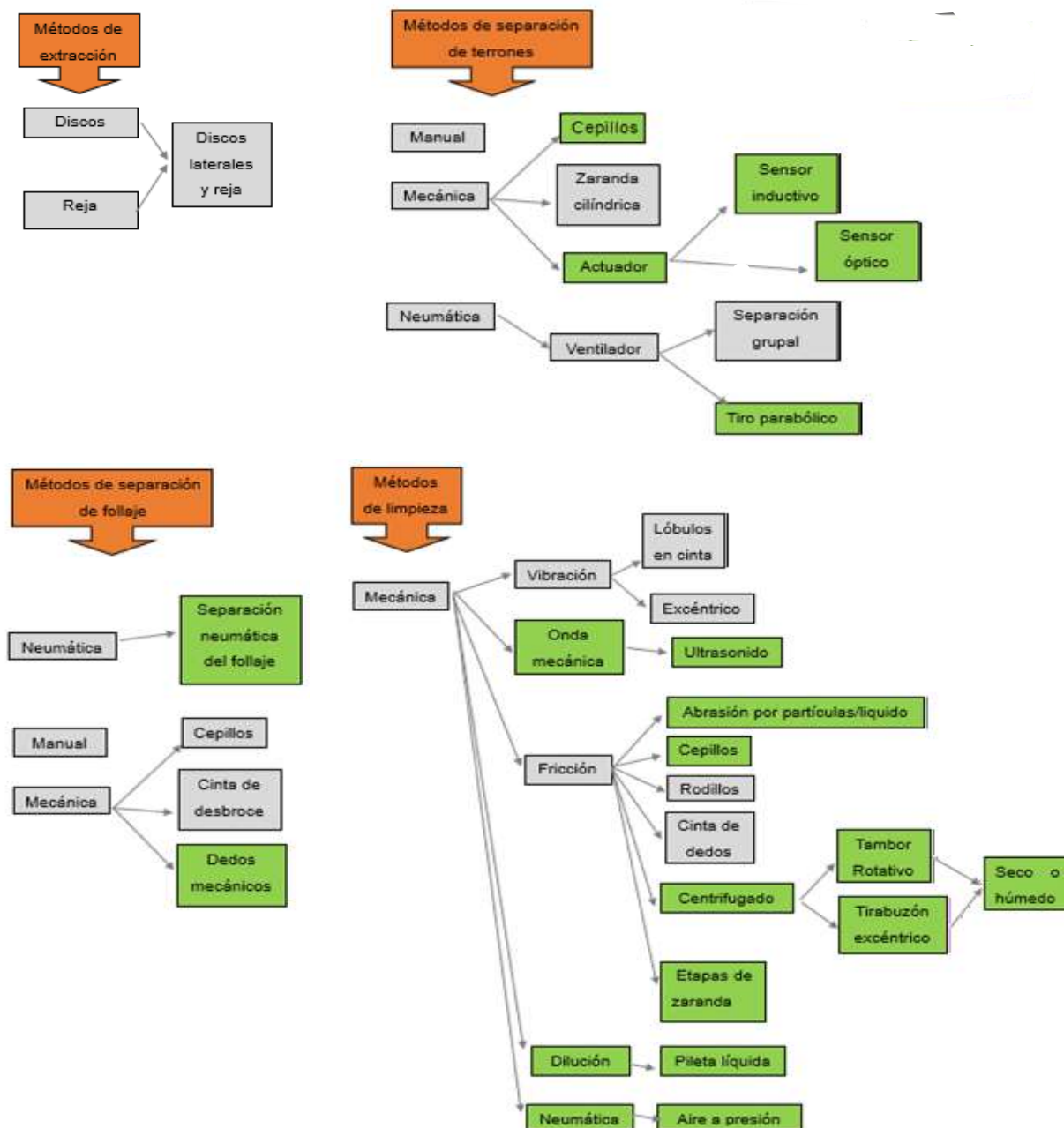


Figura 2-3: Flujo de acciones a realizar en etapas sobre el material circundante en el equipo.

Espectro de conceptos solución

En el siguiente diagrama se puede observar resaltado en color verde las casillas correspondientes a los conceptos agregados luego de una lluvia de ideas para cada sub categoría de separación de follaje, métodos de limpieza y métodos de separación de terrones. De las opciones mostradas, se analizarán cuantitativamente las más importantes para obtener la mejor de las soluciones a adoptar en el apartado siguiente.



Propuestas de solución

A continuación, una vez determinadas las etapas se presentan las propuestas conceptuales de solución a los aspectos de separación de follaje, separación y limpieza del material.

El método llevado a cabo para decidir la solución a abordar se basa en una cuantificación numérica de la misma mediante la suma de cuatro aspectos que se entienden como claves, como ser:

- **Solución (S):** indica que tan eficaz es la propuesta a solucionar el problema inicial mediante su implementación
- **Factibilidad (F):** que tan viable es la implementación de dicha propuesta en cuando a su aplicación en el tipo de equipo en estudio.
- **Cuantificación (C):** indica cuan fácilmente cuantificable es la solución propuesta, referido a la verificación numérica del fenómeno físico involucrado
- **Costo (X):** en términos de complejidad del sistema, requerimientos de potencia del mismo y necesidad de componentes específicos necesarios.

Estos aspectos clave se valorizarán desde el valor 1 (menor) hasta 3 (mayor).

Propuestas para desbroce:

Tabla 2-4: Propuestas de solución para el método de desbroce.

Método de desbroce						
N°	Descripción	S	F	C	X	Total
1	El follaje se separará con aire a presión siendo arrastrado hacia una cinta de transporte hacia el órgano esparcidor sobre la hilera mientras que el material restante se dirige a la etapa de limpieza.	3	3	1	1	8
2	La separación del follaje se logrará mediante una cinta inclinada que posee la misma dirección del flujo. El material aéreo y raíces serán arrastrados por dicha cinta mientras que las papas y los terrones regresarán a contraflujo por rodadura y serán captados por otra cinta de transporte hacia la etapa de limpieza.	3	3	2	3	11

Para el caso del método de desbroce se tienen entonces dos propuestas. En el primer caso, se decide utilizar aire a presión el cual podría eventualmente ser reciclado o recirculado de otro órgano de actuación neumática, insuflado preferentemente desde abajo hacia arriba. Como se muestra en el esquema siguiente.

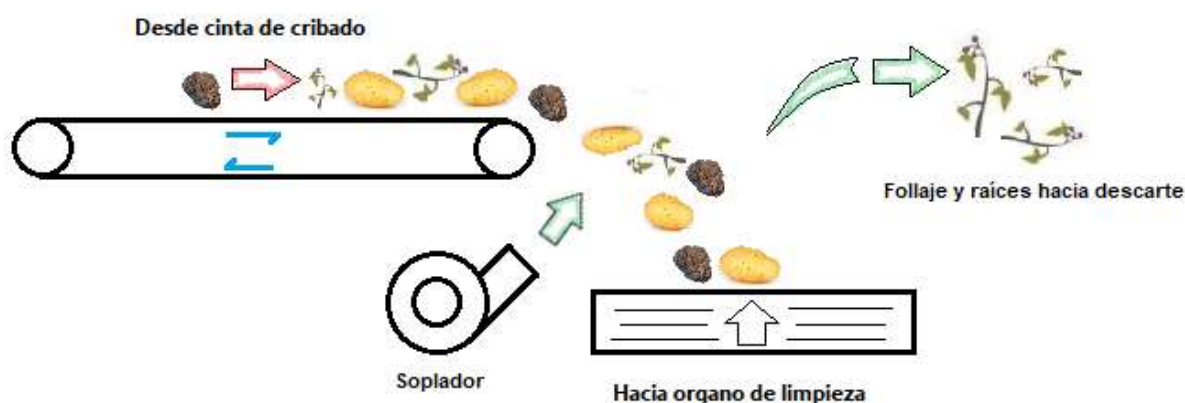


Figura 2-4: esquema de funcionamiento del sistema de desbroce mediante corriente de aire.

Dada la morfología de la parte aérea de la planta y las raíces presentes, una separación mediante aire debería ser efectiva utilizando una elevada presión y por lo tanto un área pequeña de salida de los mismos para evitar el uso de grandes caudales. Se aprovecha el tiempo en el que el material se encuentra en el aire, preparándose para un cambio de dirección hacia el órgano de limpieza, siendo arrastrado lejos de la cinta principal. Una reversión de esta propuesta se realizó en el caso número dos, en donde se aprovecha la amplia diferencia en la geometría de los sólidos capturados en primera instancia (papas, terrones, piedras, follaje y raíces) y por ende sus ángulos de talud. (Buitrago et al., 2004) explican la variabilidad el ángulo de talud para variedades de papas cultivadas en Colombia, que varían desde los 50° en la variedad criolla hasta los 39° en la variedad parda pastusa, todas ellas con índices de esfericidad mayores a la variedad Spunta.

Tabla 2-4: tabla de características físicas de distintos cultivos de papa. Fuente: Germán V. Buitrago et. al. (2003): Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia.

Característica	Variedad*			
	Criolla Media	Tamaño	Parda Pastusa Media	Capiro Media
Peso (g)	30,88 (7,12)	1	136,02 (25,75)	269,07 (36,19)
		2	95,81 (17,20)	149,71 (19,04)
		3	39,36 (6,09)	84,81 (14,60)
				46,33 (8,41)
Densidad real (kg m ⁻³)	1113,01 (108,21)	1	1.228,45 (69,93)	1065,39 (87,81)
		2	1.179,58 (73,34)	1220,96 (69,87)
		3	1.187,27 (99,60)	1296,84 (109,17)
				1114,27 (60,46)
Densidad aparente (kg m ⁻³)	572,32 (14,80)	1	529,79 (15,37)	509,35 (15,96)
		2	610,24 (15,14)	496,26 (15,60)
		3	562,45 (7,88)	527,67 (12,36)
				534,95 (10,84)
Esfericidad	0,80 (0,074)	1	0,76 (0,054)	0,71 (0,101)
		2	0,80 (0,054)	0,81 (0,045)
		3	0,83 (0,042)	0,82 (0,033)
				0,82 (0,033)
Redondez	0,79 (0,066)	1	0,77 (0,046)	0,72 (0,084)
		2	0,80 (0,054)	0,81 (0,048)
		3	0,83 (0,047)	0,82 (0,041)
				0,83 (0,038)
Porosidad (%)	48,15 (4,8)	1	56,74 (2,78)	51,92 (3,69)
		2	48,05 (3,90)	59,23 (2,60)
		3	52,31 (4,05)	59,06 (3,24)
				51,85 (2,87)
Ángulo de reposo (grados)	50,32 (2,66)	1	43,39 (3,10)	43,45 (1,41)
		2	41,26 (1,32)	43,86 (0,99)
		3	39,68 (1,73)	41,81 (1,12)
				41,77 (0,91)

Para tomar como referencia el ángulo de los terrones se podría asemejar a los mismos a los encontrados en los terrones de Coque. (Jiménez et al., 1998) expresan un modelo matemático para el ángulo de reposo de este material en el alto horno, obteniendo valores máximos que rondan los 45 grados de inclinación.

Tendiendo ambos valores en consideración se propone un ángulo de la cinta aproximada de 45 grados. Esto garantiza que tanto papas como terrones y otros decanten en contra del sentido de la misma, siguiendo camino hacia los órganos restantes del equipo. La razón de incluir a los terrones dentro del ángulo de talud mínimo radica en el hecho de que, existiendo tierra adherida en las papas en esta etapa, las mismas pueden perder esfericidad y modificar su ángulo de reposo viéndose arrastradas hacia la zona de descarte.

En la figura siguiente (2-5) se puede apreciar un boceto del sistema:

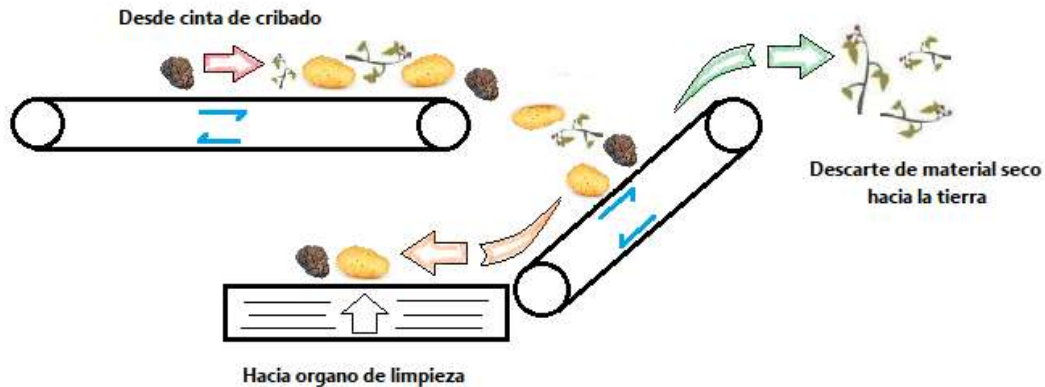


Figura 2-5: Esquema de funcionamiento del órgano de desbroce. Se aprecian las tres cintas principales del mismo, la superior acarrea el material entrante desde la cinta de cribado, la cual arroja el material sobre una cinta de desbroce inclinada a 45° la cual atrapa el follaje y raíces descartándolas hacia la tierra. A contraflujo, papas y terrones ruedan hacia una cinta inferior que traslada el material hacia el órgano de limpieza. Fuente: elaboración propia.

Gracias a la simplicidad del mecanismo, la capacidad de modificación del ángulo de la cinta y las diferencias físicas de los elementos en juego aprovechables, se adopta esta última solución para continuar con el diseño del equipo.

Propuestas para limpieza

Tabla 2-5: propuestas de solución para el método de limpieza.

Método de limpieza						
N°	Descripción	S	F	C	X	Total
1	La limpieza se hará mediante aspersores de agua recirculada quienes barrerán y disolverán el exceso de tierra. Se necesitará de una etapa de secado.	3	1	2	1	7
2	La limpieza se realiza mediante el centrifugado del material en un rotor tipo plato, similar al utilizado en cosechadoras de remolacha, sumado a una segunda remoción mecánica por cepillo de cerdas suaves.	2	3	2	3	10
3	La limpieza se realiza mediante un tren de rodillos revestidos de goma haciendo girar el material en el sentido contrario al avance, rascando la superficie sin dañar la piel. Los terrones pequeños y follaje remanente que no se mantenga girando será captado por los mismo y descartado.	3	3	2	3	11

La opción n°1 contempla el lavado del material mediante aspersión de agua siendo la misma rociada con aspersores como ilustra la figura 2-6.

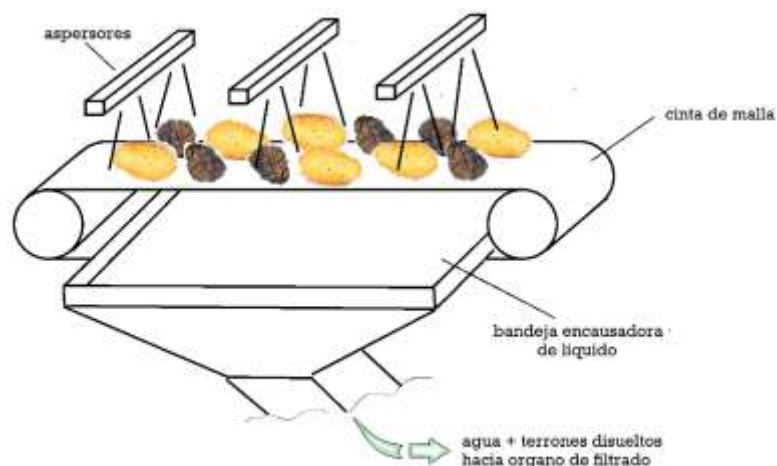


Figura 2-6: esquema de solución a limpieza por aspersión de líquido.

Si bien se cataloga como una buena solución al problema, sería necesario recurrir a sistemas de filtrado de líquido, y con ello un sistema complejo de bombeo y recirculación del mismo, el cual debería de encontrarse nuevamente en condiciones óptimas para evitar el bloqueo de las líneas de aspersión. En adición a ello, el exceso de agua en el cultivo durante su acopio puede llevar a la aparición de zonas de podredumbre por ausencia de oxígeno, lo que haría necesario una etapa posterior de secado, sumando complejidad al sistema. Por lo explicado se prefiere la aplicación de una solución que pueda realizarse sobre el material en seco.

La opción número tres fue descartada por el hecho de que, si bien es utilizada en otro tipo de cosechadoras, como lo son las cosechadoras de remolachas blancas, para el cultivo en estudio se evita acelerar el material a velocidades altas evitando así impactos en su superficie que favorezcan la aparición de moretones, decrementando la calidad del mismo.

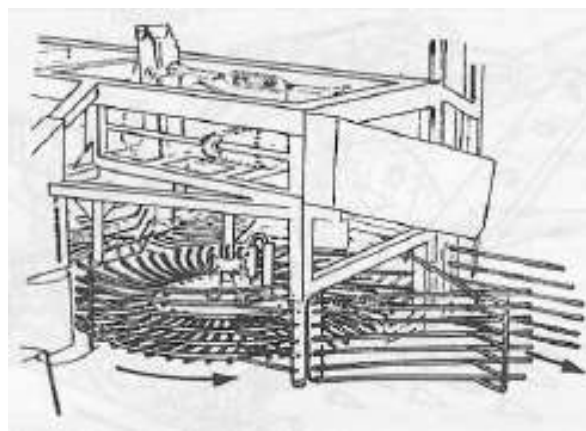


Figura 2-7: Sistema de limpieza de remolacha por centrifugado del material. Fuente: J. Ortiz Cavañete 6ta edición "Las máquinas agrícolas y su aplicación".

Se opta entonces por la tercera opción la cual contempla la limpieza mediante rodillos. Este sistema, como se relevó en el estado del arte, es utilizado en las cosechadoras de gran porte y permiten una mayor flexibilidad en la etapa de limpieza del producto. Al tratarse de un

sistema en el cual el material rueda sobre sí mismo, las probabilidades de atascamiento y daño a la piel del cultivo son prácticamente nulas. Se puede modificar la cantidad de etapas de limpieza adicionando trenes de rodillos y modificando su separación. Además, este sistema puede acarrear elementos de etapas anteriores como follaje y terrones pequeños que pueden ser absorbidos por el mismo. El consumo de potencia es muy bajo y para el caso en estudio se propuso un esquema como el mostrado en la figura 2-8:



Figura 2-8: esquema básico de rodillos, conformado por siete rodillos principales y seis barras fijas intermedias.

Sabiendo que el flujo de material ronda los 50 elementos por segundo, para mantener el flujo de material se propuso un rodillo de 1000mm de longitud y siete etapas de limpieza.

Se calculó suponiendo un promedio de 1,5 vueltas del material sobre su eje por cada rolo de limpieza, el cual actuará sobre el material cada 0,25 segundos. Se calculó así la velocidad tangencial del rodillo, para obtener la potencia necesaria.

$$V_{tang} = 1,5 \frac{vueltas}{0,25 s} * \frac{65mm * \pi}{1 vuelta} = 1225,2 \frac{mm}{s} = 1,22 \frac{m}{s}$$

Si proponemos un diámetro de rolo de 0,075m entonces:

$$\omega_{rod} = \frac{1,22 \frac{m}{s}}{0,075 m} = 16,26 \frac{rad}{s} * 1 \frac{rev}{2\pi rad} = 2,58 \frac{rev}{s} * \frac{60 s}{min} \approx \mathbf{155 RPM}$$

Si suponemos un rodillo capaz de contener 12 papas medianas en rodadura de 65mm de diámetro y 8,5 centímetros de longitud entonces la potencia mínima a consumir por cada rodillo para mover esa carga la calcularemos como el torque necesario para mover esas 12 papas en la superficie, multiplicado por la velocidad angular del mismo:

$$N = 12 * (m_{papa} * R_{rod}) * \omega_{rolos} = 12 * 0,221kgf * 0,075m * 2,58 \frac{rev}{s} * \frac{9,81N}{1kgf} = 5,03 W$$

Lo que equivale a:

$$N_i = 5,03 W * \frac{1}{745,7} \frac{HP}{W} = 0,0068 HP \text{ c/rodillo}$$

Si tenemos entonces una cantidad de 7 rodillos, tenemos entonces:

$$N_{papa} = 7 * 0,0068HP = 0,047HP$$

Esta situación se da solamente considerando el esfuerzo por rodadura de las papas sobre el eje sin tener en cuenta la potencia necesaria para decapar la tierra superficial del cultivo. Proponemos entonces un cálculo sencillo de verificación como sigue.

Estudios para los valores de tensión de corte para suelos compactados (Díaz-Coral et al., 2021) obtuvieron valores cercanos a los 600KPa, por lo que se propone el siguiente modelo simplificado, en el cual se posee un bloque de tierra adherido a una papa de tamaño mediano de espesor 10mm en una banda de 50mm de profundidad que recorre el largo del elipsoide:

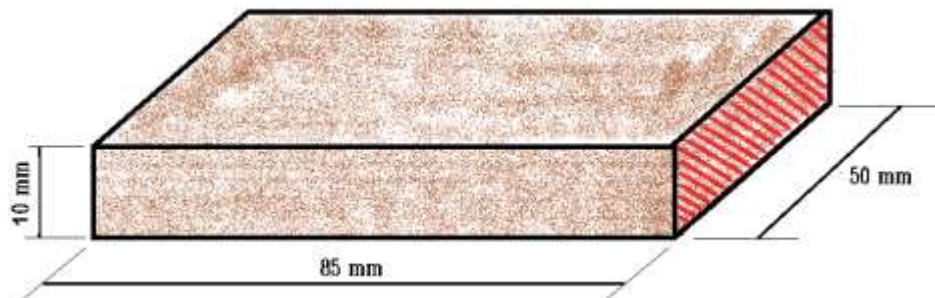


Figura 2-9: representación de la porción de tierra adherida a remover.

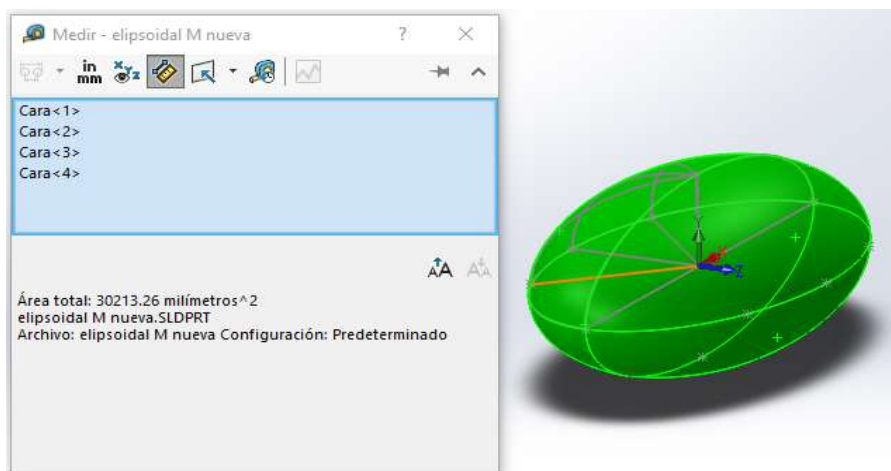


Figura 2-10: Área superficial para una papa elipsoidal mediana

Supongamos que cada rodillo raspará esta cantidad de material por pasada la cual es equivalente a una séptima parte del área total exterior de la papa.

La fuerza necesaria sobre la superficie transversal, marcada en color rojo de la 2-9 estará sujeta a la ecuación 2.3 como sigue:

$$F = \tau_{m\acute{a}x} * A \quad (2.2.1)$$

Siendo:

$\tau_{m\acute{a}x}$: máxima resistencia al corte para el tipo de tierra en estudio

A : Área transversal de la capa de tierra a remover

Tenemos entonces:

$$F = 600KPa * 85mm * 50mm * \frac{\frac{1N}{m^2}}{1Kpa} * \frac{1m^2}{1000^2mm^2} = 2.55 N$$

Considerando que esta fuerza se debe de aplicar en un tiempo dado, sujeto a la permanencia del cultivo girando sobre el rodillo, el cual se supuso de 0,25 segundos, entonces la potencia necesaria para remover la porción de tierra adherida en los siete rodillos propuestos será el propuesto en la ecuación 2.4 como sigue:

$$N_{tierra} = \frac{F * d * n}{t} \quad (2.2.2)$$

Siendo:

d : distancia longitudinal de acción del chebrón; n : cantidad de rodillos ;
 t : tiempo de acción

$$N_{tierra} = \frac{2.55N * 85mm * 7}{0,25s} * \frac{1m}{1000mm} = 6,069 W \approx 0,008HP$$

Obtenemos entonces, un valor aproximado de potencia necesaria por el tren de rodillos de:

$$N_{tot} = N_{papa} + N_{tierra} = 0,047HP + 0,008HP \approx 0,06HP$$

Por lo cual se refuerza el concepto de poco consumo de potencia para este órgano del equipo, siendo el más conveniente debido al escaso margen de potencia que se tiene como condición de borde para el tipo de tractores a utilizar, que recordemos ronda los 90HP de potencia.

Disposición de los órganos del equipo

Una vez definidos los órganos principales del equipo y el orden de acción sobre el flujo de material, se propone un lay-out general del equipo. Como se puede apreciar en las figuras siguientes, el equipo consta de un chasis de un solo eje, traccionado por la barra de tiro del tractor. Centrado en la línea de acción se encuentra el cabezal recolector, coloreado en naranja seguido de la cinta de cribado (celeste). Al finalizar su recorrido por la misma, el material cae sobre el órgano de desbroce, coloreado en verde, el cual consta de una cinta inclinada, un rodillo superior para contener el material y una placa que concentra el flujo hacia el suelo, devolviendo el follaje sobre la superficie del mismo. Por su parte, papas, terrones y piedras ruedan a contraflujo por la cinta inclinada y son arrastradas por dos cintas intermediarias (rosa) las cuales desvían el caudal hacia el tren de rodillos limpiadores, aquí coloreados en rojo.

Una vez que el material es limpiado, se utiliza un cangilón para elevar el material hacia un segundo plano, donde se deposita sobre un tamiz inclinado. Este método de selección es acompañado por una rampa inferior seccionada (amarillo), la cual separará el material en cuatro grupos. Las papas de mayor tamaño rodarán hacia la cinta lateral de transporte, directamente movilizadas hacia la cola de la máquina. Las restantes serán derivadas por la rampa según tamaño, hacia los órganos de separación los cuales se abordarán en el apartado siguiente. Las papas ya seleccionadas serán transportadas por las cintas marcadas en negro, hacia una cinta central que llenará el bolsón de acopio, de un metro cúbico.

Para la gestión de residuos, los órganos separadores descargarán los terrones y piedras hacia la cinta transversal, coloreada de azul, la cual accionada de forma bidireccional, depositara los terrones entre líneas en la línea ya trabajada.

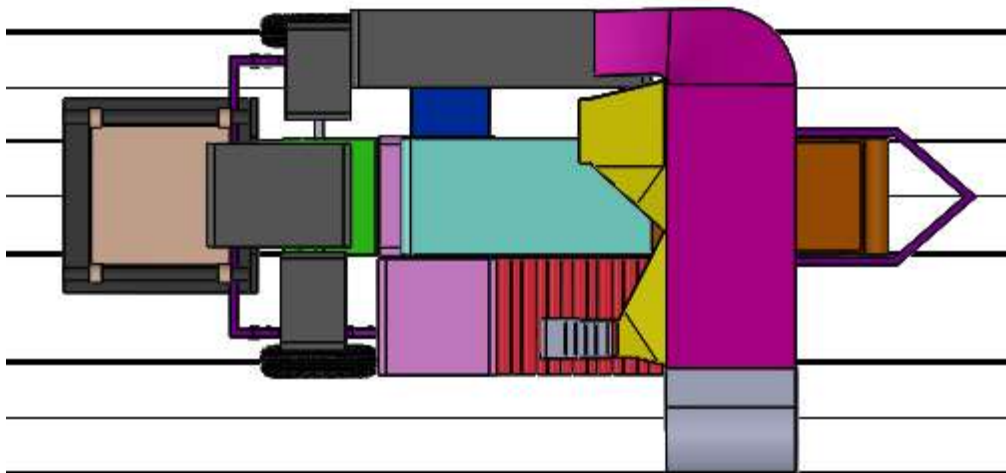


Figura 2-11: vista superior de la máquina (esquemático). Se observa un ancho del equipo de tres líneas, donde el cabezal se encuentra centrado a la línea de acción de la fuerza de tiro. En la parte inferior se observa el bolsón de acopio soportado por una plataforma el cual se encuentra centrado en el eje longitudinal de la máquina.

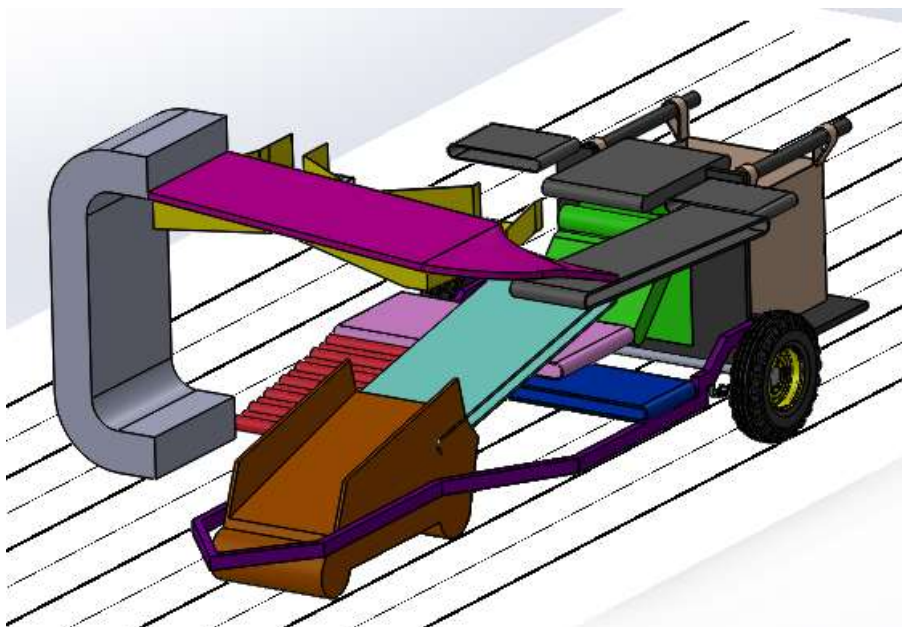


Figura 2-12: vista isométrica esquemática del equipo. Se observa el cabezal de cosecha (naranja), la cinta de cribado (celeste) y la cinta de manejo de residuos en color azul.

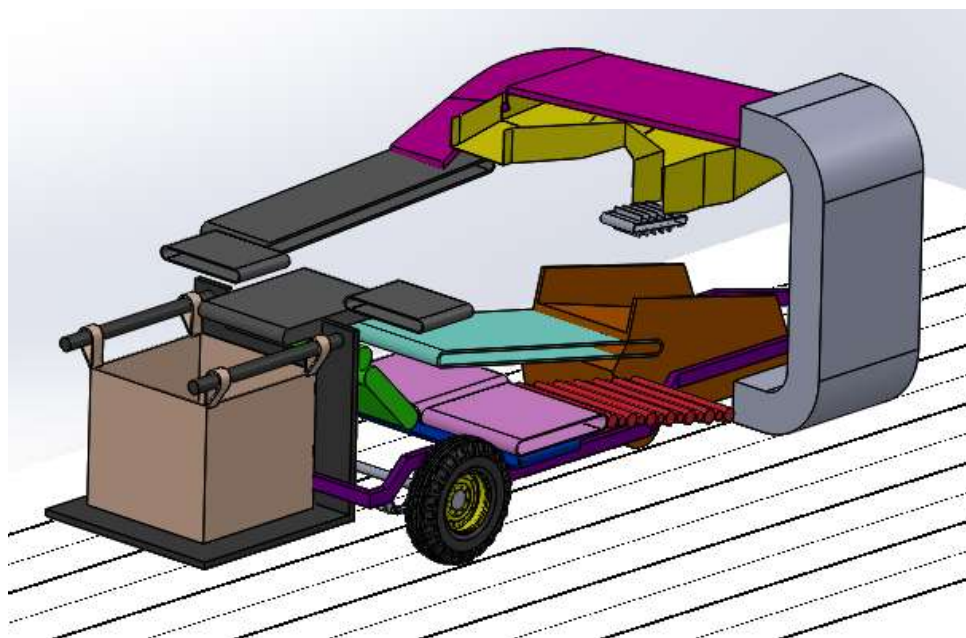


Figura 2-13: Vista trasera del equipo. Se observa el tren de rodillos limpiadores (rojo), el cangilón de transporte (gris) y el sistema de separación el cual consta de la rampa tamiz en color violeta y la rampa seccionada (amarilla)

Cálculos de potencia parciales

En el siguiente apartado se realizará un resumen de potencias consumidas por los distintos órganos del equipo, para así obtener el valor de potencia útil restante para ser consumida por el órgano de separación.

Dichas potencias contemplan:

- Cabezal de cosecha
- Cribado
- Separación del follaje (desbroce)
- Limpieza
- Transporte
- Separación
- Traslado del equipo

- Cabezal de cosecha

Para el caso del cabezal de cosecha se tomó como referencia un valor promedio de al menos 30 HP necesarios por hilera, valor general extraído de catálogos de hileradoras de simple hilera mecánicas.

- Cribado

Por cada metro lineal de tierra extraído corresponden alrededor de 100 Kg de tierra. Sabiendo que el caudal de material total es de 51 unidades por segundo, entonces tendremos:

$$P = P_{elementos} + P_{tierra} \quad (2.3.1)$$

y siendo el $P_{elementos}$ el peso promedio de un terrón o papa mediano, el cual se propone de 300g entonces:

$$P_{elementos} = \frac{0,3kg}{unidades} * 51 \frac{unidades}{s} = 11,02 \frac{kg}{m}$$
$$5 \frac{km}{h} * \frac{1h}{3600s} * \frac{1000m}{1km}$$

Entonces, usando la ecuación 2.3.1 tenemos:

$$P = 11,02 \frac{kg}{m} + 100 \frac{kg}{m} \approx 111 \frac{kg}{m}$$

Teniendo una cinta de 2,20 m de largo y 0,9m de ancho (ancho de laboreo) entonces tenemos sobre la cinta de cribado un peso total:

$$P_{TotCinta} = P * L_{cinta} = 111 \frac{kg}{m} * 2.2m \approx 244 kg$$

El movimiento de este material debe darse a la misma velocidad que la del equipo, para evitar acumulación de material, por lo tanto, la potencia necesaria para esta cinta será de:

$$N_{desbroce} = P_{TotCinta} * v_{cinta} \quad (2.3.2)$$

$$N_{desbroce} = 244kgf * 5 \frac{km}{h} * \frac{1000m}{1km} * \frac{1h}{3600s} = 338,88 W * \frac{1HP}{745W} = \mathbf{0,45 HP}$$

- Separación de follaje

Siendo que se trata de un órgano que consta de tres cintas, serán tomadas en cuenta en el ítem de transporte.

- Limpieza

Como se calculó en el apartado de *propuestas para limpieza*, se propone un consumo máximo de potencia, incluyendo la transmisión y el peso propio de los rodillos, generando un consumo total de *0,5 HP*.

- Transporte

Para el caso de transporte, se hizo uso del manual de diseño de cintas de la marca *Pirelli*. Se tomaron valores generales de las longitudes e inclinaciones de las cintas, el caudal de material a mover y el ancho de las mismas. Utilizando las tablas de diseño rápidas del manual mostradas en las figuras siguientes se obtienen las tres potencias fundamentales las cuales comprenden:

- *N1: potencia necesaria para mover la cinta descargada.*
- *N2: potencia necesaria para mover la carga horizontalmente*
- *N3: potencia necesaria para elevar la carga*

Tabla 2-6: Valores estimados de potencia necesaria (N1) en CV para mover la cinta descargada a la velocidad de 1m/s. Fuente: manual de diseño Pirelli para cintas transportadoras.

Potencia N₁ (en CV) necesaria para mover la cinta descargada a la velocidad de 1 m/seg (°)

Ancho de la cinta mm	Proyección horizontal de la distancia entre ejes de los tambores terminales (m)																			
	10	20	30	40	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425
300	0.50	0.59	0.68	0.77	0.86	1.08	1.30	1.53	1.75	1.98	2.20	2.43	2.65	2.88	3.10	3.33	3.55	3.78	4	4.22
400	0.58	0.68	0.79	0.89	1	1.26	1.52	1.78	2.04	2.30	2.57	2.83	3.09	3.35	3.62	3.88	4.14	4.40	4.66	4.92
500	0.69	0.82	0.95	1.08	1.20	1.52	1.83	2.15	2.46	2.78	3.09	3.40	3.72	4.03	4.35	4.67	4.98	5.29	5.61	5.92
600	0.83	0.98	1.13	1.28	1.43	1.80	2.18	2.55	2.93	3.30	3.67	4.05	4.42	4.80	5.17	5.55	5.92	6.30	6.67	7.05
700	0.99	1.18	1.36	1.54	1.72	2.17	2.63	3.08	3.53	3.98	4.44	4.88	5.34	5.79	6.25	6.70	7.15	7.60	8.06	8.51
800	1.15	1.35	1.56	1.77	1.98	2.50	3.05	3.53	3.95	4.67	5.08	5.61	6.13	6.65	7.17	7.69	8.22	8.73	9.25	9.76
900	1.32	1.56	1.80	2.04	2.28	2.88	3.48	4.08	4.68	5.28	5.88	6.48	7.08	7.68	8.28	8.88	9.48	10.10	10.70	11.30
1 000	1.52	1.80	2.07	2.35	2.62	3.32	4	4.70	5.38	6.07	6.76	7.45	8.14	8.83	9.52	10.20	10.90	11.60	12.30	13
1 100	1.73	2.05	2.36	2.67	2.98	3.77	4.55	5.33	6.12	6.91	7.69	8.47	9.26	10	10.80	11.60	12.40	13.20	14	14.80
1 200	1.95	2.30	2.66	3.01	3.36	4.14	5.13	6.02	6.90	7.78	8.67	9.56	10.40	11.30	12.20	13.10	14	14.90	15.75	16.60
1 300	2.17	2.56	2.96	3.35	3.75	4.72	5.72	6.70	7.68	8.66	9.65	10.60	11.60	12.60	13.60	14.60	15.60	16.60	17.50	18.50

Tabla 2-6: Potencia necesaria (N2) para transporte horizontal del material en CV. Fuente: manual de diseño Pirelli para contas transportadoras.

Potencia N₂ (en CV) necesaria para transportar horizontalmente el material

Cantidad transportada tn/h	Proyección horizontal de la distancia entre ejes de los tambores terminales (m)																			
	10	20	30	40	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425
50	0.31	0.36	0.42	0.47	0.53	0.67	0.80	0.94	1.08	1.22	1.36	1.50	1.64	1.78	1.91	2.05	2.19	2.33	2.48	2.61
75	0.46	0.54	0.63	0.71	0.78	1	1.21	1.42	1.63	1.84	2.05	2.25	2.46	2.66	2.88	3.08	3.29	3.50	3.71	3.92
100	0.61	0.73	0.83	0.95	1.06	1.33	1.61	1.89	2.17	2.44	2.72	3	3.28	3.55	3.83	4.11	4.38	4.67	4.94	5.22
150	0.92	1.08	1.25	1.42	1.58	2	2.42	2.83	3.25	3.66	4.08	4.50	4.92	5.33	5.75	6.17	6.58	7	7.41	7.74
175	1.07	1.27	1.46	1.65	1.85	2.34	2.82	3.31	3.79	4.28	4.77	5.25	5.73	6.22	6.72	7.20	7.67	8.17	8.66	9.13
200	1.22	1.44	1.67	1.89	2.11	2.68	3.24	3.78	4.34	4.88	5.44	6	6.55	7.12	7.65	8.22	8.76	9.33	9.68	10.55
250	1.53	1.81	2.08	2.36	2.64	3.34	4.02	4.72	5.42	6.12	6.80	7.50	8.20	8.88	9.57	10.28	10.97	11.65	12.35	13.05
300	1.84	2.17	2.50	2.84	3.17	4	4.84	5.66	6.50	7.33	8.17	9	9.84	10.65	11.50	12.32	13.15	14	14.80	16.65
350	2.14	2.53	2.92	3.32	3.70	4.62	5.64	6.62	7.58	8.55	9.54	10.50	11.48	12.45	13.43	14.40	15.40	16.35	17.30	18.30
400	2.44	2.89	3.34	3.78	4.22	5.32	6.45	7.56	8.65	9.76	10.88	12	13.10	14.24	15.32	16.43	17.54	18.70	19.80	20.90
450	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	6	7.25	8.50	9.75	11	12.25	13.50	14.80	16	17.25	18.50	19.80	21	22.30	23.50
500	3.05	3.61	4.16	4.72	5.27	6.66	8.05	9.45	10.80	12.20	13.60	15	16.40	17.80	19.20	20.50	21.90	23.30	24.80	26.10
600	3.67	4.34	5	5.68	6.34	8	9.68	11.30	13	14.70	16.40	18	19.70	21.30	23	24.70	26.30	28	29.70	31.30
700	4.28	5.06	5.84	6.63	7.40	9.35	11.30	13.20	15.15	17.10	19.05	21	23	25	26.80	28.80	30.70	32.70	34.60	36.50
800	4.88	5.78	6.68	7.56	8.44	10.70	12.90	15.10	17.30	19.50	21.80	24	26.20	28.50	30.70	32.90	35.10	37.30	39.50	41.80
900	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	12	14.50	17	19.50	22	24.50	27	29.50	32	34.50	37	39.50	42	44.50	47
1 000	6.10	7.22	8.32	9.44	10.60	13.30	16.10	18.90	21.70	24.40	27.20	30	32.80	35.50	38.30	41.10	43.80	46.70	49.40	52.20
1 100	6.72	7.94	9.16	10.40	11.60	14.70	17.70	20.80	23.80	26.90	29.90	33	36.40	39.10	42.10	45.10	48.20	51.30	54.60	57.40
1 200	7.34	8.68	10	11.40	12.70	16	19.40	22.70	26	29.30	32.70	36	39.40	42.60	46	49.30	52.60	56	59.40	62.70
1 300	7.95	9.40	10.80	12.30	13.70	17.35	20.90	24.60	28.20	31.80	35.50	39	42.70	46.30	49.80	53.40	57.10	60.70	64.30	67.80
1 400	8.56	10.20	11.70	13.25	14.80	18.70	22.50	26.40	30.30	34.20	38.10	42	45.80	49.80	53.90	57.60	61.40	65.40	69.20	73.10
1 500	9.17	10.80	12.50	14.20	15.80	20	24.20	28.30	32.50	36.60	40.80	45	49.20	53.30	57.50	61.70	65.80	70	74.10	77.40

Tabla 2-7: Potencia necesaria (N3) en CV para trasladar verticalmente el material. Fuente: Manual de diseño Pirelli para cintas transportadoras.

Cantidad transportada	Proyección vertical de la distancia entre ejes de las poleas terminales (m)																				
	tn/h	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	35	40	45	50	55
5	0.04	0.08	0.11	0.15	0.19	0.22	0.26	0.3	0.33	0.37	0.41	0.44	0.48	0.52	0.55	0.66	0.74	0.83	0.93	1.02	1.1
10	0.07	0.15	0.22	0.3	0.37	0.44	0.52	0.59	0.66	0.74	0.81	0.89	0.96	1.04	1.11	1.29	1.48	1.67	1.85	2.04	2.22
15	0.11	0.22	0.33	0.44	0.55	0.67	0.77	0.88	0.99	1.11	1.22	1.33	1.44	1.56	1.67	1.95	2.22	2.5	2.78	3.05	3.3
20	0.15	0.3	0.44	0.59	0.74	0.89	1.04	1.18	1.33	1.48	1.63	1.78	1.92	2.07	2.22	2.58	2.96	3.33	3.7	4.07	4.44
25	0.19	0.37	0.55	0.74	0.93	1.11	1.3	1.48	1.67	1.85	2.04	2.22	2.41	2.59	2.78	3.24	3.7	4.17	4.62	5.08	5.56
50	0.37	0.74	1.11	1.48	1.85	2.22	2.59	2.96	3.33	3.7	4.07	4.44	4.82	5.18	5.55	6.48	7.4	8.34	9.24	10.16	11.12
100	0.74	1.48	2.22	2.96	3.7	4.44	5.18	5.92	6.66	7.4	8.14	8.88	9.62	10.36	11.1	12.93	14.8	16.65	18.5	20.38	22.2
200	1.48	2.96	4.44	5.92	7.4	8.88	10.36	11.84	13.32	14.8	16.28	17.76	19.24	20.8	22.2	26.9	29.6	33.3	37	41.7	44.4
300	2.22	4.44	6.66	8.88	11.1	13.32	15.54	17.76	19.98	22.2	24.5	26.7	28.9	31.1	33.3	38.9	44.4	50	55.5	61.2	66.6
400	2.96	5.92	8.88	11.84	14.8	17.76	20.8	22.7	26.7	29.6	32.6	35.6	38.5	41.5	44.4	51.6	59.2	66.6	74	81.4	88.8
500	3.7	7.4	11.1	14.8	18.5	22.2	25.9	29.6	33.3	37	40.7	44.4	48.1	51.8	55.5	65.7	74	83.3	92.5	101.8	111
600	4.44	8.88	13.32	17.8	22.2	26.7	31.1	35.5	40	44.4	48.9	53.3	57.7	62.2	66.6	77.7	88.8	100	111	122	133
700	5.18	10.4	15.55	20.8	25.9	31.1	36.3	41.5	46.7	51.8	57	62.2	67.3	72.5	77.8	90.7	104	117	130	143	156
800	5.92	11.85	17.78	23.7	29.6	35.5	41.5	47.4	53.3	59.2	65.2	71.1	77	85.9	88.8	104	119	133	148	163	178
900	6.65	13.3	20	26.6	33.3	40	46.6	53.3	59.8	66.5	73.2	79.8	86.5	93.1	99.7	117	133	150	167	183	200
1 000	7.4	14.8	22.2	29.6	37	44.4	51.8	59.2	66.6	74	81.4	88.8	96.2	103.6	111	130	148	167	185	204	222
1 100	8.15	16.28	24.5	32.6	40.7	48.9	57.2	65.2	73.4	81.5	89.7	97.8	106	114	132	143	163	183	204	224	244
1 200	8.87	17.75	26.7	35.5	44.4	53.2	62.2	71	79.8	88.7	97.6	107	116	124	133	155	178	200	222	245	267
1 300	9.63	19.3	28.9	38.5	48.2	57.8	67.4	77	86.6	96.4	106	116	125	135	144	169	193	217	241	265	289
1 400	10.35	20.8	31.1	41.5	51.8	62.2	72.5	83	93.2	104	114	124	135	145	156	182	208	233	259	285	311
1 500	11.1	22.2	33.3	44.4	55.5	66.6	77.7	88.8	100	111	122	133	145	156	167	195	220	250	278	305	330
1 600	11.85	23.7	35.5	47.4	59.2	71.1	83	94.8	107	119	130	142	154	166	178	208	237	267	298	326	356
1 700	12.6	25.2	37.8	50.4	62.8	75.5	88.1	100	114	126	139	151	164	176	189	220	252	283	315	346	378
1 800	13.3	26.7	40	53.4	66.6	80	93.3	107	120	133	147	160	173	187	200	233	267	300	333	367	400
1 900	14.08	28.2	42.2	56.3	70.3	85.3	98.4	113	127	141	155	169	183	197	211	246	281	317	351	387	422
2 000	14.8	29.6	44.4	59.2	74	88.8	104	118	133	148	163	178	192	208	222	258	296	333	370	408	444

- Órgano de desbroce: consta de una cinta inclinada 45° con una longitud de 600mm. Para una velocidad de 1,45 m/s, un ancho de 900mm y una altura de 1m. Por su parte, el caudal de material a mover consta de aproximadamente:

$$Q_{conj} = 50 \frac{\text{unidades}}{s} * \frac{201g}{\text{unidad}} * \frac{3600s}{1h} = 36180 \frac{Kg}{h}$$

Siendo:

$$Q_{conj} = \text{caudal de material que transita los organos previos a la segmentación por tamaño}$$

Tomando como referencia el valor de 50Tn/h tenemos entonces las siguientes potencias consumidas:

$$N1 = 0,13CV * 1,45 = 0,1885 CV$$

$$N2 = 0,25CV * 1,45 = 0,3625 CV$$

$$N3 = 0,07 CV$$

$$N_{desbroce} = N1 + N2 + N3 = 0,1885 CV + 0,3625 CV + 0,18CV = 0,74 CV$$

- Cintas intermediarias: constarán de tres cintas horizontales de 900mm de ancho y 800 mm de longitud. Se tiene entonces:

$$\begin{aligned} N1 &= 0,132CV * 1,45 = 0,1885CV \\ N3 &= 0,5CV * 1,45 = 0,725 CV \\ N_{cint} &= 3 * (N1 + N2) = 3 * (0,1885 CV + 0,725) = \mathbf{2,93 CV} \end{aligned}$$

- Elevador de cangilones: Se propuso un consumo máximo de potencia de alrededor de 5CV.

Siendo que puede tratarse como una cinta, se propone mediante las tablas anteriormente utilizadas, proponer un valor de consumo basándonos en la potencia Total del elevador como la suma de las potencias N1 y N3. Siendo la altura del mismo de 2,3 metros y proponiendo según tabla una altura de 4 metros para colocarnos en la peor posición, Tenemos entonces:

$$\begin{aligned} N1 &= 0,132CV * 1,45 = 0,1885CV \\ N2 &= 0,74CV * 1,45 = 1,073 CV \\ N_{cang} &= (N1 + N2) = (0,1885 CV + 1,073) = \mathbf{1,26 CV \approx 1,5 CV} \end{aligned}$$

- Cintas de transporte hacia acopio: Las cintas de transporte hacia el bolsón cuentan con una cinta central de 1000mm de longitud y 900mm de ancho, dos cintas de 800mm de largo y 500mm de longitud, y una cinta lateral larga de papas grandes la cual posee una longitud de 2000mm y un ancho de 500mm.

$$\begin{aligned} N_{clateral} &= N1 + N2 = 0,138 * 0,5 + 0,61 * 0,5 = \mathbf{0,38 CV} \\ N_{csep} &= 2 * (N1 + N2) = 2 * (0,069 * 0,5 + 0,3 * 0,5) = \mathbf{0,37CV} \\ N_{ccentral} &= N1 + N2 = 0,132 * 1,45 + 0,55 * 1,45 = \mathbf{0,98CV} \end{aligned}$$

La potencia total consumida por transporte se calcula como sigue:

$$N_{transp} = N_{desbroce} + N_{cint} + N_{clateral} + N_{csep} + N_{ccentral} + N_{cangilon} \quad (2.3.3)$$

Entonces, tenemos:

$$\begin{aligned} N_{transp} &= (0,74 + 2,93 + 0,38 + 0,37 + 0,98 + 1,5)[CV] = 6,9 CV * 0,986 \frac{HP}{CV} = 6,8HP \\ &\approx \mathbf{7 HP} \end{aligned}$$

- Peso propio del equipo

Habiendo fijado una velocidad de trabajo de 5 km/h proponemos una velocidad de aceleración para alcanzar esta velocidad de 1 segundo.

La ecuación que rige la potencia necesaria se define a continuación como la energía cinética necesaria para acelerar el equipo en el tiempo requerido (primer término) sumado a la resistencia a la rodadura del mismo (segundo término):

$$N_{pp} = \frac{(P_{acopio} + P_{equipo}) * v^2}{2t} + N_{rod} \quad (2.3.4)$$

P_{acopio} = peso del material de acopio ;

P_{equipo} = peso de la máquina ;

N_{rod} = potencia perdida por rodadura para el peso total del equipo cargado ;

Y siendo:

$$N_{rod} = \frac{Q_{ad} * k * v}{75} \quad (2.3.5)$$

$$Q_{adh} = \text{peso adherente sobre cada rueda} = \frac{P_{acopio} + P_{máq}}{2} ;$$

$$k = \text{coeficiente de rodadura} = \frac{1,2}{C_n} + 0,04 ; \quad \text{siendo}$$

C_n = valor numérico de la rueda ;

$30 < C_n < 50$ para suelos compactados

$10 < C_n < 15$ para suelos labrados

Proponiendo:

$$C_n \approx 35$$

Entonces:

$$k = \frac{1,2}{35} + 0,04 = \mathbf{0,074}$$

Para los pesos involucrados se realizan las consideraciones siguientes:

- Peso de la máquina: se considera un caso extremo en el que se tenga un equipo pesado de 5 toneladas con ruedas simples.
- Peso del material: en este punto se considera tanto el material circundante en el equipo como así también el bolsón de acopio en su máxima capacidad. Se tiene entonces el peso del material dado por la ecuación 2.3.6 como sigue:

Material circundante en el equipo está dado por la ecuación siguiente:

$$M = L_{tot} * C_{cintas} + P_{acopio} \quad (2.3.6)$$

Donde:

$$L_{tot} = \text{longitud total lineal de recorrido de material} = 16 \text{ m} ;$$

$$P_{acopio} = \text{peso del bolsón de papas, de volumen de } 1\text{m}^3$$

Si se utiliza el factor de empaquetamiento para cuerpos esferoidales tal que:

$$c = \text{factor de empaquetamiento esfera} = 0,74$$

Entonces:

$$P_{acopio} = 0,74 * \frac{1,1g}{cm^3} * 1m^3 * \frac{100^3 cm^3}{1m^3} = \mathbf{814kg}$$

Para el caso del material circundante por el equipo se tiene:

$$C_{cintas} = \text{peso del material por metro}$$

Debido a que la densidad de los terrones un 54% mayor a la de las papas tenemos entonces un peso de material lineal dado por la ecuación 2.3.7 como sigue:

$$C = C_{papas} + C_{terrones} \quad (2.3.7)$$

$$C = 2,86 \frac{kg}{m} + 2 * \frac{2,86kg}{m} * 1.54 = \mathbf{11,67 \frac{kg}{m}}$$

Por lo tanto, el peso total de material será:

$$M = 11,67m * 11,67 \frac{kg}{m} + 814 \text{ kg} = \mathbf{1000,72 \text{ kg}}$$

Retomando, el valor del peso adherente sobre el eje será:

$$Q_{adh} = 1000,72kg + 5000kg = \mathbf{6000,7\ kg}$$

Y la potencia consumida por rodadura, utilizando la ecuación 2.3.5 será entonces:

$$N_{rod} = \frac{Q_{adh} * k * v}{75} = \frac{6000,7kg * 0,074 * \frac{1,4m}{s}}{75} = 8,28\ CV * 0,986 \approx \mathbf{8,2\ HP}$$

Tenemos entonces los valores para calcular potencia total necesaria para mover el equipo utilizando la ecuación (2.3.4) como sigue:

$$N_{pp} = \frac{(814kg + 5000kg) * \left(\frac{1,4m}{s}\right)^2}{2s} * \frac{1HP}{746W} + (8,2\ HP)$$

$$N_{pp} = \mathbf{15,31\ HP}$$

Tabla resumen de potencias parcial

En la siguiente tabla se expresa el resumen de potencias necesarias para la totalidad de los órganos intervinientes en el equipo, exceptuando el sistema de separación de terrones y piedras, obteniendo así un valor de potencia excedente a utilizar por el mismo.

Tabla 2-8: Resumen de potencia consumida por los órganos restantes del equipo, excluyendo el órgano de separación

Resumen de potencias [HP]						
Cabezal	Desbroce	Transporte	Elev. Cang.	Peso propio y acopio	TOTAL	Disponible
30,00	0,60	4,40	1,50	15,31	51,81	38,19

Propuestas para método de separación

Tabla 2-9: Propuestas de solución para métodos de separación.

Método de separación						
N°	Descripción	S	F	C	X	Total
1	El flujo de material se separa aprovechando la diferencia de densidades mediante aire forzado. El material, previamente segregado por tamaño, se hace circular por equipos de soplado. La diferencia de densidades afecta en la fuerza boyante que modifica su trayectoria, recolectando los sólidos menos densos (papas) mediante una rampa de caída. El material restante se encausa hacia un órgano de gestión de residuos.	3	3	3	2	11
2	El material, previamente segregado por tamaño, se hace circular por cintas que poseen cerdas tipo cepillo. La diferencia de densidad entre objetos afectará en la fuerza individual sobre cada cerda ejerciendo un pandeo en las mismas y por lo tanto una disminución en la altura de transporte de los objetos. Con un encausador tipo peine calibrado a dicha altura, se separarán las papas que viajarán sobre la superficie, mientras que los terrones y otros se filtrarán hacia el fondo, desembocando en el órgano de gestión de residuos.	3	1	2	3	9

Separación mecánica mediante cepillo de cerdas

Como primera propuesta se generó el uso de un medio mecánico para la diferenciación de los terrones y papas mediante el pandeo de un conjunto de cerdas de cepillo.

El funcionamiento se basa en la fuerza longitudinal de compresión ejercida sobre cada cerda por el objeto que se deposita en el cepillo, ya sea una papa limpia o un terrón. Dicha fuerza se debe al peso propio del objeto interactuante repartida equitativamente en la cantidad de cerdas en contacto y variará según la densidad de masa. Esta densidad generará una mayor flexión resultante en las cerdas y con ello una diferencia en la altura de los cuerpos respecto de la base del cepillo.

Utilizando la diferencia de alturas resultante como filtro de separación, se interactuará únicamente con aquellos cuerpos (papas) que se encuentren por sobre un nivel especificado.

El flujo de material restante, en su mayoría terrones y objetos extraños que desciendan a la base del cepillo, será descartado por una vía específica. La propuesta se grafica en el esquema siguiente.

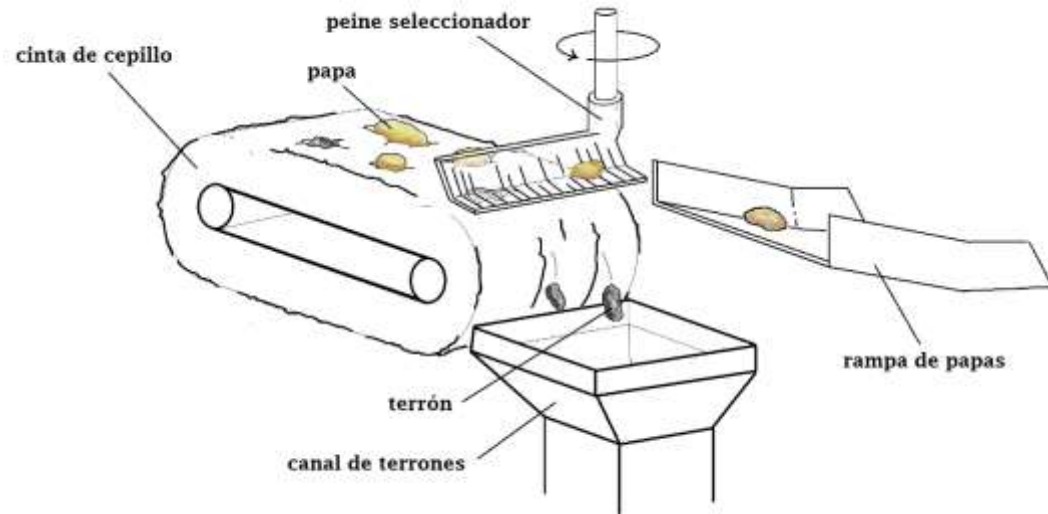


Figura 2-14: Diagrama de solución mediante separación por cepillo de cerdas.

Dado que la diferencia de alturas debe contemplar un rango de aproximadamente 8 cm, el cual se supone como el diámetro promedio de una papa modelo elipsoidal de tamaño grande, entonces cada cerda deberá someterse a grandes desplazamientos.

Decidimos, primeramente, obtener valores aproximados de longitud de la cerda y diámetro de la misma mediante el cálculo por vía manual, en este caso con una planilla de cálculo, teniendo en cuenta el modelo de pequeños desplazamientos tomando como partida el valor de la carga crítica de pandeo P_k .

Se propuso una longitud de cerda y un diámetro de la misma para la cual se obtiene un valor de carga crítica en cada cerda involucrada, para la papa en la peor condición.

Debido a las condiciones de longitud de la cerda respecto de sus posibles diámetros, el grado de esbeltez de las mismas dado por

$$G = \frac{L}{i_x} \quad (2.5.1)$$

Siendo:

$$i_x = \sqrt{\frac{Ix}{A}} \quad ; \quad L = \text{largo de la cerda}$$

Para una cerda delgada se cumple siempre:

$$G = \frac{L}{i_x} > 105$$

Es por esta razón que se utiliza el método de cálculo de Euler, donde la carga crítica P_k de pandeo, se calcula según la ecuación 2.5.2 como sigue:

$$P_k = C * \frac{\pi^2 * E * I_x}{L^2} \quad (2.5.2)$$

$C = \text{constante de empotramiento} = 1;$

$E = \text{módulo elástico del material}$

$I_x = \text{inercia de la sección en el plano de pandeo}$

$L = \text{longitud de la cerda}$

Para un volumen elipsoidal, transportable a un volumen esférico, el incremento del volumen respecto de su superficie no se comporta de manera lineal. Mientras que para una esfera el volumen depende del cubo del radio, el área superficial depende del cuadrado del mismo. Se observa este comportamiento en la figura siguiente:

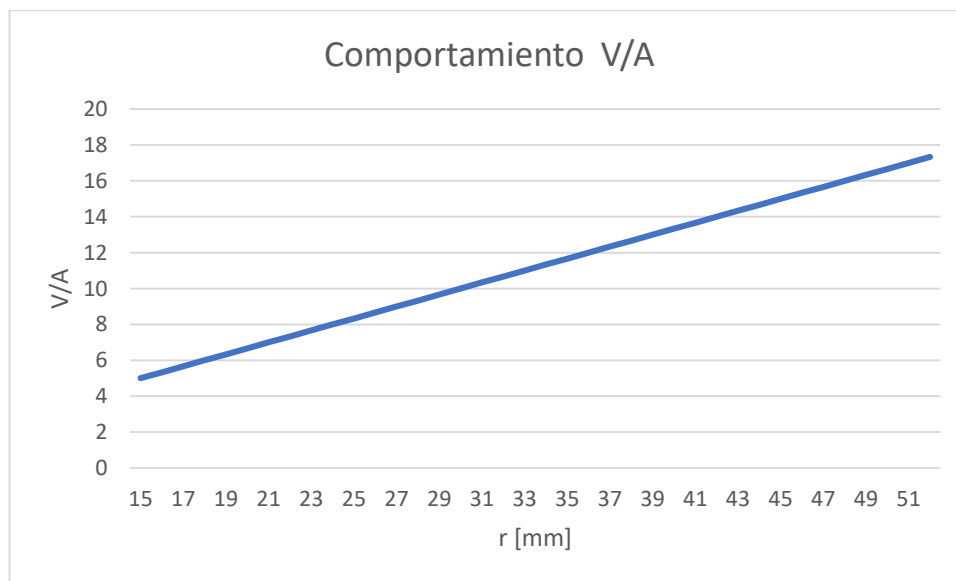


Figura 2-15: Comparación volumen vs área de un cuerpo esférico según el radio del mismo. Fuente: elaboración propia

Podemos apreciar que, al aumentar el radio del cuerpo, la relación de volumen/área del mismo no es una constante. Podríamos concluir que la mejor condición podría darse en los cuerpos con menores dimensiones, pero otro factor clave se hace presente en el diseño y se corresponde a la densidad del cepillo.

Dado que el cepillo deberá poseer una densidad de cerdas por unidad de área acorde a las condiciones externas, como la presencia de polvo y partículas pequeñas, se establece un límite mínimo tanto de densidad de cerdas como de diámetro de las mismas a fin de evitar empastamientos del sistema y acumulación de suciedad que impida la libre deformación de las mismas.

Se propone un valor mínimo de diez cerdas en contacto con el objeto y un diámetro no menor a 1mm. Esta restricción del área de contacto por unidad de área de cepillo modifica el comportamiento del cuerpo en cuanto a su área disponible en relación a su volumen.

El tubérculo en peor posición ahora es el de menor área superficial, en este caso los de tamaño pequeño.

Se recurre entonces al uso de este tamaño como situación de peor condición.

Entonces, proponiendo:

$$L = 150mm;$$

$$E = 8300 \frac{N}{mm^2} \text{ (poliéster)}$$

Calculamos según diferentes diámetros, la carga P_k sobre una cerda individual mediante la ecuación (2.5.2).

Con este dato podemos entonces calcular la cantidad de cerdas en contacto necesarias para soportar dicha carga (Q_c) mediante la ecuación 2.5.3 como sigue:

$$Q_c = \frac{P_k}{m_{papa\ ch}} \quad (2.5.3)$$

Donde:

$$P_k = \text{carga crítica de pandeo};$$

$$m_{papa\ ch} = \text{masa de la papa más chica a separar.}$$

Teniendo en cuenta que el área de contacto del elipsoide no contemplará la semi-área del mismo, se propone para las papas chicas un parche de contacto de al menos un 50% de la semi-área de la papa, tal como se muestra en la figura 2-16.

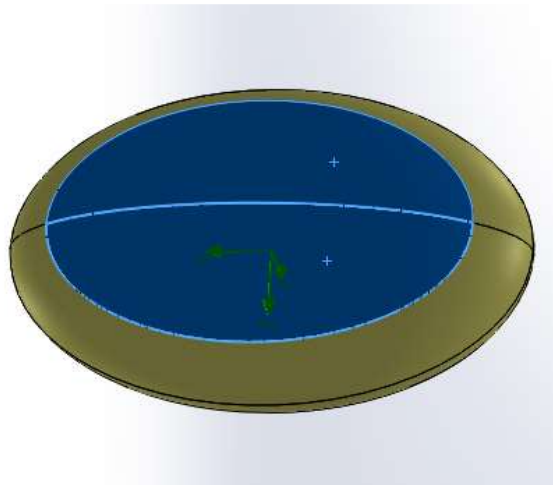


Figura 2-16: Color azul: representación del 50% de la semi área del elipsoide propuesto.

Con este dato obtendremos entonces la densidad de cerdas necesarias (2.5.4) para este caso siendo:

$$f_{cepillo} = \frac{Q_c}{A_c} \quad (2.5.4)$$

Q_c = carga sobre la cerda;

A_c = área de contacto papa – cepillo.

Con este dato, se calcula la carga sobre cada cerda individual, por el tubérculo más grande y se verifica que la misma sea menor a la carga de pandeo.

En la Tabla 2-10 se observan los valores de carga obtenidos según los diámetros propuestos.

Nótese que el diámetro máximo se da en cerdas de 0,8 mm y la carga individual por cerda para las papas grandes ($PiPg$) es siempre menor a la carga crítica (Pk).

Tabla 2-10 : Valores calculados para distintos diámetros de cerda propuestos.

G	Metodo	Díametros	PiPGg [g]	QcerdasGg	fcepillo [U/mm2]	QcerdasPch [U]	Pk [grs/U]	Ix [mm^4]
1500	EULER	0,1	0,01	86083,81	10,2792	43501,38	0,01	0,00
1000	EULER	0,15	0,04	17004,21	2,0305	8592,87	0,04	0,00
750	EULER	0,2	0,11	5380,24	0,6424	2718,84	0,12	0,00
600	EULER	0,25	0,27	2203,75	0,2631	1113,64	0,28	0,00
500	EULER	0,3	0,56	1062,76	0,1269	537,05	0,59	0,01
428,571429	EULER	0,35	1,04	573,65	0,0685	289,89	1,09	0,01
375	EULER	0,4	1,78	336,26	0,0402	169,93	1,87	0,02
333,333333	EULER	0,45	2,84	209,93	0,0251	106,08	2,99	0,03
300	EULER	0,5	4,33	137,73	0,0164	69,60	4,55	0,05
272,727273	EULER	0,55	6,35	94,07	0,0112	47,54	6,67	0,07
250	EULER	0,6	8,99	66,42	0,0079	33,57	9,44	0,10
230,769231	EULER	0,65	12,38	48,22	0,0058	24,37	13,01	0,14
214,285714	EULER	0,7	16,65	35,85	0,0043	18,12	17,50	0,19
200	EULER	0,75	21,94	27,21	0,0032	13,75	23,06	0,25
187,5	EULER	0,8	28,41	21,02	0,0025	10,62	29,85	0,32
176,470588	EULER	0,85	36,20	16,49	0,0020	8,33	38,04	0,41

Realizando el mismo procedimiento para el caso de los terrones y graficando las cargas sobre cada cerda obtenemos un gráfico como el de la figura siguiente:



Figura 2-17: Gráfico de fuerza ejercida (en gramos) sobre cada cerda para los distintos diámetros propuestos. La serie "Pk" representa la carga crítica de la cerda, equivalente a la ejercida por la papa más pequeña.

Vemos entonces que la diferencia por cerda, para un diámetro de 0,8mm es de alrededor de 15gramos por lo cual, tomaremos estos valores de entrada para obtener el desplazamiento real de la cerda y verificar su comportamiento mediante un estudio no lineal en el programa de simulación SolidWorks.

Ingresando los datos de la carga sobre la cerda y suponiendo un ángulo de 10° de ataque para la fuerza sobre la misma, se tiene entonces una deformación como se observa en la figura 2-18:

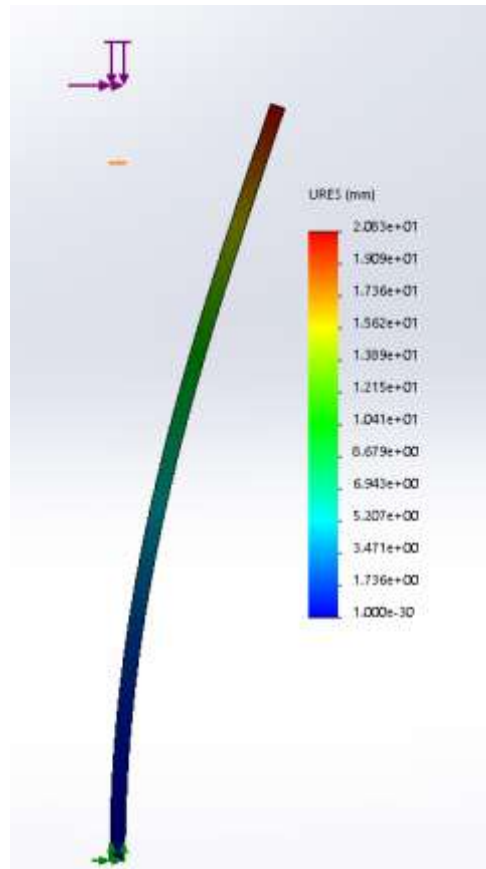


Figura 2-18: comportamiento de cerda individual al ser sometida a la carga de un terrón

Como puede apreciarse la geometría de la cerda no permite una variación en la altura sustancial para la separación, siendo realmente de unos pocos milímetros, habiendo propuesto una diferencia de al menos 80mm para considerarse efectiva la operación buscada.

En este punto de la verificación se decide abandonar la idea propuesta debido a que, de utilizarse una geometría con un diámetro menor y recurrir a una estructura con una deformación inicial, constituiría en un incremento de la complejidad del fenómeno y por ende en una merma de la cuantificación del mismo, sumada a las limitaciones de tiempo que se poseen en el presente estudio.

La decisión tomada a raíz del problema es la proposición de la investigación de un fenómeno que, utilizando las mismas propiedades específicas del conjunto, como ser la diferencia en las densidades de los elementos, contemple una mecánica más fácilmente cuantificable, como es el caso de propuesta de separación aérea que se desarrollará a continuación.

Separación de tipo neumática

La segunda opción que se abordó para la solución del problema de separación es la de la aplicación de una corriente de aire mediante la cual generar diferencias en la sustentación del material al atravesar una brecha exenta de soporte, similar al método utilizado por los equipos más complejos estudiados en el estado del arte. En esta zona, los terrones caerían siendo separados del colchón de material que avanza por el órgano separador, tal como se muestra en la imagen siguiente, donde tenemos un colchón de material que atraviesa una zona sin sustento, donde el aire es insuflado para crear la sustentación del cultivo y la caída de terrones hacia una zona de desechos.

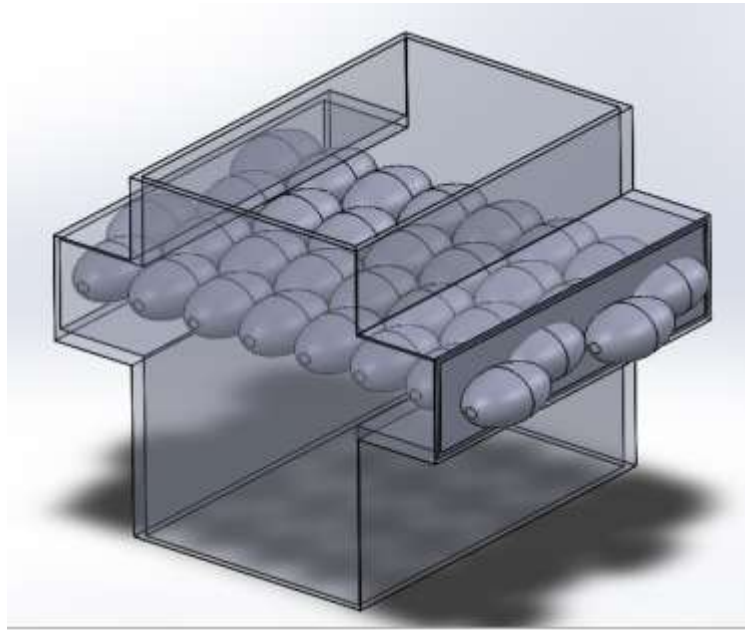


Figura 2-19: Esquema básico del órgano separador por aire. El colchón de material se encuentra con una corriente ascendente de aire insuflado que genera una flotación del cultivo y un desplome de los terrones presentes los cuales se dirigen a la zona de descarte.

El primer problema radica en la diferencia en las densidades de los elementos en juego no es suficiente para tomar un vasto volumen y asegurar la separación del mismo, como sí podría darse si se tuviesen piedras en reemplazo de terrones, tal como sucede en las consideraciones de diseño de las máquinas provenientes de Europa.

Para nuestra situación de estudio será correcto fragmentar el flujo de material por grupos, en el valor para el cual se igualen las relaciones de peso entre terrones y papas a separar, teniendo entonces mínimamente cuatro grupos como se aprecian en la tabla (2-11):

Tabla 2-11: Valores de peso de material según tamaño. Se resaltan colorimétricamente los grupos involucrados.

	masa papa [grs]	masa terron [grs]
Ggrande	542,0	837,6
	523,3	808,7
	504,6	779,8
	485,9	750,9
	467,2	722,0
	448,5	693,1
	429,7	664,1
G	411,0	635,2
	394,3	609,3
	377,5	583,5
	360,8	557,6
	344,0	531,7
	327,3	505,8
	310,5	479,9
	293,8	454,0
Gchica = Mg	277,0	428,1
	264,4	408,6
	251,7	389,0
	239,1	369,4
	226,4	349,9
	213,7	330,3
M	202,0	312,2
	187,4	289,6
	172,8	267,0
	158,2	244,4
	143,6	221,9
	129,0	199,3
	114,3	176,7
Mchica = Cg	99,7	154,1
C	91,5	141,4
Cch	70,5	109,0

Tal como se propuso en la sección de *Consideraciones iniciales*, suponemos un flujo de papas y terrones de 39 unidades por segundo para los órganos de separación.

Suponiendo una distribución homogénea de tamaños del cultivo, se tendrá entonces un caudal de material por grupo de:

$$Q_{grupo} = 39 \frac{\text{unidades}}{s} * \frac{1}{4} = 10 \frac{\text{unidades}}{s}$$

Partiendo de la base de un bloque sólido de papas de tamaño mediano, se tiene un cuerpo de volumen dado por la ecuación siguiente:

$$V_{solido} = (104mm * 3u) * (65mm * 3u) * 60mm = 3650400 \text{ mm}^3 = 0.0035 \text{ m}^3$$

Dicho bloque constaría de un peso de:

$$P = 0.0035 \text{ m}^3 * \frac{1,1g}{\text{cm}^3} * \left(\frac{100^3 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} \right) = \mathbf{4015g}$$

Y un área de:

$$A = (104\text{mm} * 3u) * (65\text{mm} * 3u) = 60840\text{mm}^2 * \left(\frac{1\text{m}}{1000^2\text{mm}^2} \right) = \mathbf{0.0608 \text{ m}^2}$$

Utilizando la ecuación de la fuerza de arrastre del sólido para obtener la fuerza ejercida sobre cada papa se obtiene:

$$Fd = Cd * A_{papaM} * \left(\frac{fV^2}{2} \right) \quad (2.5.5)$$

Cd = coeficiente de arrastre; f = densidad del aire

$$A_{papaM} = \text{semiárea proyectada de papa mediana} = 65\text{mm} * 100\text{mm} = 6500\text{mm}^2 \\ = 0,0065\text{m}^2$$

Con ello despejando se obtiene una velocidad del viento de:

$$V = \sqrt{\frac{\left(4,015 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} * 2 \right)}{0,9 * 0.06\text{m}^2 * 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = \mathbf{11,13 \frac{\text{m}}{\text{s}}}; \text{ siendo}$$

Cd = coeficiente de arrastre para cuerpo tipo caja = 0,9 ;

$$f = \text{densidad promedio del aire} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Si calculamos el caudal de aire necesario como indica la ecuación 2.5.6 tendremos entonces, un caudal de:

$$Q_{aire_{tot}} = V * A \quad (2.5.6)$$

$$Q_{aire_{tot}} = 11,13 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,06 \text{ m}^2 = 0,67 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx \mathbf{0,7 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

- Potencia mínima de los sopladores:

El segundo inconveniente radica en la potencia necesaria de los sopladores.

Teniendo en cuenta el tipo de aplicación agrícola, se decide la implementación de un soplador accionado hidráulicamente, debido a que presenta relativamente pocas piezas, posee una regulación precisa de la velocidad y la capacidad de utilizar el sistema hidráulico propio del tractor.

Tomando como referencia al fabricante DYNASET, el mismo propone tres modelos de sopladores hidráulicos, como se observa en el siguiente cuadro.

Tabla 2-12: valores de flujo, presión hidráulica y caudal hidráulico de los tres modelos de sopladores.

Fuente: Dynaset

HCF MODEL		HCF-800-40	HCF-1500-50	HCF-3400-90
OUTPUT CHARACTERISTICS				
Max air vacuum	kPA	-11	-9	-8
Max air flow	m³/s	0,8	1,5	3,4
HYDRAULIC CONNECTION				
Pressure line P	P	BSPP 1/2"	BSPP 1/2"	BSPP 1/2"
Return line T	T	BSPP 1/2"	BSPP 1/2"	BSPP 1/2"
HYDRAULIC POWER REQUIREMENTS				
Flow max.	l/min (gpm)	40 (10.6)	50 (13.2)	90 (23.8)
Pressure max.	bar (psi)	150 (2200)	210 (3000)	250 (3600)
HYDRAULIC FLUID REQUIREMENTS				
Viscosity	cSt	10-200 / optimum 25-35		
Temperature	°C (°F)	max. 70 (158)*		
Filter ratio	um	25 or better		

Teniendo que la potencia hidráulica útil del soplador se calcula mediante la ecuación 2.5.7:

$$N_{vent} = Q * \frac{P}{600} \quad (2.5.7)$$

Siendo:

$$Q = \text{caudal} \left[\frac{l}{min} \right] ; \quad P = \text{presión del sistema} [bar]$$

Tenemos entonces un requerimiento de potencia de:

$$N_{vent_i} = 50 * \frac{210}{600} = 17,5 \text{ Kw} * \frac{1HP}{746W} * 1000 = \mathbf{23,45 HP}$$

Calculando linealmente la relación de potencia necesaria, para el caudal requerido, tendríamos entonces:

$$N_v = \frac{23,45 \text{ HP} * 0,7 \frac{m^3}{s}}{1,5 \frac{m^3}{s}} = 10,945 \approx \mathbf{11 \text{ HP}}$$

En el caso de este tipo de separación, requiere de cuatro caudales individuales de material, por lo tanto, de la utilización de cuatro de estos equipos. Como consideración general se propone como potencia promedio este valor, dado que el grupo de papas más pequeñas necesitará un valor menor de caudal de aire, mientras lo contrario ocurrirá con el grupo de las de mayor tamaño.

Tendríamos entonces una potencia total de aproximadamente:

$$N_{separación} = 4 * N_v = 4 * 11 \text{ HP} = \mathbf{44 \text{ HP}}$$

Lo cual genera un consumo de potencia que sobrepasa las condiciones de contorno dadas según el rango de potencia del tractor a utilizar, siendo que, restando el valor de potencia consumida por los órganos restantes de la máquina y la potencia tractiva, se poseen disponibles alrededor de 38 HP.

Se debe de tener en cuenta que este fenómeno se cuantificó en base a un bloque rectangular, sin tener en cuenta los factores geométricos del material que requerirían un mayor caudal de aire necesario, debido a que, al presentarse curvaturas menos pronunciadas y la presencia de huecos entre los elementos ordenados, el valor del coeficiente de arrastre disminuiría, debiendo por lo tanto aumentar la velocidad y, por ende, el caudal de aire necesario.

Por esta razón se decide continuar con la propuesta, esta vez, planteando una mejora en el sistema a fin de reducir el consumo de potencia necesaria y cumplir con el objetivo planteado para las condiciones de contorno del problema.

Mejora en la propuesta de separación aérea

Se decide entonces buscar una alternativa con la menor cantidad de potencia consumida posible. Para ello se propuso la separación del material por tiro parabólico, generando un chorrillo de material que se ve afectado por una corriente de aire ascendente, como en el planteo original, la cual genera un cambio en la trayectoria de los sólidos y con ello una separación de los mismos por diferencia en la distancia de caída.

En la imagen siguiente se visualiza un esquema de funcionamiento del sistema propuesto:

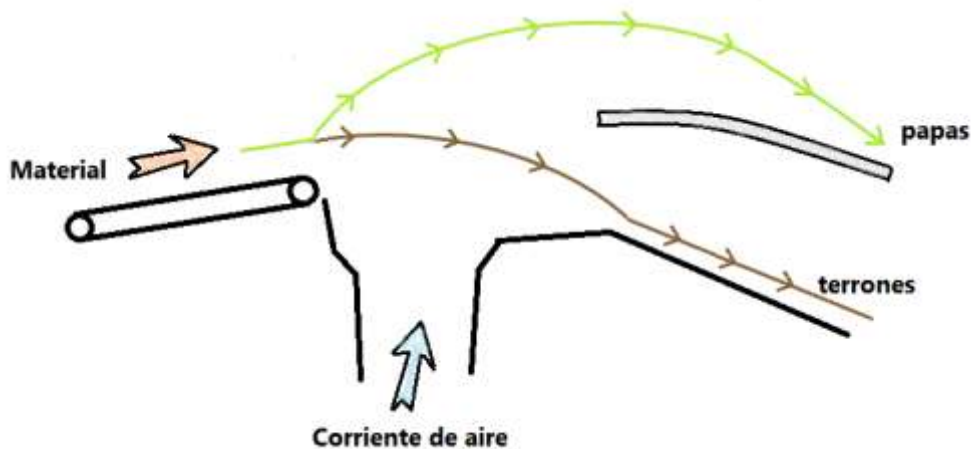


Figura 2-20: sistema de separación por tiro parabólico propuesto. A la izquierda la entrada de material por una cinta acarreadora. Desde la zona inferior aire insuflado empuja el material cambiando su trayectoria. Fuente: elaboración propia.

Con ello surgen las siguientes ventajas:

- Se evita la utilización de grandes búferes de material.
- Dado que no se necesita de un caudal fijo de material ordenado, se puede utilizar un mismo ventilador para dos o más grupos distintos de elementos a separar. Con un pequeño buffer, los grupos de material pueden llegar a atravesar un mismo ventilador variando el caudal insuflado, alternándose cada cierta cantidad de elementos.
- Variabilidades en el caudal de material, tanto mayores como menores, pueden ser absorbidas por el sistema.

- Verificación de caudal de aire necesario

Para este caso, primeramente, se recurrió a un cálculo de factibilidad mediante una hoja de cálculo, en donde se obtuvieron por iteración distintos valores de presión necesaria en cada sub grupo para obtener una diferencia aceptable en la distancia de caída de los elementos que se consideró de al menos 10 cm.

Para ello se utilizaron las ecuaciones básicas de tiro parabólico, utilizando valores prefijados de distancia horizontal "X" e iterando hacia adelante, tomando como referencia la altura anteriormente obtenida como el nuevo valor de h_i .

Se tiene entonces la ecuación general 2.5.8 como sigue:

$$y = \frac{h_i + V_i * \tan(\alpha) - (g - \frac{P * A}{M})}{2 * V_i^2 * \cos^2 \alpha} \quad (2.5.8)$$

Siendo:

H_i : distancia en el eje y inicial

V_i : módulo de la velocidad inicial

α : ángulo inicial

M : masa del objeto

P : presión en la superficie efectiva de interacción

A : área de la superficie efectiva de interacción

El segundo término de la ecuación se utilizó para notar la incidencia de la presión ejercida por el aire en la modificación de la gravedad del sólido en juego, siendo entonces la presión un reductor del efecto de la gravedad en el trayecto donde el aire forzado afectará al sólido.

Velocidad de aire necesaria

Para aproximar la velocidad de aire necesaria, tomamos nuevamente la ecuación 2.5.8 para la fuerza de arrastre de un sólido y despejamos una velocidad necesaria del aire para generar sustentación en una papa mediana de 201g de peso teniendo en cuenta una forma cercana a la esferoidal:

$$V_{airePmed} = \sqrt{\frac{(2 * F)}{C_d * A_{papaM} * f}} \quad (2.5.9)$$

$$C_d = 0.47 \text{ (esfera)};$$

$$f = 1,2 \frac{kg}{m^3};$$

$$A_{papaM} = \text{semiárea proyectda de papa mediana} = 0,0065m^2 ;$$

$$F = \text{fuerza de sustentación necesaria} = \text{peso de la papa} = 201g$$

Entonces se tiene:

$$V_{airePmed} = \sqrt{\frac{\left(0,201 \frac{kgm}{s^2} * 2\right)}{0,47 * 0,0065m^2 * 1,2 \frac{kg}{m^3}}} = 10,98 \frac{m}{s} \approx \mathbf{11 \frac{m}{s}}$$

La distancia “X” hasta la cual se afecta al sólido en movimiento se ve limitada por el caudal máximo que se tiene disponible. En este caso se toma nuevamente como referencia el ventilador hidráulico de la marca DYNASET propuesto anteriormente, donde el fabricante especifica un valor de referencia de 1,5 m³/s.

Se calcula entonces la máxima longitud horizontal de incidencia del aire para cumplir con este caudal máximo como sigue:

$$X_{máx} = \frac{Q_{max}}{V_{airePmed} * b} \quad (2.5.10)$$

$$X_{máx} = \frac{1,5 \frac{m^3}{s}}{11 \frac{m}{s} * 0,25m} = \mathbf{0,54 m}$$

Se propone entonces una longitud de garganta:

$$X_{garganta} = \mathbf{0,3m}$$

Este valor será utilizado para, mediante una tabla de cálculo encontrar el valor de presión necesaria sobre la superficie del sólido para generar un cambio en la trayectoria tal que modifique su distancia X de caída en al menos 10 cm.

▪ Clasificación del material

Tal como en la sección anterior, se debe de realizar una clasificación del material por grupos, a fin de lograr una correcta separación de los mismos, debido a que los caudales de aire insuflados tendrán un valor fijo para cada grupo. En el caso actual, el material se encuentra en su trayectoria con un caudal de aire ascendente rodeado completamente por el mismo, lo que genera que el área externa del sólido juegue un papel fundamental. Como se vio anteriormente, para un cuerpo esferoidal, la relación área-volumen disminuye respecto a la masa del objeto, lo que significa que los elementos de menor tamaño necesitarán un caudal de aire menor por unidad de masa.

Para contemplar dicho fenómeno, se propuso el cálculo del caudal necesario para cada tamaño, tomando como referencia un empuje del 100% del peso del objeto y el área insuflada propuesta anteriormente de:

$$A_{ins} = X * b = 0,3m * 0,25m = \mathbf{0,075m^2}$$

X: Longitud propuesta de incidencia; b: ancho propuesto de la compuerta

Se compararon porcentualmente las diferencias de caudal necesario entre cada terrón y el valor necesario para la papa de mayor tamaño. Se propuso entonces delimitar los grupos cuando la diferencia porcentual entre ellos descendiese hasta el quince por ciento, generando un margen que asegure que la papa más pesada obtendrá una trayectoria por encima del terrón más liviano del grupo, evitando el solapamiento de las trayectorias.

El esquema de separación se aprecia en la tabla siguiente (2-13):

Tabla 2-13: Clasificación del material según el caudal teórico necesario.

Tamaño	masa papa [grs]	masa terron [gr]	Grupo
Ggrande	542,0	837,6	A
	523,3	808,7	
	504,6	779,8	
	485,9	750,9	
	467,2	722,0	
	448,5	693,1	
	429,7	664,1	
G	411,0	635,2	
	394,3	609,3	
	377,5	583,5	
	360,8	557,6	
	344,0	531,7	
	327,3	505,8	
	310,5	479,9	
	293,8	454,0	
Gchica = Mg	277,0	428,1	B
	264,4	408,6	
	251,7	389,0	
	239,1	369,4	
	226,4	349,9	
	213,7	330,3	
M	202,0	312,2	
	187,4	289,6	C
	172,8	267,0	
	158,2	244,4	
	143,6	221,9	
	129,0	199,3	
	114,3	176,7	D
Mchica = Cg	99,7	154,1	
C	91,5	141,4	
Cch	70,5	109,0	

Para esta situación, se propusieron valores iniciales iguales para los cuatro grupos, como ser:

$$\text{Velocidad inicial} = V_{\text{inicial}} = 2,5 \frac{m}{s}$$

$$\text{Angulo de tiro respecto a la horizontal} = \alpha = 10^\circ$$

$$\text{Altura inicial} = h_i = 0,4m$$

Por su parte los valores de caudal necesarios se propusieron como el promedio del necesario por grupo, quedando entonces los valores iniciales como siguen:

Tabla 2-14: Caudales de aire necesarios teóricos para los distintos grupos de papas.

Tamaño	Grupo	Q [m3/s]
Gg - Mg	A	1,1
Mg - M*	B	1
M* - Cg	C	0,9
Cg - Cch	D	0,85

Con estos valores de caudal se tienen, las presiones propuestas que generan un empuje del doble del peso del objeto, quedando entonces los valores de presiones por grupo tomando el valor del objeto más pesado como sigue:

$$\text{Grupo A (Gg):} \quad E_{PG} = 2 * \frac{0,542kgf}{\frac{0,016m^2}{2}} * 9,81 = 1328 Pa$$

$$\text{Grupo B (Mg):} \quad E_{PMg} = 2 * \frac{0,277kgf}{\frac{0,010m^2}{2}} * 9,81 = 1086 Pa$$

$$\text{Grupo C (M*):} \quad E_{PM*} = 2 * \frac{0,173kgf}{\frac{0,0075m^2}{2}} * 9,81 = 905,15 Pa$$

$$\text{Grupo D (Cg):} \quad E_{PCh} = 2 * \frac{0,0997kgf}{\frac{0,0055m^2}{2}} * 9,81 = 711,35 Pa$$

Con estos valores se obtienen las trayectorias de caída como muestra la figura (2-21):

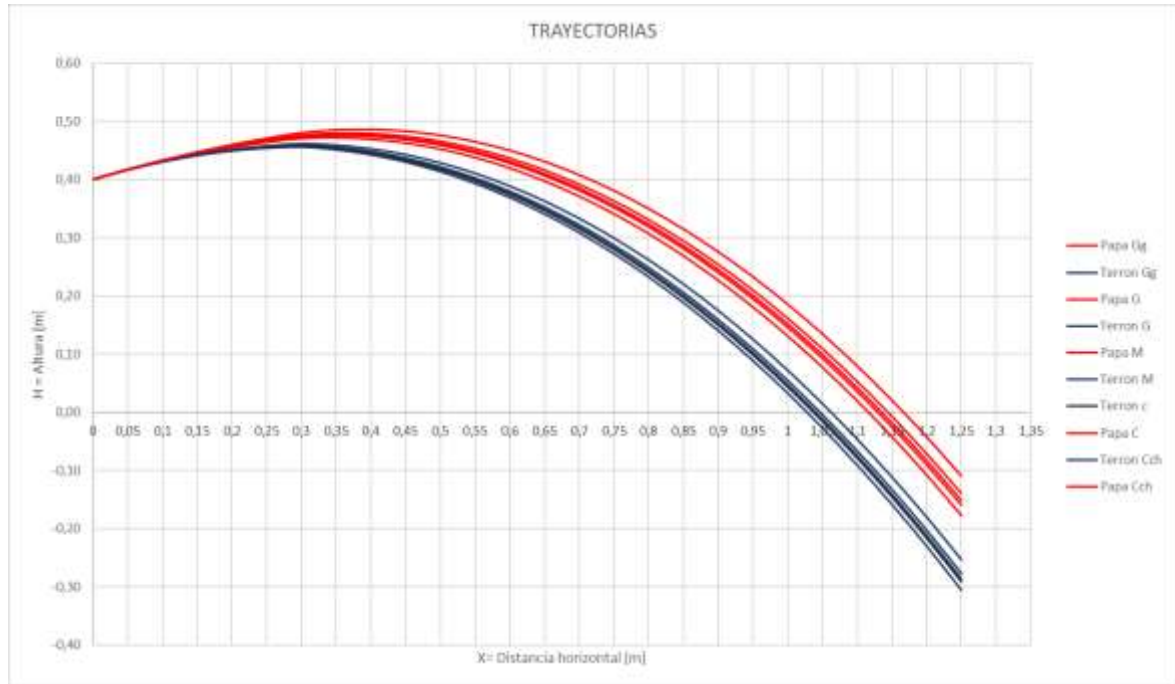


Figura 2-21: Trayectoria de los elementos para una altura inicial de 40 centímetros y presiones en las superficies de 380Pa, 300Pa y 200Pa para los objetos de tamaño grande, mediano y chico respectivamente.

Entonces, Podemos afirmar que los valores de caudal a priori se encuentran dentro de los valores de caudal límite necesarios según el equipo seleccionado, necesitando de una potencia hidráulica a priori calculada como sigue, haciendo la relación de la potencia conocida de un separador de 1,5 m³/s:

$$N_{venti} = 50 * \frac{210}{600} = 17,5 \text{ Kw} * \frac{1HP}{746W} * 1000 = \mathbf{23.45 HP}$$

Calculando linealmente la relación de potencia necesaria para los caudales dados en la tabla 2-13 tenemos:

$$N_{Cg-M'} = \frac{23,45 \text{ HP} * 0,9 \frac{m^3}{s}}{1,5 \frac{m^3}{s}} \approx \mathbf{14,07 HP}$$

Donde:

$$N_{Cg-M'} = \text{potencia máxima necesaria para el conjunto separador C - D}$$

Y siendo:

$$N_{Mg-Gg} = \frac{23,45 \text{ HP} * 1,1 \frac{m^3}{s}}{1,5 \frac{m^3}{s}} \approx \mathbf{17,2 \text{ HP}}$$

Donde:

$$N_{Mg-Gg} = \text{potencia máxima necesaria para el conjunto separador A - B}$$

Teniendo entonces una potencia necesaria total de:

$$N_{Totsep} = (14,07 + 17,2) \text{ HP} = \mathbf{31,3 \text{ HP}}$$

Clasificando entonces como una opción válida para la solución del problema, teniendo un consumo de potencia menor al límite disponible de 34HP propuesto.

- Verificación del caudal de material

Para cuantificar la cantidad de material que se traslada a través del órgano de separación se tiene en cuenta la velocidad de entrada del material y se propone una separación entre elementos de, al menos 4 cm.

Por lo tanto, se tiene una cantidad de elementos de:

$$E = \frac{V_i}{0,1 \text{ m}} = \frac{2,5 \frac{m}{s}}{0,1 \frac{m}{\text{unidad}}} = \mathbf{25 \frac{\text{unidades}}{s}}$$

Siendo:

$E = \text{cantidad de unidades de material por segundo en el separador};$

$V_i = \text{velocidad tangencial de la cinta eyectora del material}$

Este valor es suficiente para proveer una separación doble de material, es decir, pudiendo utilizar un único soplador para dos tamaños de material distintos, cumpliendo con el valor aproximado de 10 unidades por segundo por cada grupo de material, con lo que se puede generar un ahorro sustancial de potencia al conjunto.

Diseño del soplador y verificación

El segundo inconveniente que se presenta al diseñar el equipo es la geometría del encausador de aire siendo que, según el catálogo del ventilador, el área de la boca de salida ronda los 150x200mm, es decir un área de salida de:

$$A_{soplador} = 150mm * 200mm = 30000mm^2 = 0,03 m^2$$

Con ello, siendo el área de cobertura propuesta de:

$$A_{cobertura} = 300mm * 250mm = 0,074m^2$$

Se tiene una diferencia sustancial, que deberá de ser corregida mediante un estrangulamiento del flujo de aire.

Se realizaron distintas pruebas con distintos tipos de encausadores, siendo la solución una geometría en forma de jota, como muestran las siguientes figuras 2-22 y 2-23.

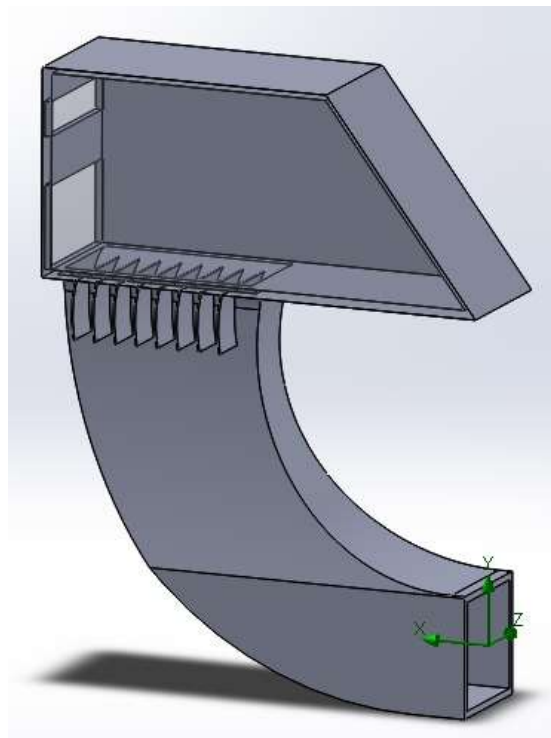


Figura 2-22: geometría básica del soplador tipo jota.

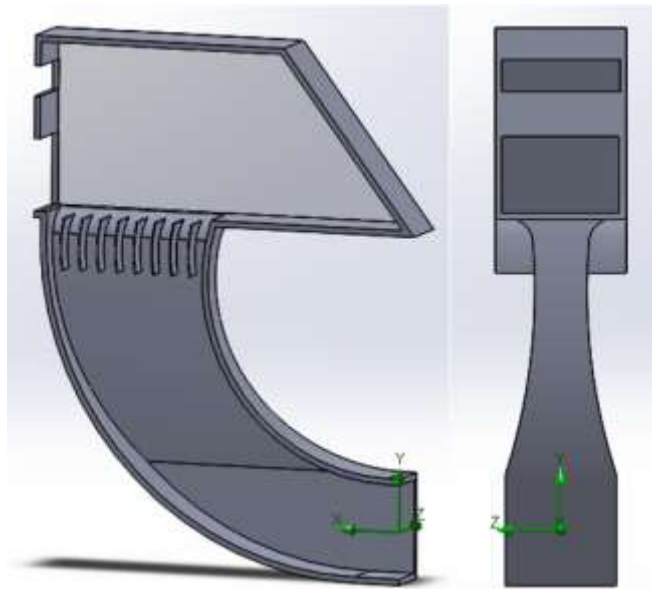


Figura 2-23: geometría básica del soplador tipo J. A la izquierda, corte parcial, apreciándose los deflectores internos. A la derecha, vista lateral. Se aprecia el estrangulamiento del cuello provocando la aceleración del flujo de aire.

Simulación del fenómeno

Para la verificación del fenómeno involucrado se realizarán dos tipos de simulaciones. Las mismas comprenden en primera instancia un análisis de flujo dentro del soplador, donde se calculará el caudal de aire necesario y la presión ejercida sobre los cuerpos atravesados por el mismo. Se obtendrán valores de fuerza en el eje vertical sobre el centro de masa en seis puntos fijos de la trayectoria del objeto.

En segunda instancia se realizará un análisis de movimiento, utilizando las condiciones de contorno propuestas e insertando la función de fuerza vertical sobre el centro de masa, para terrones y papas, obteniendo las trayectorias de los mismos.

Análisis de flujo

- Condiciones de borde

Para este análisis se tomarán las siguientes consideraciones:

- El flujo proveniente del ventilador se supone desarrollado.
- Las fuerzas obtenidas en la dirección de avance serán ignoradas, debido a que, como se desarrolló en el apartado anterior, dichas fuerzas no afectarán a la diferencia en las trayectorias entre papas y terrones debido a que no tienen incidencia en la ecuación de tiro parabólico.
- Tanto la abertura de entrada del material como la tapa superior y frontal del separador se propondrán abiertas a la atmósfera, por lo que como condición de borde se tendrá el valor de presión atmosférica. En las siguientes figuras se aprecian dichas condiciones de contorno propuestas.

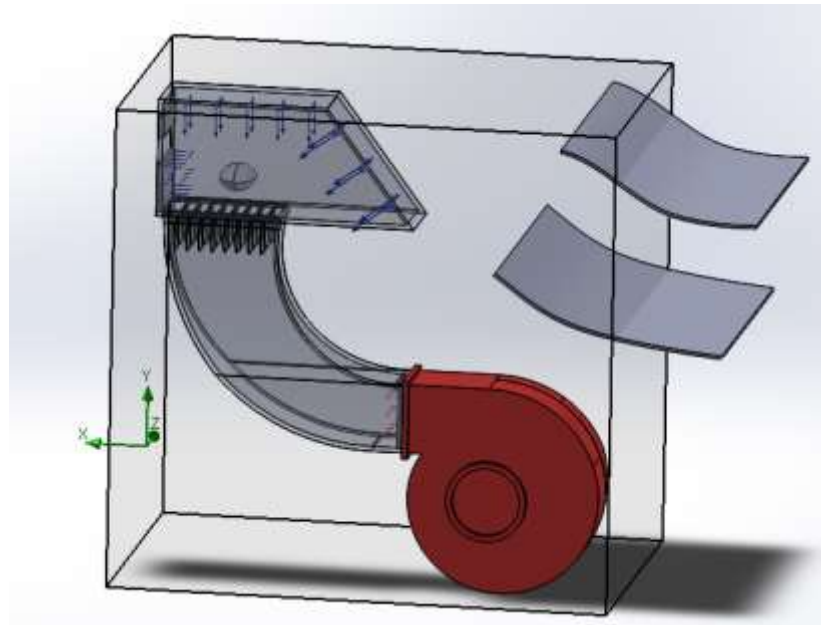


Figura 2-24: Condiciones de contorno para la simulación de flúidos.

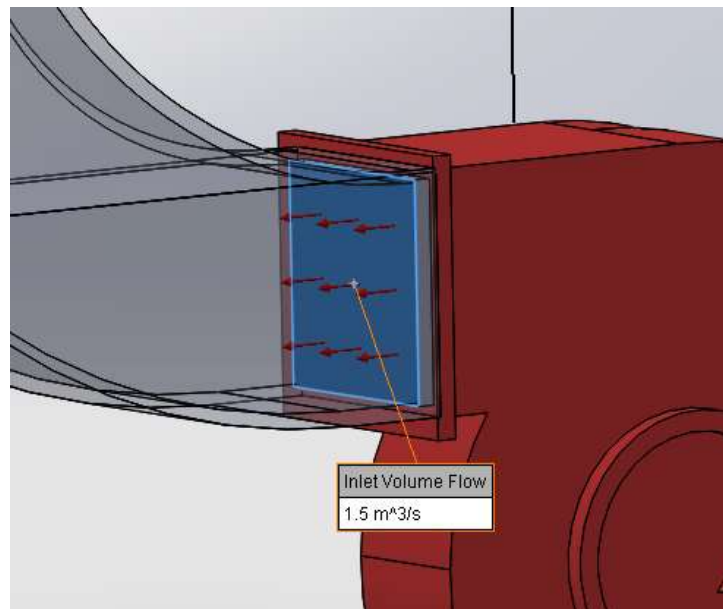


Figura 2-25: Condición de borde para el flujo volumétrico saliente del soplador. Se propone un flujo desarrollado.

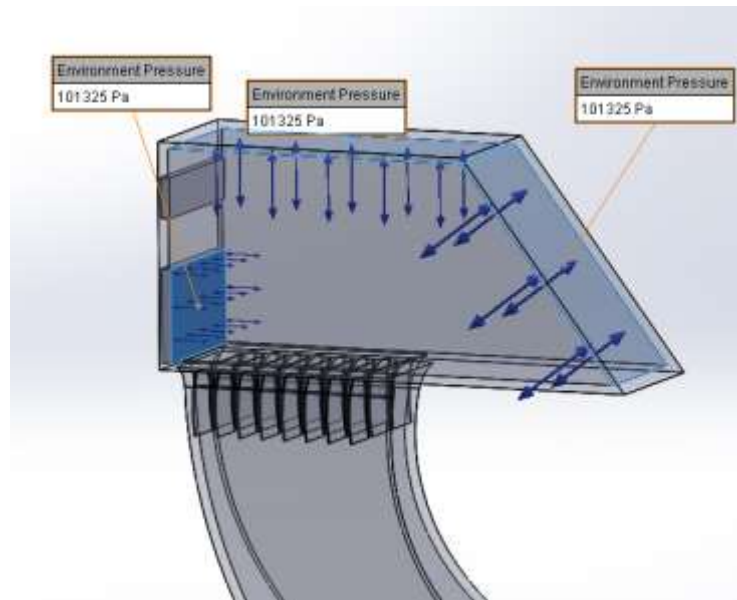


Figura 2-26: Condiciones de borde para la presión. Se observa la apertura izquierda por la cual ingresa el material, y las tapa superior y lateral derecha las cuales se encuentran completamente abiertas.

- Diseño de los deflectores:

Para este tipo de geometría, el flujo transversal es consistente, pero el cambio de dirección del flujo genera una laminación del mismo sobre la zona de entrada del material, afectando al área de acción del mismo sobre el material que atraviesa el equipo, como se aprecia en la figura siguiente, para el caso del caudal máximo del soplador de 1,5 metros cúbicos por segundo:

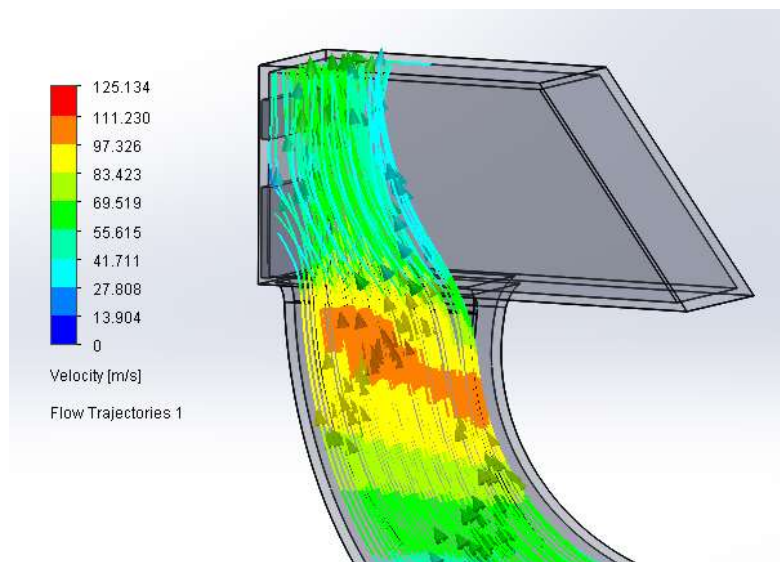


Figura 2-27: Comportamiento del flujo sin la presencia de deflectores. Se observa una buena aceleración del flujo, pero una rotación del mismo, el cual se lamina hacia la zona lindante a la entrada del material.

Con la presencia de los deflectores se corrige la desviación del flujo, obteniendo una longitud horizontal efectiva mayor y una disminución de la turbulencia. Si bien se perderá presión dinámica en la primera etapa del recorrido, se aumentará el tiempo en el cual el material se encuentre en presencia del flujo ascendente. En la siguiente figura se observa la mejora en la dirección del flujo.

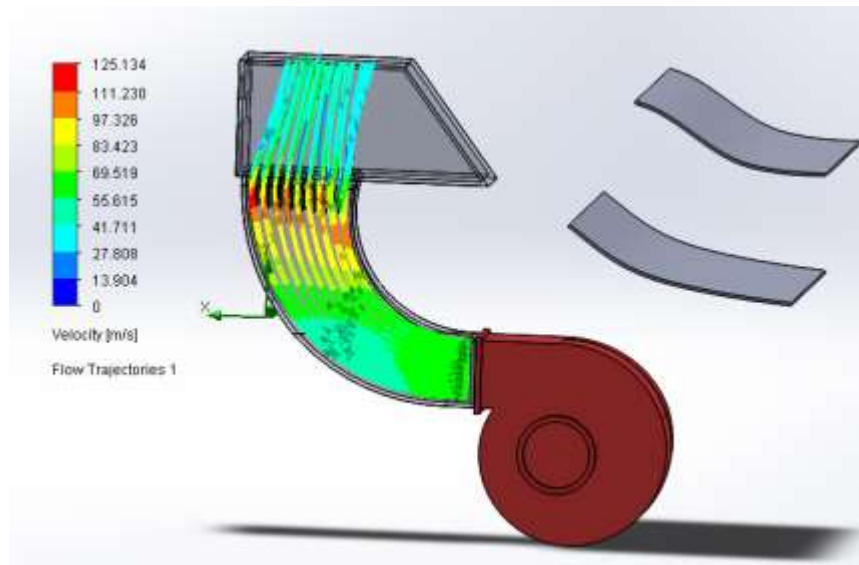


Figura 2-28: Corrección de la dirección del flujo mediante superficies deflectoras del flujo, las cuales fuerzan a la apertura del mismo, abarcando mayor longitud horizontal.

Dichos deflectores o paletas constan de superficies paralelas entre sí, con el único objetivo de laminar el fluido en la dirección deseada, evitando la acumulación del mismo en la zona posterior del equipo. Las medidas aproximadas de los mismos se encuentran diagramadas en la figura siguiente (2-29).

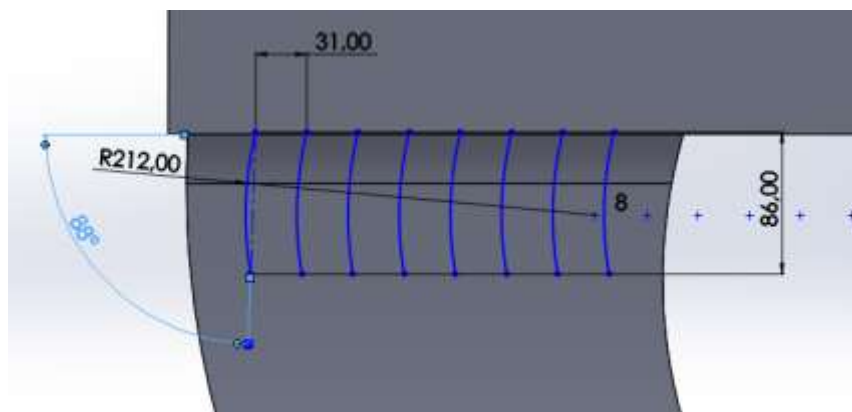


Figura 2-29: Disposición de los encausadores de aire en el separador

- Toma de datos

Para cuantificar el fenómeno entonces, se propuso la realización de un croquis que contiene seis puntos de evaluación separados entre sí por una longitud de 60mm, como se aprecia en la figura siguiente. Se eligió esta separación en relación a la velocidad de impulsión de material teniendo en cuenta que a 2,5 m/s el tiempo recorrido entre puntos adyacentes será de 0,125 segundos.

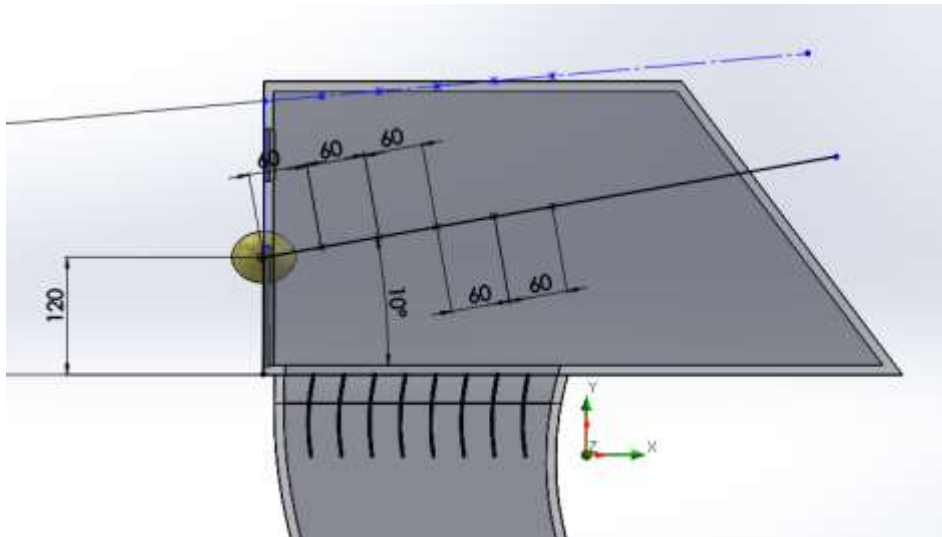


Figura 2-30: Croquis con puntos de evaluación para la cuantificación del fenómeno de flotación.

Obtención de las fuerzas y presiones involucradas

Se colocó a la muestra de tamaño Cg centrada lateralmente en el equipo y coincidente con las marcas propuestas. Se evaluó en los seis puntos propuestos el valor de fuerza sobre el centro de gravedad del objeto y se verificó la presión media aproximada sobre la superficie para comparar con los valores obtenidos teóricamente. Paralelamente, se ingresaron los valores de fuerza en las distintas posiciones de muestra en un estudio de movimiento donde se verificó su efectividad en la variación de la trayectoria. En las figuras siguientes se toma como ejemplo el tercer punto de evaluación para mostrar los valores obtenidos y el comportamiento de la fuerza aplicada sobre el centro de masa debido a la interacción con el flujo.

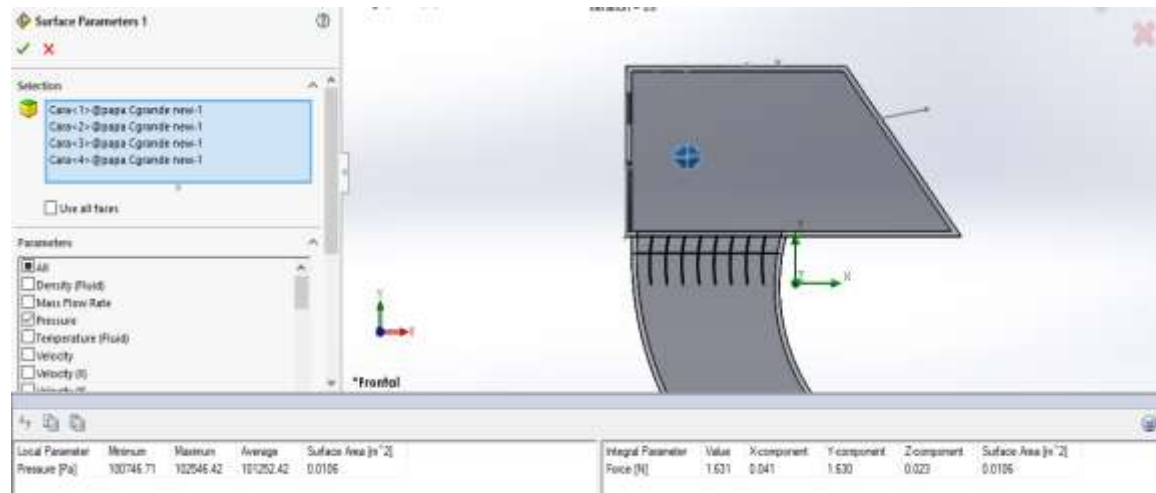


Figura 2-31: Extracto de la simulación de flúidos en el programa Solidworks. Se pueden apreciar los valores de presión y fuerza vertical sobre el objeto.

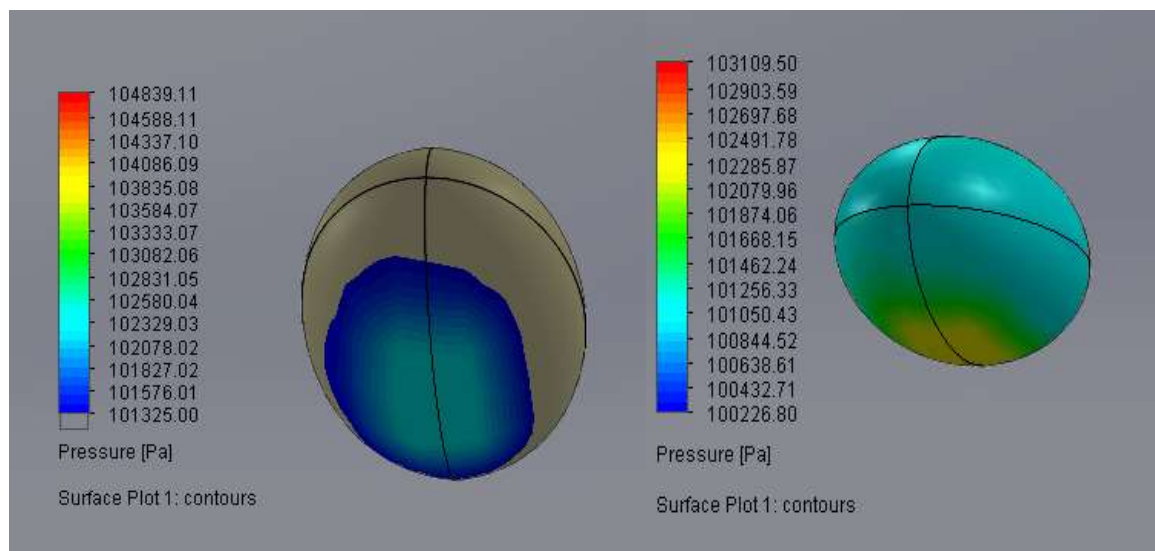


Figura 2-32: Valores de presión sobre la superficie del objeto. A la izquierda, zona aproximada de un cuarto del área que se toma como referencia para la verificación de la presión sobre el objeto en los cálculos teóricos. A la derecha distribución de presiones en el objeto. Se muestra una reducción de presión en los laterales del mismo y en la zona superior.

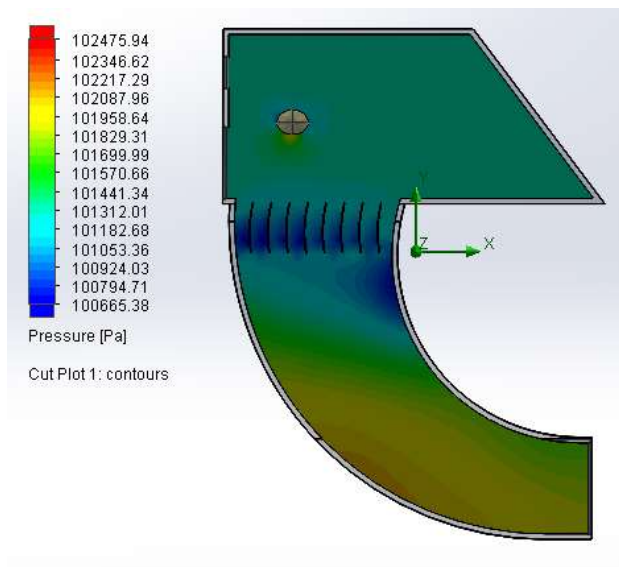


Figura 2-33: distribución de presión en el separador. Se observa la caída de presión en la zona de garganta del mismo, donde el flujo se acelera, de igual manera en la zona de los deflectores. Se observa el comportamiento del objeto frente a la corriente de aire, generando una presión positiva en la zona inferior y un efecto de succión sobre su superficie superior, favoreciendo el efecto de flotación.

Debido al comportamiento de la presión generada sobre el objeto vistos en las figuras anteriores tendremos entonces, lógicamente un efecto de flotación superior al calculado manualmente. En la siguiente figura se muestra la función obtenida para las fuerzas ascendentes aplicadas a la papa C_g para un caudal de $0,85 \text{ m}^3/\text{s}$ como se propuso en el apartado anterior.

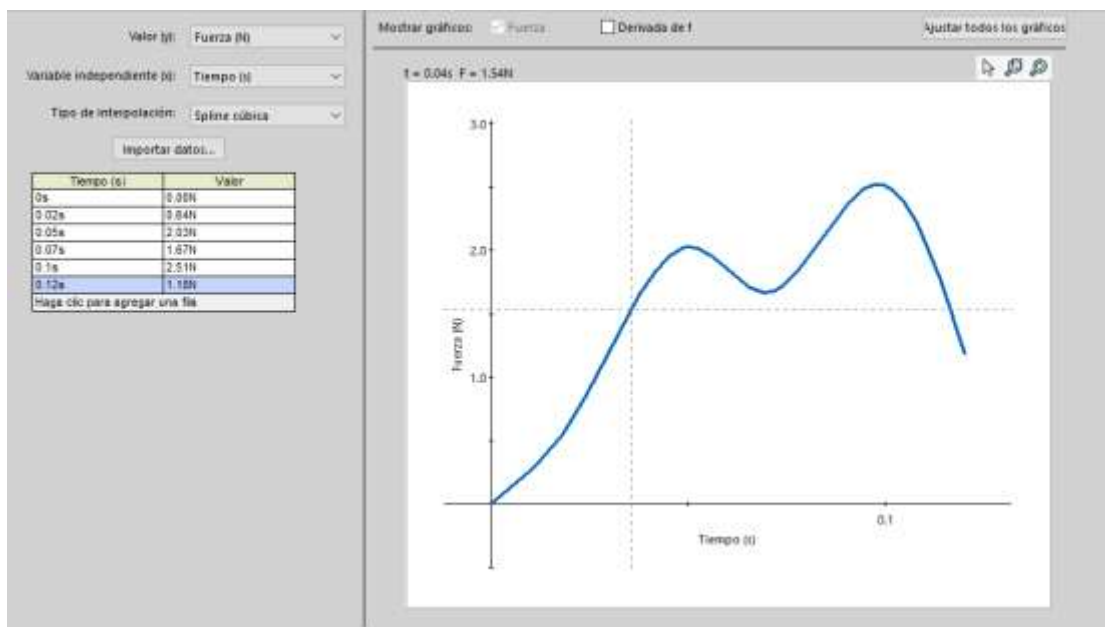


Figura 2-34: Curva de distribución de la fuerza sobre el centro de masa de una papa C_g para un caudal teórico de $0,85 \text{ metros cúbicos por segundo}$.

Calculando la integral de esta curva como el área debajo de la misma mediante el programa *Solidworks* se tiene un área adimensional de 191777 unidades, como se aprecia en la figura siguiente.

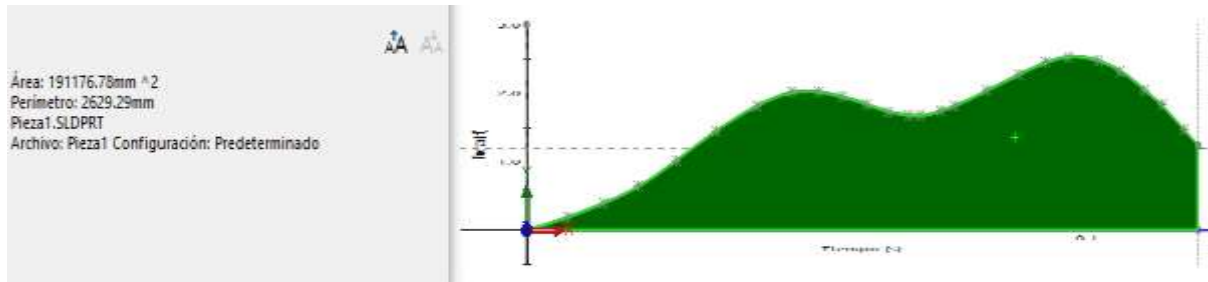


Figura 2-35: Cálculo de la integral de la función mediante el área adimensional bajo la curva.

Teniendo las siguientes dimensiones:

- Eje y: 300 unidades, equivalentes a 3 N de carga aplicada
- Eje x: 1200 unidades, equivalentes a 0,12 segundos de vuelo

Se obtiene entonces un promedio de:

$$F_{prom} = \frac{A_{curva}}{T} = \frac{191177}{1200} = 160 \text{ unidades}$$

Equivalentes a:

$$F_{prom} = 160u * \frac{3N}{300u} = 1,6 N = \mathbf{160g}$$

Esta fuerza es superior a la teórica propuesta de 99,7 gramos, teniendo entonces una fuerza ascendente del orden de un 60 por ciento mayor a la teórica estipulada.

Dada la situación obtenida y para evitar la generación de flotaciones excesivas del material las cuales modifiquen su trayectoria, más precisamente su altura máxima desarrollada comprometiendo la integridad de los tubérculos, se corregirán los valores de flujo tomando como referencia este dato teórico obtenido, para, en consecuencia insertar el mismo como valor inicial en los estudios de simulación de fluidos, disminuyendo progresivamente los valores del mismo hasta alcanzar una trayectoria que satisfaga la separación efectiva del conjunto.

Valores finales de fuerzas y caudales de aire necesarios

En este apartado se muestran los valores finales de fuerzas obtenidos para caga grupo, habiendo, iterativamente, propuesto valores inferiores de caudal necesario partiendo del valor teórico. Los caudales finales necesarios se muestran a continuación en la tabla 2-14.

Tabla 2-15: Valores de caudales de aire final obtenidos.

Tamaño	Grupo	Q [m3/s]	Separador
Ggrande	A	1,2	1
G			
Gchica = Mg	B	1	
M			
M'	C	0,8	
Mchica = Cg	D	0,7	2
C			
Cch			

Los resultados obtenidos para las variaciones de fuerza aplicada sobre el centro de masa del objeto, en el tiempo de vuelo se muestran a continuación en las sucesivas figuras 2-36 a 2-43:

Separador 1:

- Grupo de separación B ($M' - Mg$; $1 \text{ m}^3/\text{s}$)

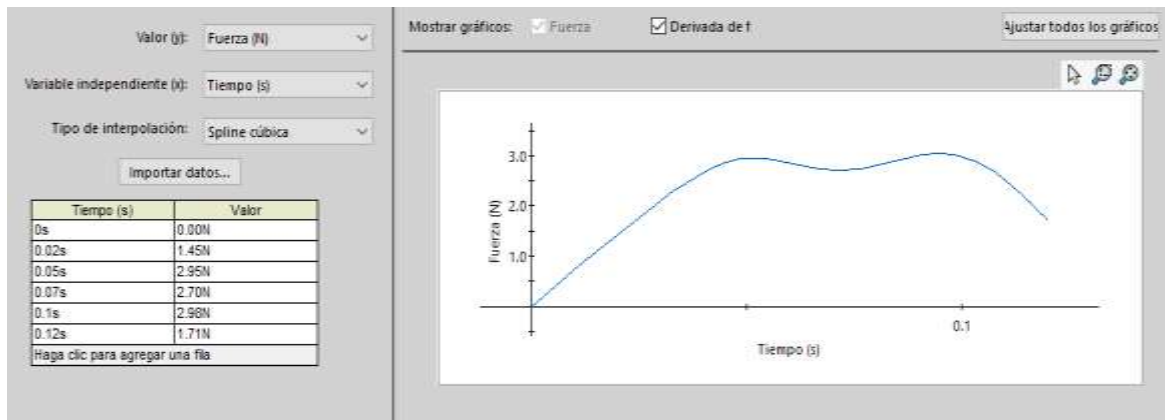


Figura 2-36: Distribución de la fuerza aplicada sobre el centro de gravedad para los objetos de tamaño M' pertenecientes al grupo B

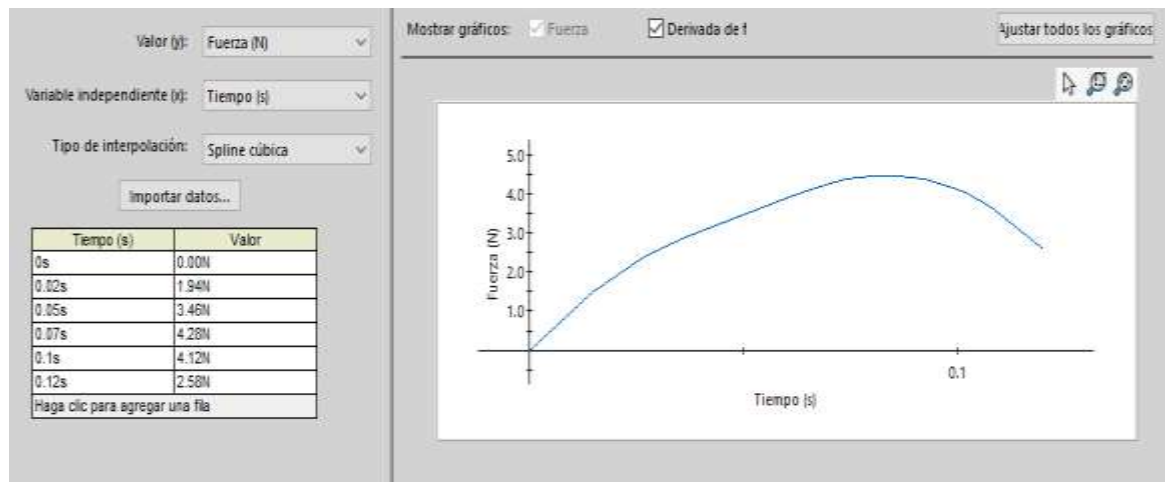


Figura 2-37: Distribución de la fuerza aplicada sobre el centro de gravedad para los objetos de tamaño Mg pertenecientes al grupo B

▪ Grupo de separación A (Mg – Gg ; 1,2 m³/s)

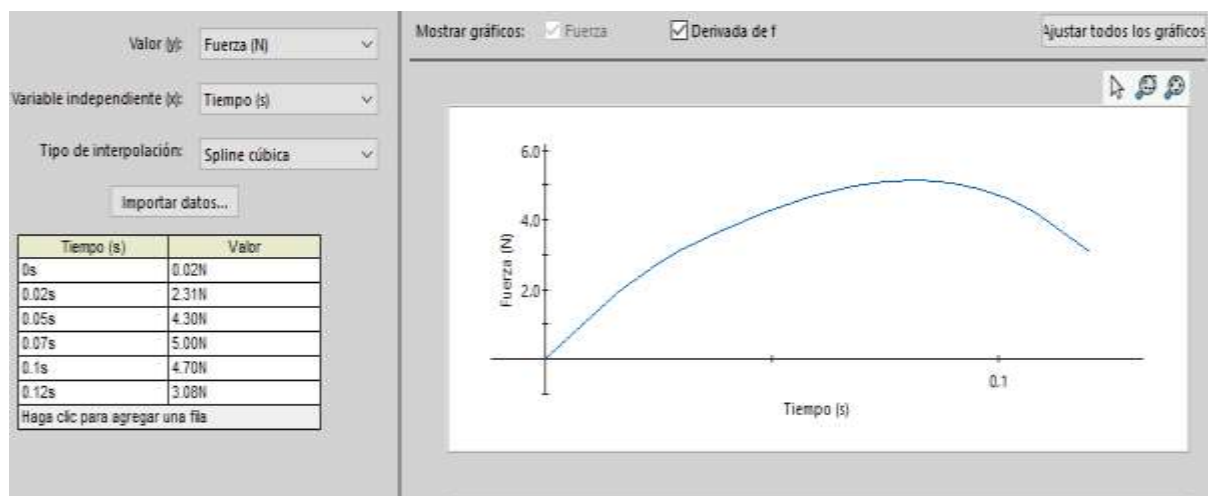


Figura 2-38: Distribución de la fuerza aplicada sobre el centro de gravedad para los objetos de tamaño Mg pertenecientes al grupo A

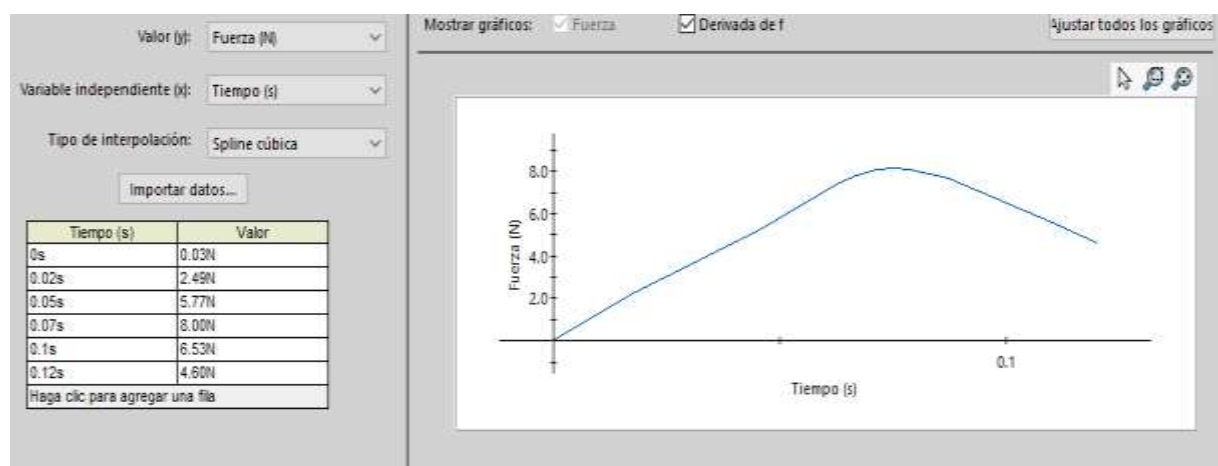


Figura 2-39: Distribución de la fuerza aplicada sobre el centro de gravedad para los objetos de tamaño Gg pertenecientes al grupo A

Separador 2:

- Grupo de separación D (Cch - Cg ; $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$)

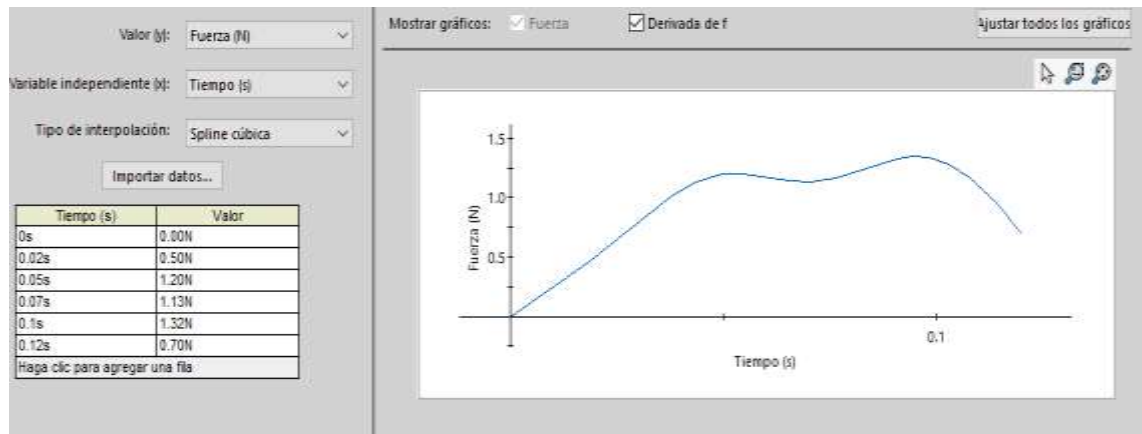


Figura 2-40: Distribución de la fuerza aplicada sobre el centro de gravedad para los objetos de tamaño Cch pertenecientes al grupo D

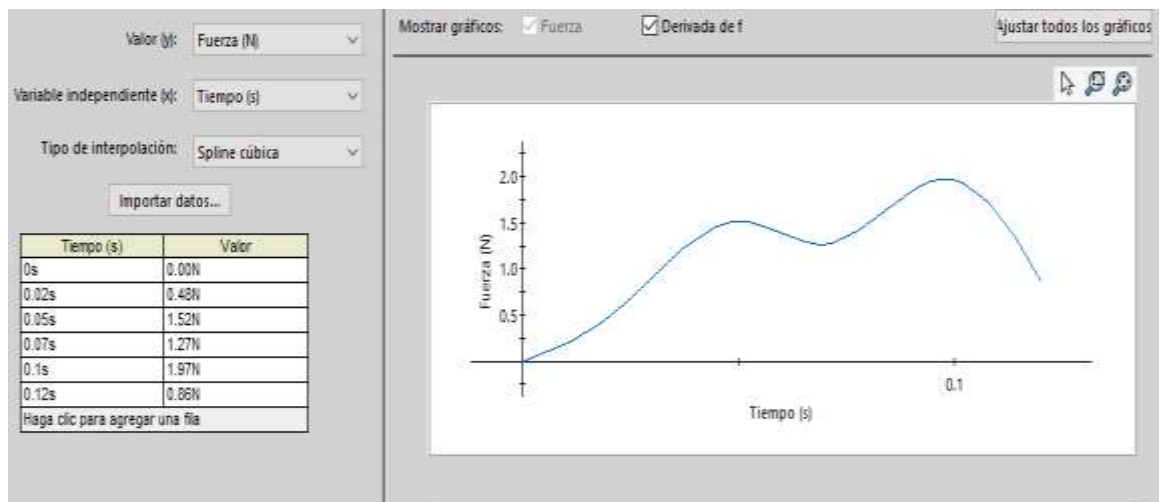


Figura 2-41: Distribución de la fuerza aplicada sobre el centro de gravedad para los objetos de tamaño Cg pertenecientes al grupo D

■ Grupo de separación C ($C_g - M'$; $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$)

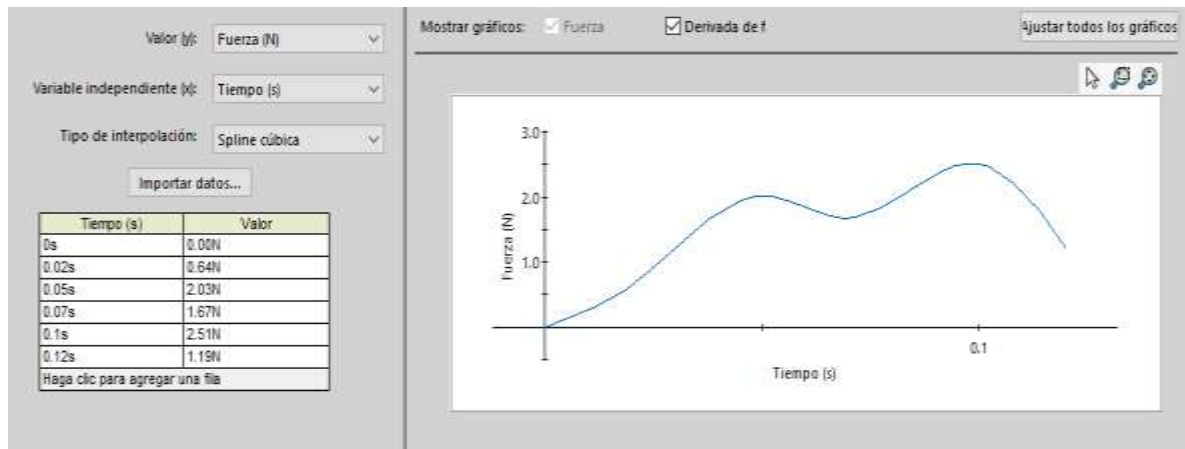


Figura 2-42: Distribución de la fuerza aplicada sobre el centro de gravedad para los objetos de tamaño C_g pertenecientes al grupo C

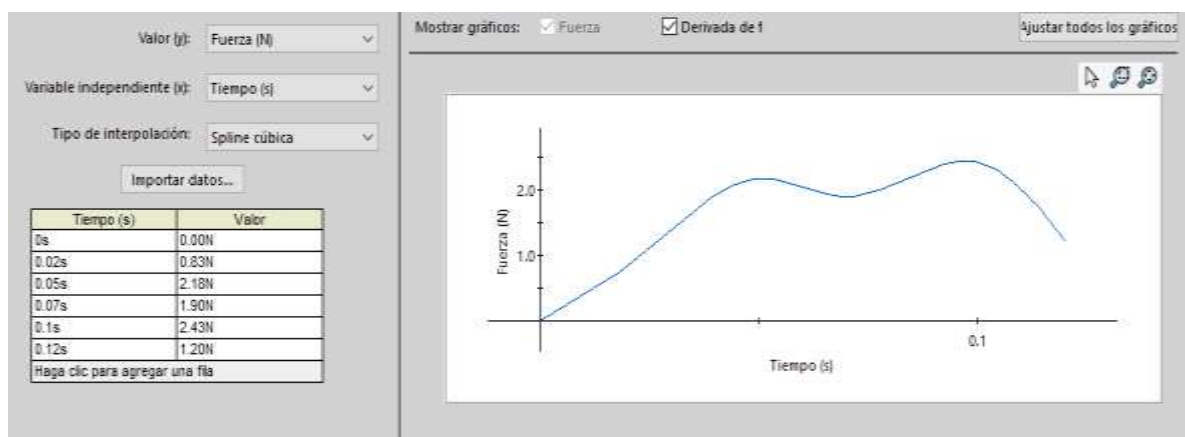


Figura 2-43: Distribución de la fuerza aplicada sobre el centro de gravedad para los objetos de tamaño M' pertenecientes al grupo C

Verificación mediante análisis de movimiento

En este apartado se mostrará el procedimiento de simulación del fenómeno de tiro parabólico que se realizó paralelamente a las simulaciones de fluido sobre el órgano separador a fin de encontrar los caudales necesarios para la generación del efecto deseado, verificando las trayectorias de movimiento generadas por las distribuciones de fuerzas finales, obtenidas en el punto anterior. Para ello se propone la generación de un estudio de movimiento en el programa SolidWorks, donde se verificará la trayectoria de cada uno de los objetos en juego, tanto terrones como papas, tomando como dato las fuerzas de sustentación generadas y las diferencia en las densidades de los objetos tal como se desarrollaron en el apartado de *Consideraciones iniciales*.

Comenzando con el separador número uno, el cual se encarga de la separación de los elementos de tamaño Mg hasta Gg, se crea un ensamblaje en el cual se colocan todos los elementos involucrados en fila, partiendo desde una misma posición y a una altura de 40cm, como se aprecia en la figura 2-44:

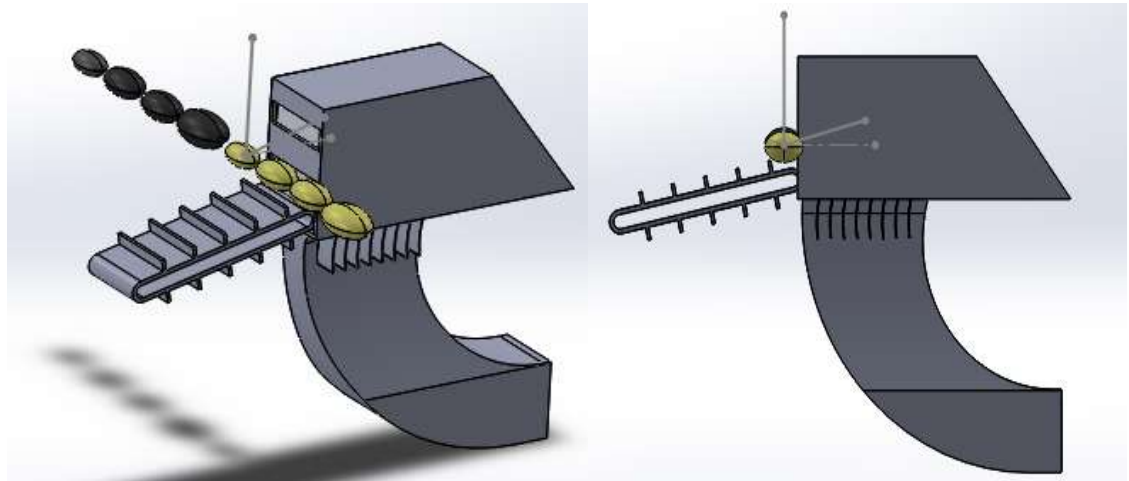


Figura 2-44: disposición de los elementos en la posición inicial del análisis de movimiento.

Cada uno de los elementos fue afectado por la fuerza de la gravedad y posee las densidades acordes a las propuestas como ser:

$$\rho_{\text{papas}} = 1,1 \frac{g}{cm^3} \quad ; \quad \rho_{\text{terrones}} = 1,7 \frac{g}{cm^3}$$

Todos los elementos fueron afectados por las condiciones de contorno de velocidad y ángulo inicial de 2,5 m/s y un ángulo inicial de 10 grados como sigue:

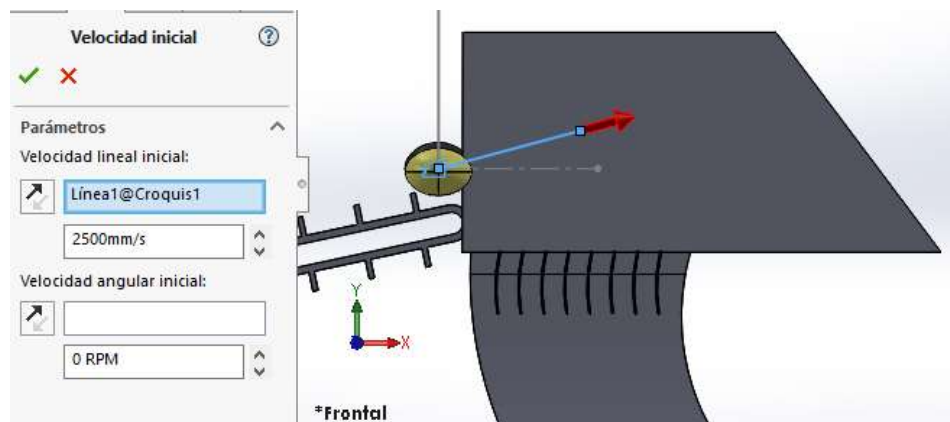


Figura 2-45: velocidad inicial de los elementos para el análisis de movimiento.

Por su parte las fuerzas aplicadas se generaron en el centro de masa como muestra la figura 2-46, insertando los valores de fuerza como una función forzada por puntos de datos, obtenidos en la simulación de flujo anterior para cada tamaño. Siendo la velocidad inicial de 2,5 m/s para todos los casos, la cual es la velocidad tangencial de la cinta transportadora, se tendrá entonces, para una longitud de acción de 300mm un tiempo de:

$$t_F = \frac{300mm}{2500 \frac{mm}{s}} = 0,12s \quad ; \text{ siendo:}$$

t_F = tiempo total en el que actúa la fuerza ascendente

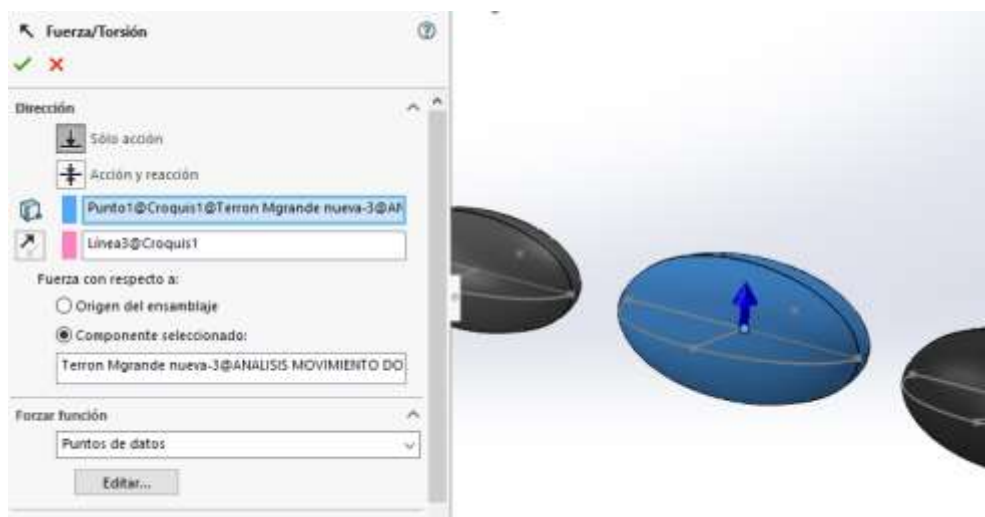


Figura 2-46: Aplicación de la fuerza de empuje vertical como una función dada por puntos de datos

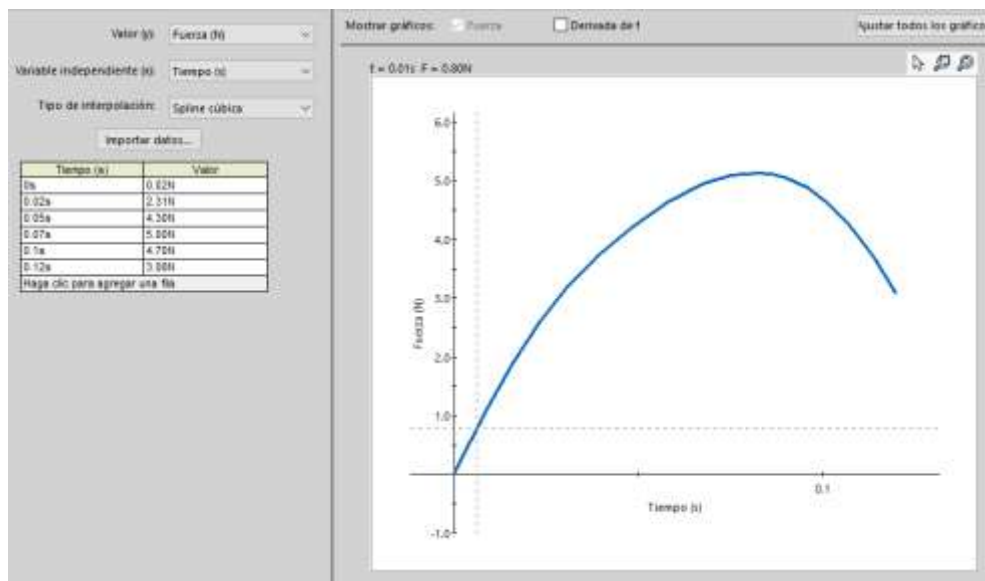


Figura 2-47: Función de puntos de datos dadas por las fuerzas encontradas en el análisis de flujo anterior. Se propone como aproximación de valores por una spline cúbica.

Se obtienen entonces las trayectorias de ambos conjuntos a distintas presiones de soplado como se muestra a continuación en la figura siguiente (2-48):

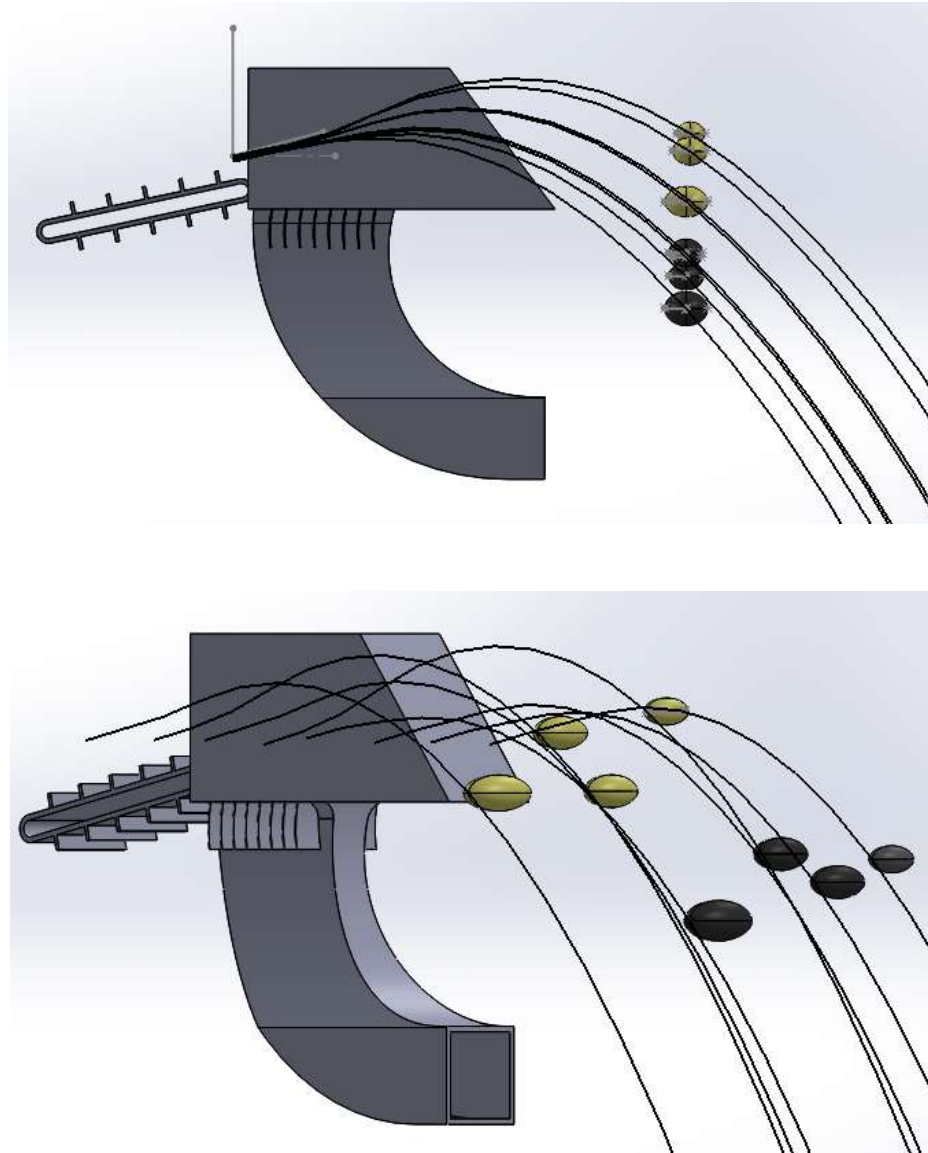


Figura 2-48: Arriba, vista lateral de las trayectorias de los objetos. Abajo, vista de la posición de estos elementos. Se observa una separación en los grupos de terrones y papas que será utilizada para la colocación de una rampa de caída para los tubérculos.

Realizando el mismo estudio para el caso del separador número dos, se tiene entonces las siguientes trayectorias de separación:

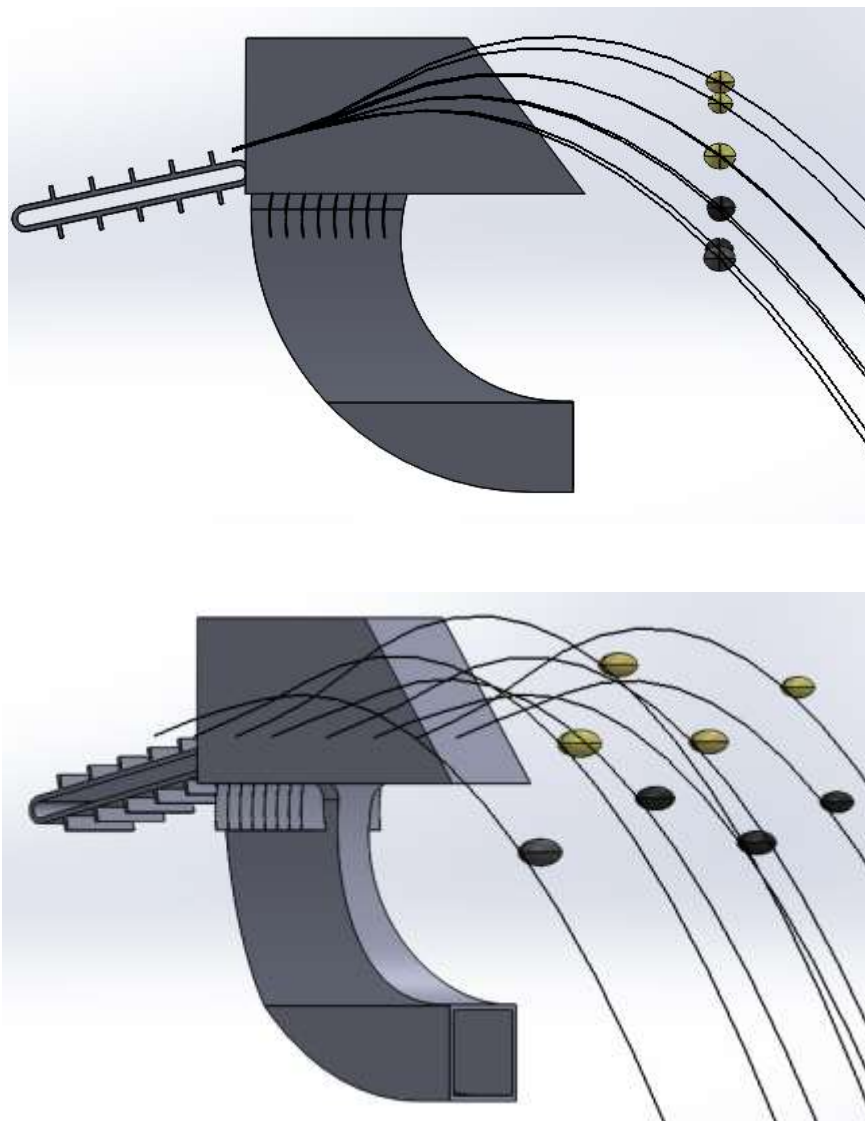


Figura 2-49: Arriba, vista lateral de las trayectorias de los objetos para el separador n°2. Abajo, vista de la posición de estos elementos. Se observa una separación en los grupos de terrones y papas que será utilizada para la colocación de una rampa de caída para los tubérculos.

Colocación de las rampas de caída

Una vez obtenidas las diferencias en la distancia de caída se verifica entonces la separación de los productos colocando una rampa intermedia. Se obtienen entonces las siguientes trayectorias para ambos sopladores como figura en las siguientes imágenes:

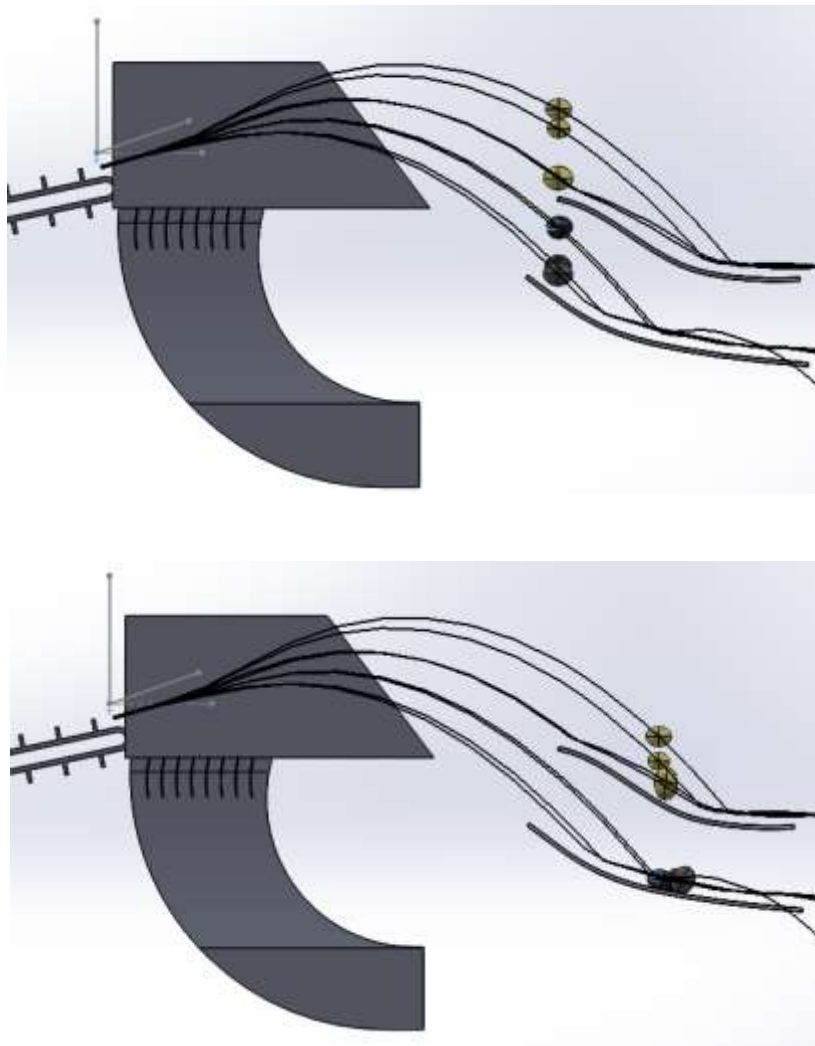


Figura 2-50: trayectoria de los elementos del separador n°2 utilizando una rampa de separación.

Se repite el mismo procedimiento para el caso del separador número uno (Mg-Gg) obteniendo las siguientes trayectorias:

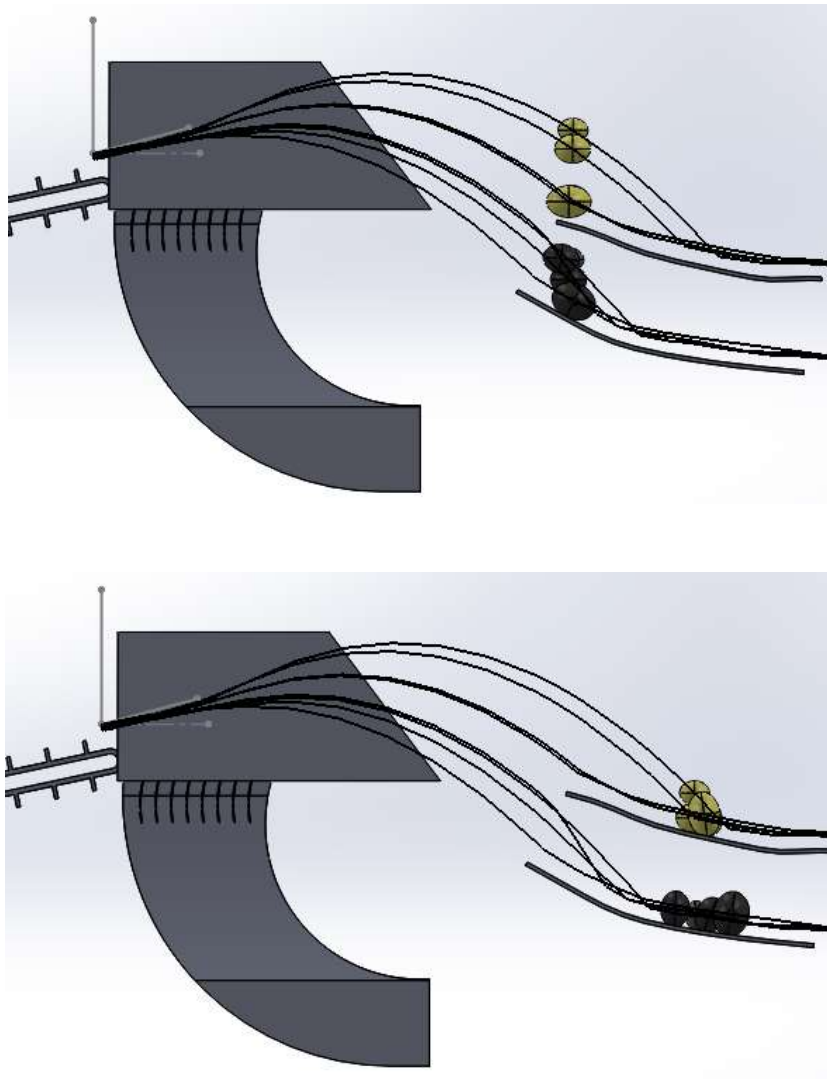


Figura 2-51: Trayectoria de los elementos del separador n°1 (Mg- Gg) utilizando una rampa de separación.

Conclusión del método

Se prueba entonces que la separación de ambos grupos de material puede ser efectiva y se utilizarán las geometrías propuestas de rampas de caída como plantilla para la realización del diseño final de los conjuntos de separación, los cuales se abordarán en el capítulo siguiente. En cuanto a las potencias consumidas por ambos separadores se obtuvieron valores favorables, que disminuyen la potencia teórica calculada anteriormente. A continuación, se realizará la corrección de los valores de potencia final consumida y se realizará un resumen de potencia consumida total.

- Potencia final necesaria para la separación:

Se repetirán aquí a continuación la tabla de valores de caudal (2-16) obtenidos para mayor claridad.

Tabla 2-16: valores de caudal necesarios para la separación

Tamaño	Grupo	Q [m3/s]	Separador
Ggrande	A	1,2	1
G			
Gchica = Mg	B	1	
M			
M'	C	0,8	2
Mchica = Cg			
C			
Cch	D	0,7	

Tenemos entonces que, para el separador n°1 se necesitan como máximo 1,2 m³/s por lo tanto:

$$N_{m\acute{a}x1} = 1,2 \frac{m^3}{s} * \frac{23,45 \text{ HP}}{1,5 \frac{m^3}{s}} = \mathbf{18,76 \text{ HP}}$$

Y, realizando el mismo cálculo para el separador n°2, el cual necesita como máximo 0,8 m³/s se tiene:

$$N_{m\acute{a}x2} = 0,8 \frac{m^3}{s} * \frac{23,45 \text{ HP}}{1,5 \frac{m^3}{s}} = \mathbf{12,5 \text{ HP}}$$

Entonces, la suma de ambas potencias hidráulicas necesarias para los separadores (N_{sep}) es:

$$N_{sep} = N_{m\acute{a}x1} + N_{m\acute{a}x2} = 18,76 \text{ HP} + 12,5 \text{ HP} = \mathbf{31,2 \text{ HP}}$$

Tabla resumen de potencia global

En este apartado se muestra un resumen de potencia total consumida por el equipo completo, con todos sus órganos definidos, como indica la tabla siguiente.

Tabla 2-17: Resumen de potencias final correspondiente al equipo en su totalidad.

Resumen de potencia consumida por el equipo [HP]						
TOTAL	Desbroce	Transporte	Elev. Cang.	Peso del equipo y material	Separación	Cabezal + cribado
83	0,6	4,4	1,5	15,3	31,2	30

Como conclusión cabe destacar que se logró el objetivo de necesitar una potencia inferior a 90HP propuestos inicialmente, siendo el caso en el cual se supusieron las peores condiciones para todos los órganos del equipo involucrados. Dados los resultados, a partir de este punto y por motivos netamente académicos en cuanto al alcance del proyecto, se profundizará en la ingeniería de detalle de los órganos de separación y de alimentación de los mismos, sin por supuesto, descuidar al resto de los elementos que se diseñarán en un segundo plano sin ahondar en sus especificaciones técnicas más allá de las propuestas en el apartado correspondiente. El resultado entonces, será el de un equipo mecánica y dimensionalmente definido en su totalidad, siendo los órganos de separación el foco principal de la planimetría desarrollada.

Capítulo 3: Ingeniería de detalle

Resumen de selecciones

Los órganos principales de la máquina se compondrán entonces por los siguientes:

- Cabezal de cosecha: encargado de extraer el conjunto de tierra, terrones, papas, raíces y follaje desde el suelo y conducirlo hacia la máquina. Para el equipo propuesto, no se intervendrá en el sistema de recolección y se tomará como base un cabezal de una hileradora convencional de una línea.
- Cintas de cribado primarias: cintas con adición de sistemas de vibración que desterronarán y separarán la tierra suelta. Las mismas forman parte de los sistemas de cribado encontrados en hileradoras comerciales y funcionan efectivamente realizando la primera limpieza del material. Es por ello que no se propondrán cambios en este órgano.
- Órgano de desbroce: es el órgano encargado de la remoción del material liviano, tanto follaje como raíces presentes en el flujo de material. En este caso se propone la utilización de un sistema de cinta inclinada, la cual separará el material más pesado (papas y terrones) por rodadura a contracorriente. El material restante quedará atrapado en la cinta inclinada y será desviado por la misma hacia la zona de descarte del mismo, en este caso sobre la línea de cosecha.
- Órgano de limpieza: Se eligió en este caso los órganos de limpieza principales de tipo seco, por fricción, constituido por una serie de rodillos inclinados quienes giran en sentidos opuestos, similar al sistema utilizado en cosechadoras integrales, donde la forma de chebrón de los rodillos raspa la superficie al mismo tiempo en que el material gira sobre sí mismo y se traslada. Debido a la simplicidad del sistema, su suavidad con el material y la capacidad de absorber follaje remanente y romper terrones pequeños hace de este sistema el más robusto y confiable.
- Órgano de separación: encargado de realizar la separación entre el producto buscado (papas limpias) y el material de descarte (terrones y objetos extraños).
- Transporte: compuesto de cintas y cangilones quienes guiarán el material hasta los diferentes órganos del equipo.
- Almacenamiento: se propuso un volumen de un bolsón de 1m³ para el almacenamiento del material.

Consideraciones iniciales

Como se explicó con anterioridad debido a limitaciones de índole académicas, la ingeniería de detalle del equipo propuesto se focaliza principalmente en el órgano de separación de terrones, agregando algunos componentes especialmente importantes como por ejemplo el sistema clasificador por tamaños, el cual alimentará al órgano principal. Por su parte, los demás componentes del equipo serán modelados bajo las condiciones propuestas en el apartado de ingeniería básica, es decir, sin centrarse especialmente en los detalles constructivos, enfocándonos en la funcionalidad general y la disposición espacial de los mismos a fin de generar un diseño global del equipo, lo más completo y cercano a la realidad, teniendo en cuenta las limitaciones mencionadas con anterioridad.

Sistema de clasificación por tamaños

Para la alimentación del sistema de separación del material se propuso, en el capítulo previo, una clasificación del flujo de material en cinco partes o grupos principales, siendo el quinto grupo el de mayor tamaño el cual se elimina de la separación aérea debido a la falta de competencia entre terrones y papas de un mismo tamaño para ese grupo propuesto. Los cuatro grupos restantes se dividen entonces en dos ramificaciones, las cuales corresponderán a cada separador, llamados separador 1 y 2 según la tabla de clasificación propuesta, la cual se repite a continuación para mayor claridad:

Tabla 3-1: Clasificación del flujo de material por tamaños, según el separador asignado

Tamaño	Grupo	Q [m3/s]	Separador
Ggrande	A	1,2	1
G			
Gchica = Mg	B	1	
M			
M'			
	C	0,8	2
Mchica = Cg	D	0,7	
C			
Cch			

Tamiz de clasificación

Para la separación por tamaños, se decide la incorporación de un tamiz de tipo lineal el cual se compone de rodillos longitudinales en un mismo plano, los cuales divergen gradualmente aumentando el espacio entre los mismos para dejar caer el material en las respectivas bandejas de recolección, utilizando como parámetro la longitud del eje mayor del elipsoide, siendo que el flujo de material se supone, rodará sobre los rodillos sobre su eje de menor inercia.

El sólido esquemático de la bandeja se muestra a continuación, compuesto a la derecha por un deflector de caída de papas desde el cangilón, el cual modifica la dirección del flujo de material para coincidir con la dirección del tamiz. Esta adición se realizó en base a una modificación en la posición del elevador de cangilones el cual se rotó 90° para obtener un diseño más compacto, en detrimento de una altura mínima mayor, de aproximadamente 40 centímetros. A la izquierda se observa la rampa de papas para el quinto grupo el cual carece de etapa de separación.

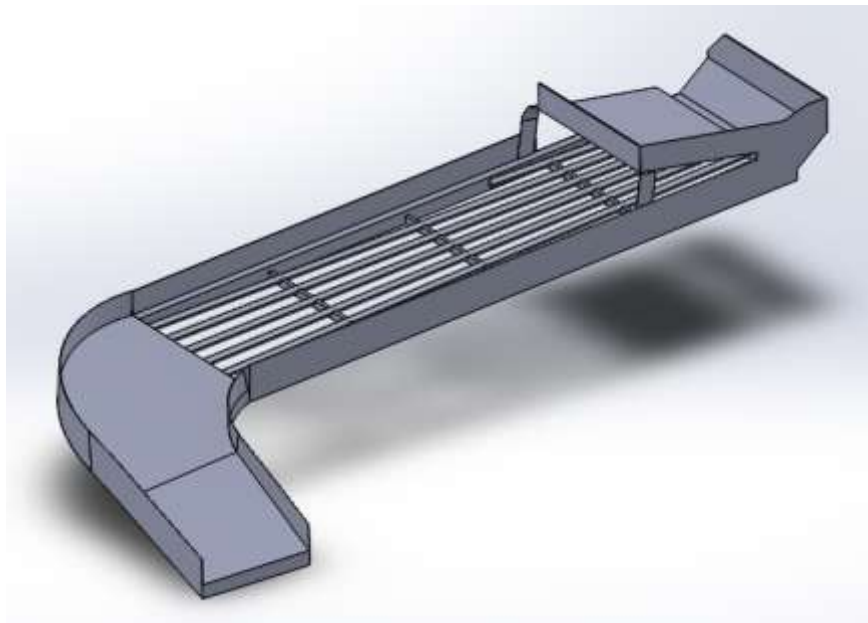


Figura 3-1: rampa de separación del material. A la izquierda, rampa de separación para el quinto grupo de papas exentas de separación. A la derecha, deflector de caída desde el cangilón, el cual alinea el flujo para la correcta rodadura de los elementos.

Bandejas de clasificación

Para el caso de las bandejas de separación, las mismas se diseñaron longitudinalmente simétricas con una caída transversal de cinco grados tal cual se tiene en el tamiz y un ángulo de caída de quince grados longitudinal para generar la rodadura del material hacia las compuertas de salida. La disposición de los cuerpos es de doble "Y" compuestas por cuatro bandejas individuales que se unen a dos salidas dirigiéndose el flujo del conjunto hacia ambos separadores como se observa en la figura 3-2:

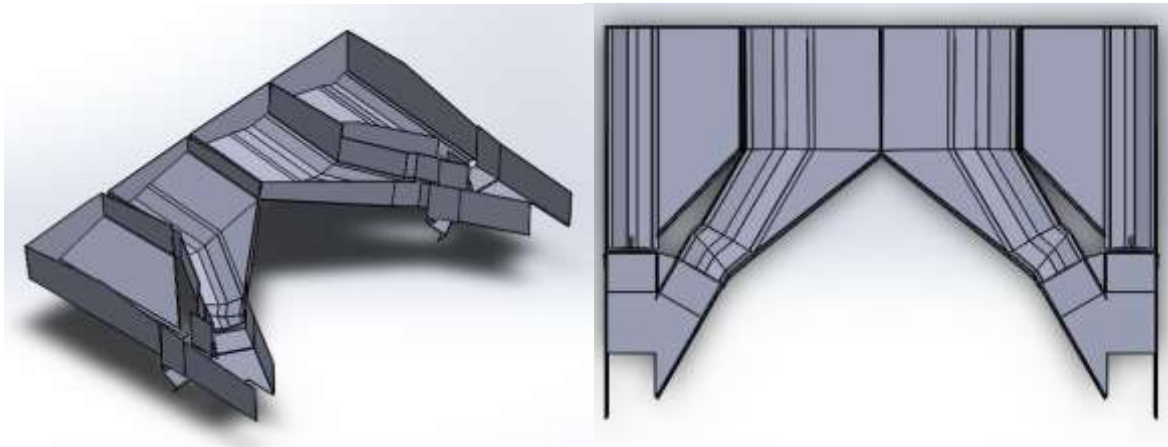


Figura 3-2: vista general del conjunto de bandejas de separación. Se puede apreciar que, desde la vista superior el hecho de que ambos cuerpos son completamente simétricos longitudinalmente.

- Diseño de compuertas para alternancia del flujo de material

Para la discretización de la alimentación de los subgrupos a-b y c-d a cada órgano separador se diseñó un sistema de compuertas accionadas hidráulicamente mediante un actuador, las cuales permitirán o restringirán el flujo de material por cada ramal hacia la cinta general de salida que alimenta el órgano separador. Dichas compuertas presentan una forma de “V”, tal que, al accionarse el cilindro hidráulico, se mantenga obstruido el flujo de material desde el sistema de bandejas hacia la salida. La pestaña que se identifica del lado izquierdo, bloquea el retroceso accidental del material circundante desde la ramificación adyacente, evitando que el mismo caiga al vacío ante un sacudimiento imprevisto del conjunto. Dichas compuertas se muestran en la figura siguiente:

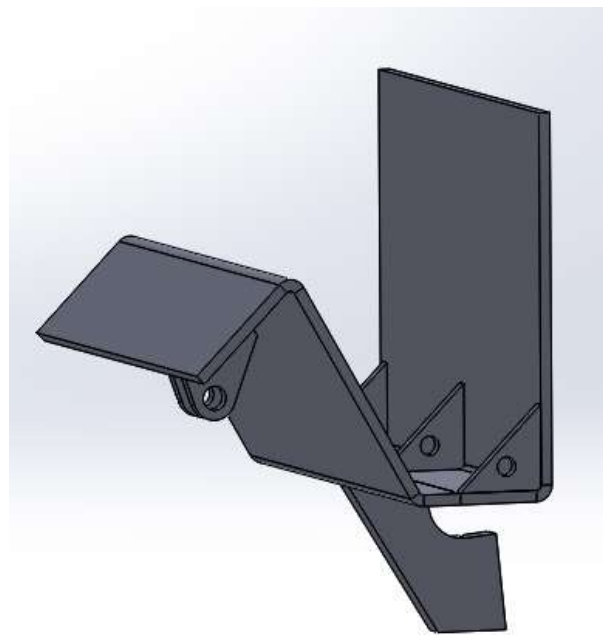


Figura 3-3: Compuerta de bloqueo. Se observa la montura para el cilindro hidráulico (izquierda) y el tope de recorrido en la parte inferior.

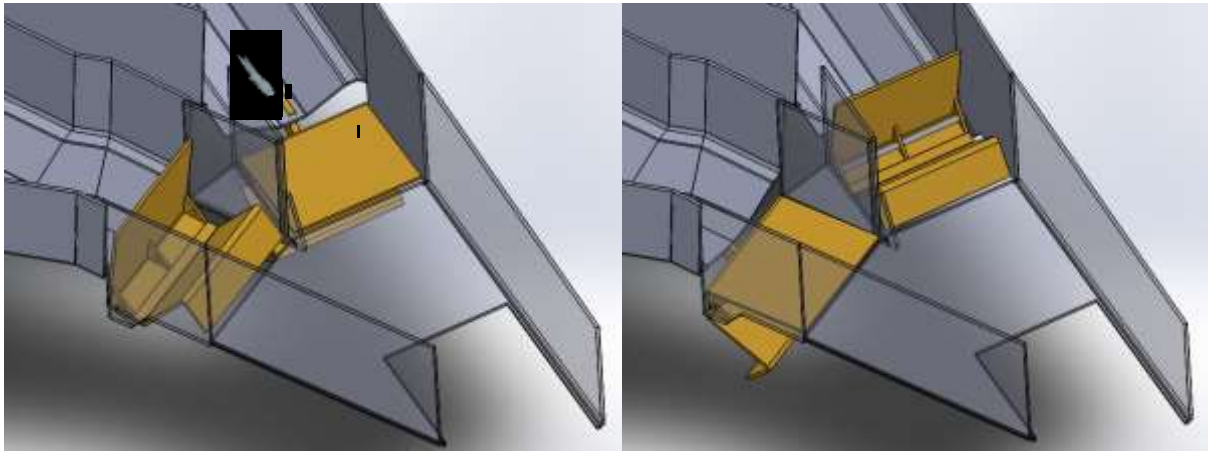


Figura 3-4: Posiciones de las compuertas de bloqueo. Notar la alternancia de las mismas al cambiar una de ellas de posición. Observar la posición del pliegue inferior, el cual impide el retroceso del material evitando que el mismo caiga al vacío ante un sacudimiento imprevisto del sistema.

La posición de dichas compuertas se mantendrá alternada, evitando la mezcla del material. A su vez, en la zona de la salida de la rampa, un sensor óptico captará la interrupción del haz de luz generada por cada elemento circundante por la salida, alternando la posición de las compuertas y variando el flujo de ventilador cada cierta cantidad de elementos, los cuales se propuso, rondan las diez unidades.

A continuación, se esquematiza el conjunto completo de elevador de cangilones, tamiz y bandejas colectoras para la mejor comprensión de las posiciones espaciales de cada uno de los elementos:

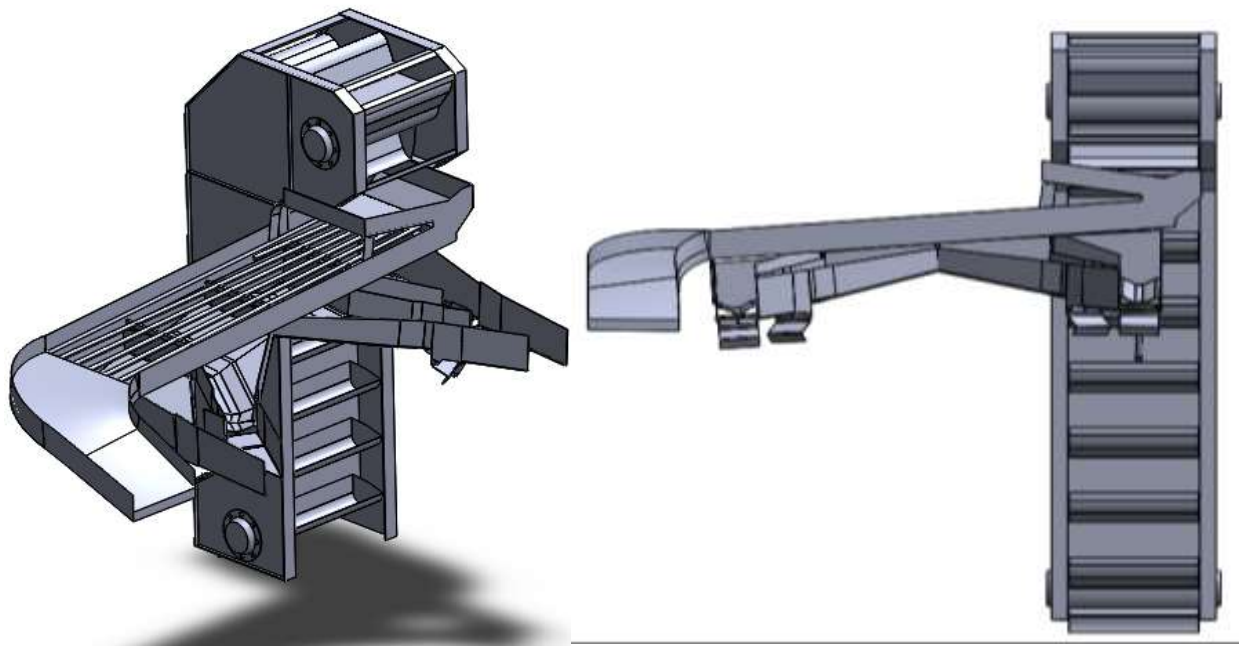


Figura 3-5: Conjunto de cangilón, tamiz y bandeja de selección por tamaños. La posición del cangilón se modificó, rotándose 90° respecto a la posición anteriormente propuesta, con el fin de ahorrar espacio.

A diferencia del caso propuesto en el lay-out inicial, el cangilón se rotó 90° a fin de generar un sistema más compacto, en detrimento de un aumento en la altura del mismo para la colocación del deflector, el cual reordenará el flujo de material a favoreciendo la rodadura longitudinal del mismo por el tamiz. El modelo del elevador de cangilones es netamente esquemático, habiendo tomado en cuenta un tamaño del cangilón acorde al promedio de los elementos a transportar y el diámetro estándar de los rodillos tensores de las cintas que los contienen.

Órgano de separación

El órgano de separación, componente central de este estudio, se disgregará en sus subcomponentes principales, como ser:

- Cuerpo del soplador
- Cuerpos de separación
- Sistema de gestión de material de descarte

Cuerpo del soplador:

- Cuerpo inferior

La geometría obtenida en el apartado anterior de ingeniería básica, se toma como referencia para la materialización del cuerpo de los sopladores. Los mismos serán manufacturados tomando como base, chapas metálicas de $\frac{1}{4}$ " (calibre 1/8) cortada mediante láser. El cuerpo del soplador puede observarse en la figura siguiente:

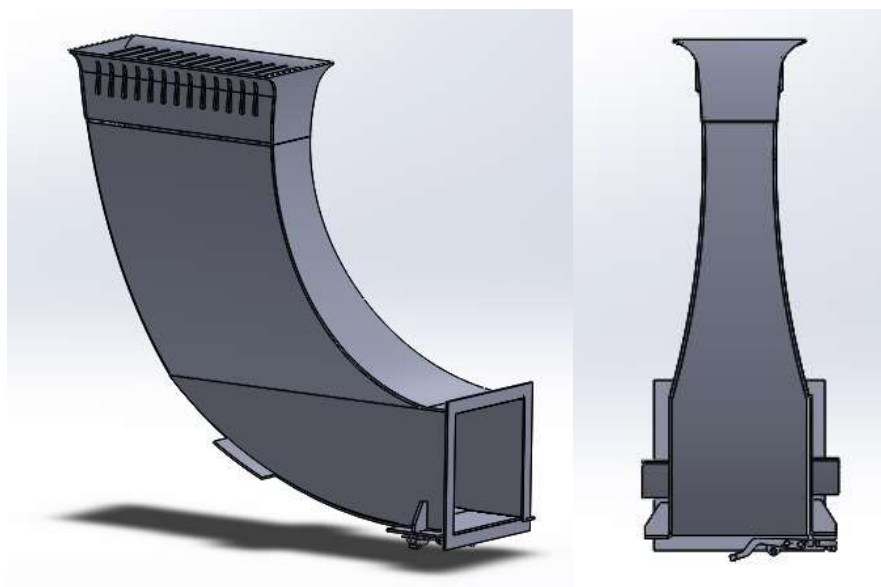


Figura 3-6: Vista general del cuerpo inferior del soplador.

Para el caso de los deflectores superiores, se mecanizaron oblongos rectangulares en los laterales del cuerpo, pudiendo insertar lateralmente las aletas previamente curvadas y soldadas por el lado exterior, como se observa en la figura siguiente:

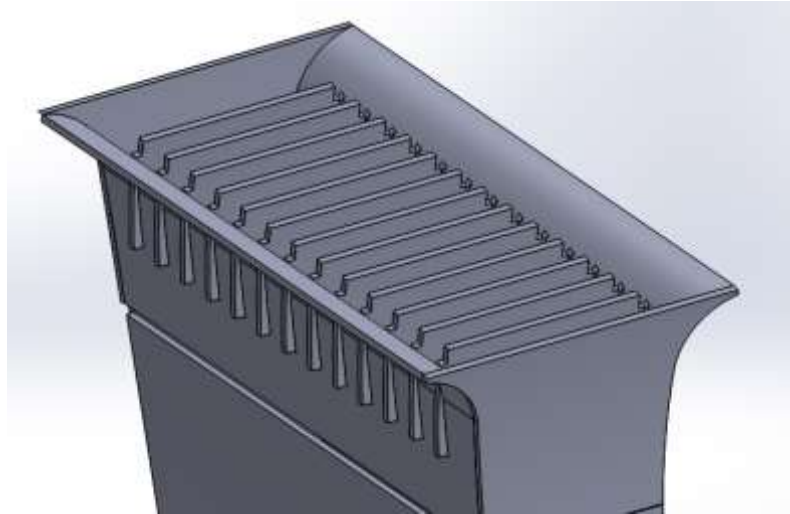


Figura 3-7: Vista de detalle para el sistema de aletas deflectoras.

Por su parte, debido a la geometría de “J” que posee el sistema se tiene el inconveniente de la acumulación de suciedad en la parte baja del mismo. Por esta razón para facilitar el mantenimiento del conjunto se decidió el agregado de una puerta lateral de inspección, dotada de una cerradura de acople rápido. La misma se esquematiza en la figura siguiente:

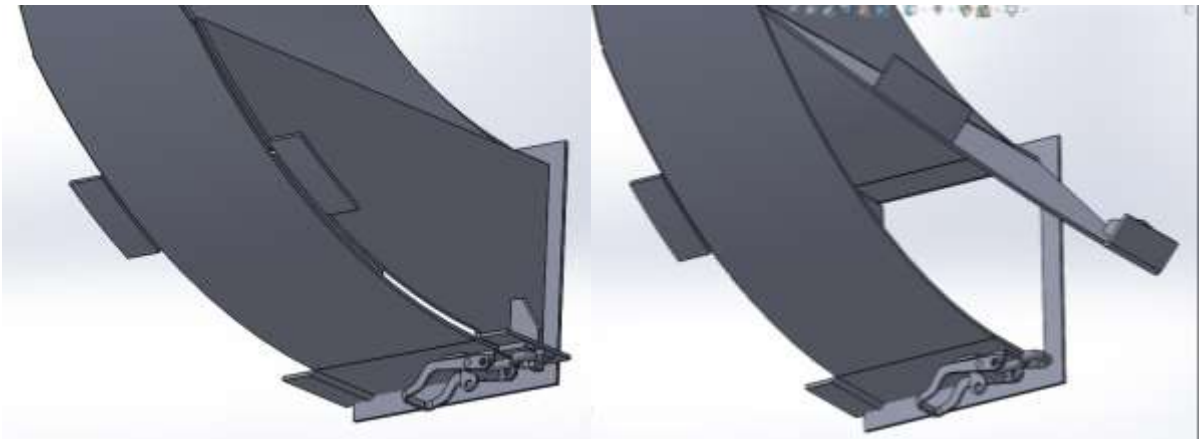


Figura 3-8: Esquema de tapa de inspección. A la izquierda, conjunto cerrado. A la derecha: posición representativa del movimiento de la tapa de inspección.

- Cuerpo superior del soplador

Tal como se observó en el capítulo anterior, la trayectoria de los sólidos en juego depende del grupo en cuestión, siendo los grupos A y B de una altura menor que los de los grupos C y D. es por ello que el cuerpo superior del soplador debe modificar su geometría a fin de corresponder a las trayectorias nombradas. Los cuerpos superiores de los sopladores están formados por tres componentes de chapa metálica, siendo el principal una base plegada y soldada al cuerpo inferior, sumando un cierre inferior de lámina rolada y soldada a canto. Para la rigidez del conjunto y el cierre de la parte trasera se agrega una placa en forma de C soldada desde el interior. Como se mencionó anteriormente, ambos cuerpos superiores poseen distinta geometría. Las piezas en cuestión se pueden observar en la imagen siguiente:

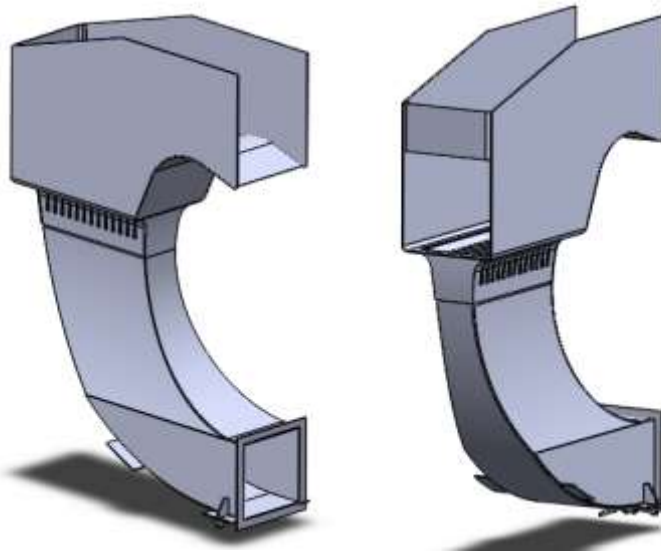


Figura 3-9: Vista general del conjunto soplador añadiendo el cuerpo superior.

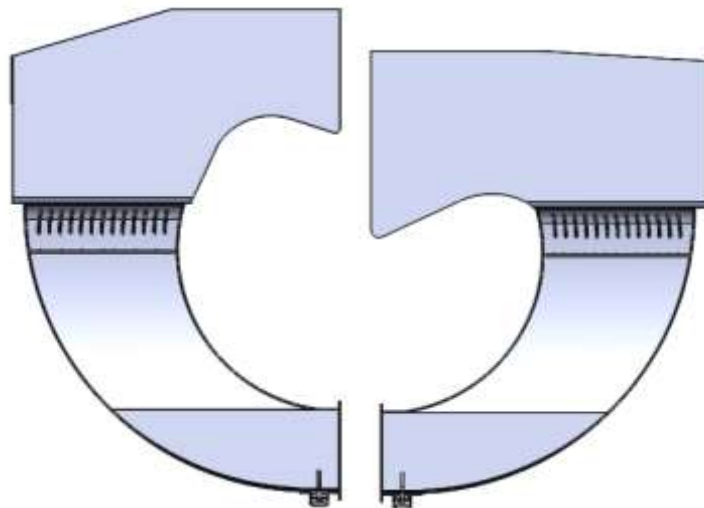


Figura 3-10: Comparativa de geometría entre ambos cuerpos superiores del soplador. A la izquierda: Separador 2. A la derecha: separador 1.

Cuerpos de separación

Tal como se propuso en el capítulo anterior, el sistema separador constará del soplador y un cuerpo de separación el cual contendrá un tabique encargado de separar el flujo de papas y terrones una vez atravesados por la corriente de aire ascendente, en este caso en forma de rampa que guiará al conjunto de papas, una vez separadas, hacia la cinta de acopio.

- Cuerpo de separación 1:

Ambos cuerpos de separación se elaborarán de la misma manera, tomando como base chapa plegada de 3mm. En el caso del separador n°1, el mismo poseerá un cuerpo, una rampa de separación y un canal de descarga de terrones. En la siguiente imagen se aprecia la vista general del separador, donde figura la rampa de separación y la zona inferior de pasaje de terrones los cuales descargan mediante una sección similar a un embudo, hacia el canal de desechos el cual se encuentra conectado mediante una brida de sección cuadrada, soldada al cuerpo separador:

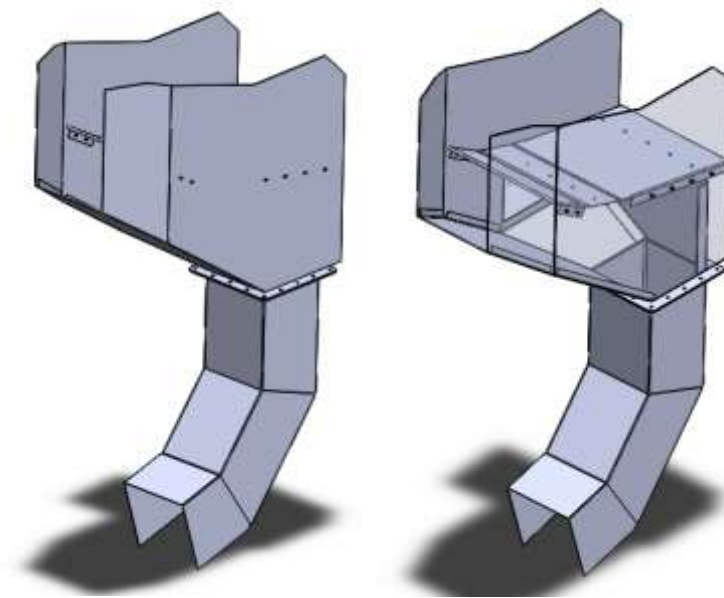


Figura 3-12: vista general del separador 1. A la derecha: se transluce la pared lateral para dejar ver el interior del sólido. El mismo está compuesto por una rampa de separación atornillada lateralmente y una rampa inferior con una descarga de desechos.

El conjunto posicionado de soplador y separador se observa en la imagen siguiente, agregando el ventilador parametrizado según catálogo y un ducto de succión de aire propuesto.

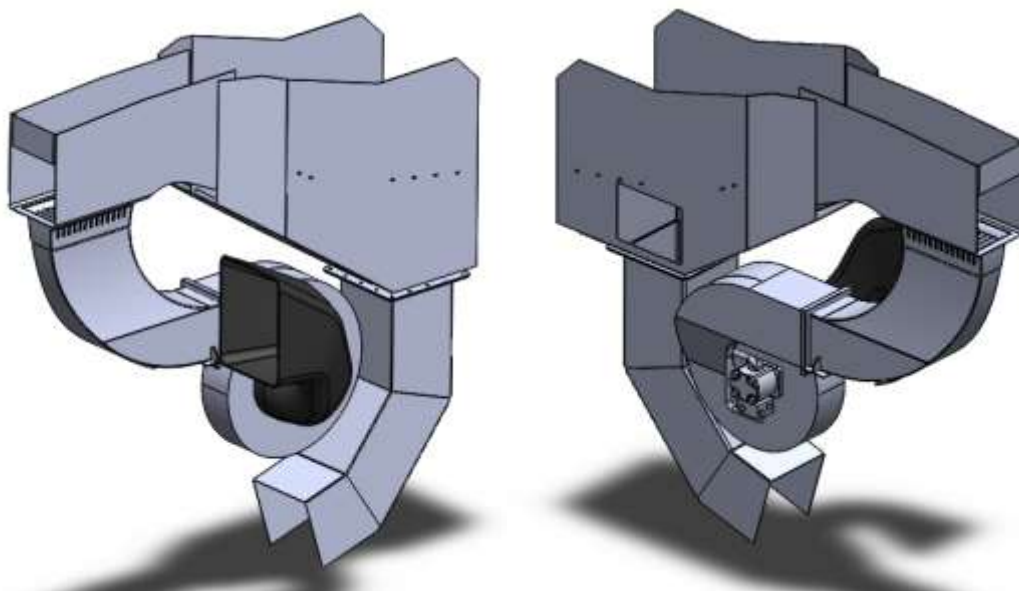


Figura 3-13: Vista general del conjunto de separación 1. Se puede apreciar la posición del soplador, junto al ventilador hidráulico y la toma de admisión de aire.

Para medir correctamente la posición de las rampas de caída, se solaparon las imágenes a escala obtenidas en el capítulo anterior para las trayectorias de los elementos. En la imagen siguiente se observa la rampa de caída en color rojo la cual separa el flujo de papas que rodarán por la parte superior, mientras que los terrones seguirán su caída hacia el ducto de descarga.

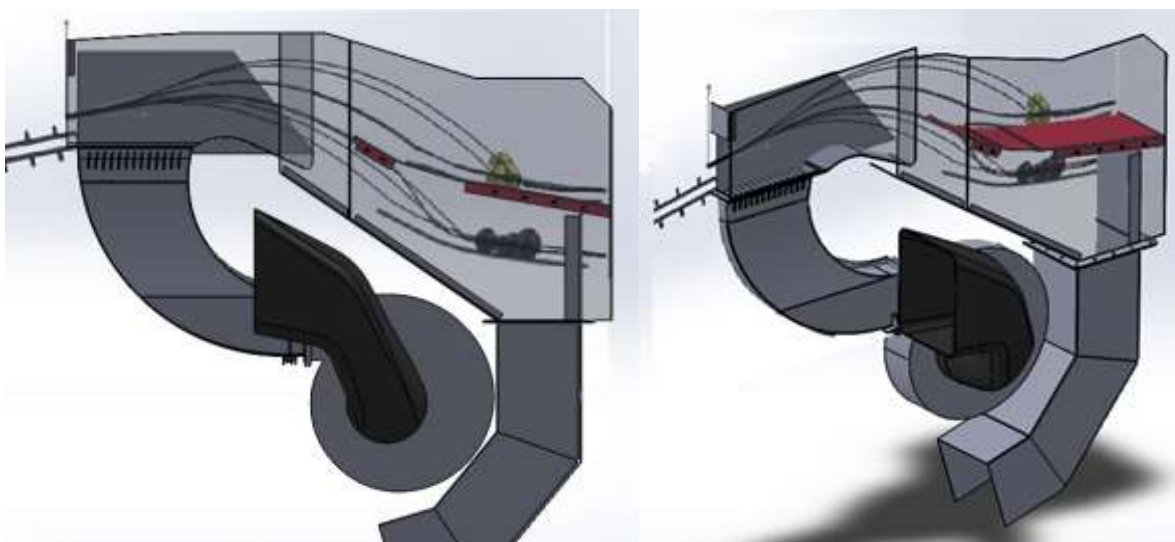


Figura 3-14: Trayectorias de los elementos en juego superpuestas en el conjunto. Se identifica en color rojo la rampa de caída.

- Cuerpo de separación 2:

Para este cuerpo de separación se utilizaron los mismos principios que en el caso anterior, generando algunas modificaciones necesarias para el correcto ensamblaje del equipo.

Para este caso, la trayectoria de los elementos genera una altura mayor, por lo que la disposición del cuerpo respecto del soplador se encuentra en un punto más elevado a comparación del separador 1.

Para este caso, se diseñó una base extraíble bridada para poder colocar y reemplazar más fácilmente el canal de descarga de terrones. La vista general del conjunto separador se aprecia en las figuras siguientes:

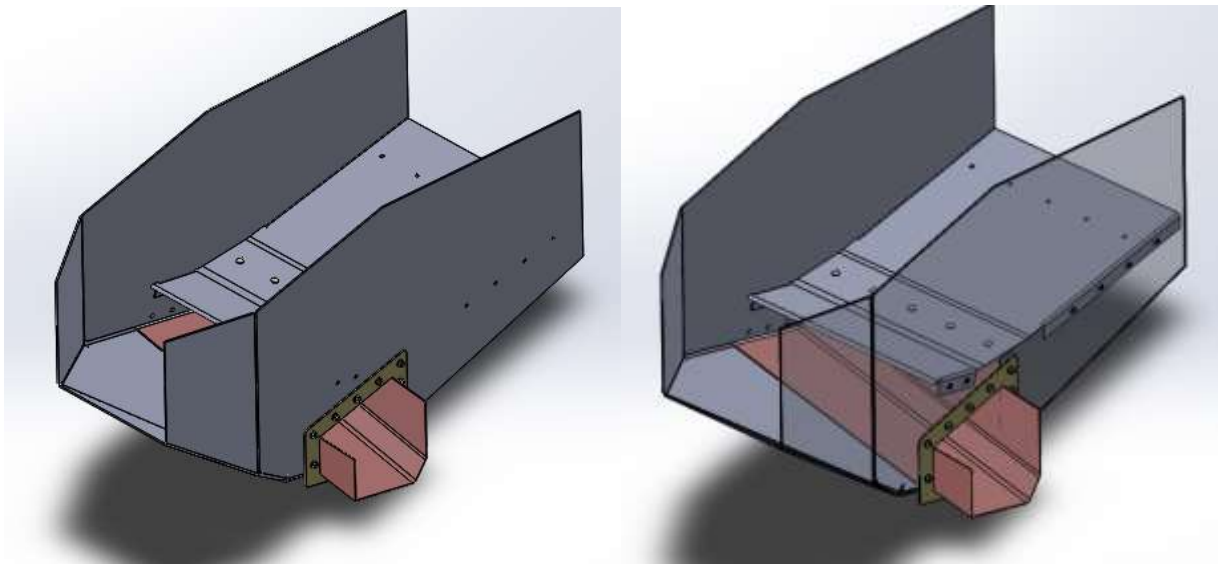


Figura 3-15: Vista general del separador 2. A la derecha se puede ver el lateral translucido, donde se aprecia la rampa de separación y en rojo la base de soporte de canal de terrones extraíble.

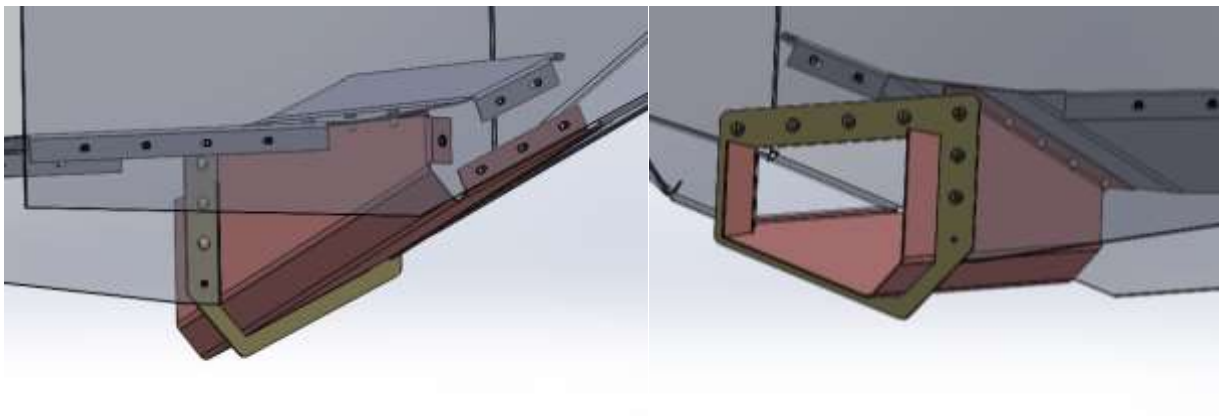


Figura 3-16: vista en detalle del sector extraíble del separador. El mismo se encuentra bridado al cuerpo y a su vez obra de sostén para la rampa de caída.

En las siguientes figuras se observa el conjunto completo de soplador y separador, agregando el ventilador según catálogo y el tubo de admisión. La posición del ventilador se rotó 90° a fin de aumentar el despeje entre el mismo y los órganos inferiores de limpieza, sumado a la posibilidad de evitar la utilización de ventiladores con carcasas espejadas, pudiendo entonces utilizar un único modelo de ventilador.

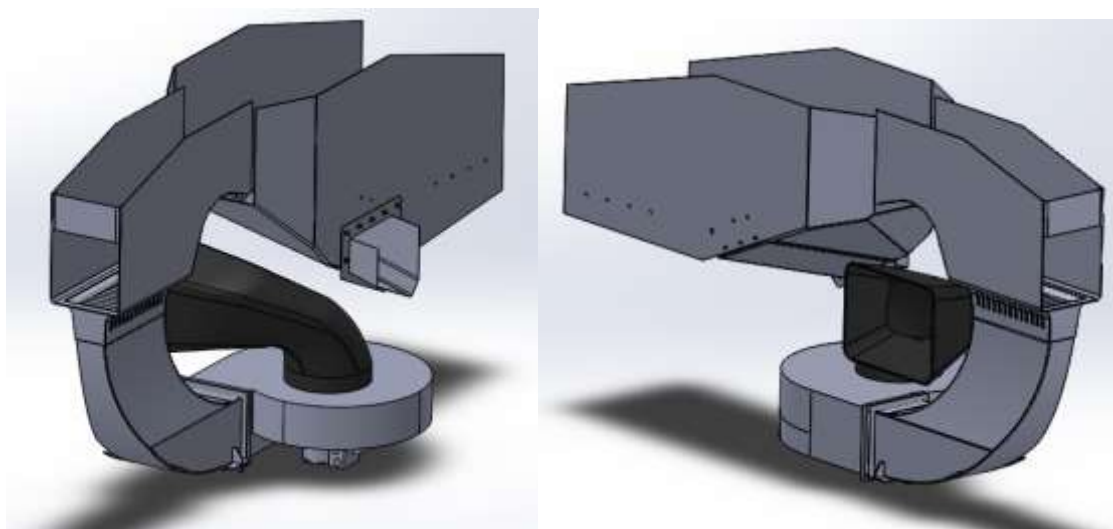


Figura 3-17: Vista general del separador 2. Observar la posición del ventilador hidráulico junto a la toma de admisión de aire las cuales se modificaron respecto al separador 1.

En cuanto a la posición de la rampa se utilizó el mismo procedimiento ya explicado, mostrado en la figura siguiente, remarcando con color rojo la rampa de caída, la cual separa el flujo de papas las cuales rodarán por la zona superior, mientras que los terrones caerán hacia la parte inferior, la cual, con ayuda del ángulo de caída transversal que posee, se trasladarán gravimétricamente hacia la descarga, la cual se explicará en el apartado siguiente. La posición de la bandeja queda entonces como sigue:

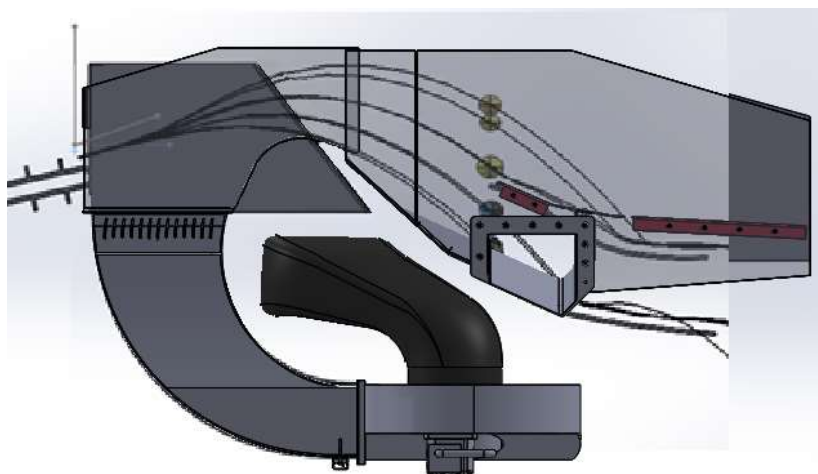


Figura 3-18: Trayectorias de los elementos en juego superpuesto en el conjunto de separación 2. Se identifica en color rojo la rampa de caída.

- Sistema de gestión de residuos

La gestión de los residuos generados por este órgano es fundamental debido a las complicaciones de espacio que se poseen en la máquina ya que, debido a los órganos de limpieza que se encuentran en el primer nivel del equipo, se hace difícil la descarga de los residuos por un espacio libre que pueda alcanzar a la cinta de descarga de terrones entre líneas. Es por ello que, aprovechando las diferencias en la altura de los separadores dados por la inclinación del tamiz y las diferencias en la altura de los cuerpos superiores del soplador, se genera un canal intermedio que une ambas bóvedas inferiores de los separadores, descargando todo el material por el lado izquierdo de la máquina, por el cual se tiene mayor espacio disponible.

En la figura siguiente se muestran los conjuntos de clasificación y separación para dar idea de las posiciones relativas en el espacio de todos los elementos involucrados.

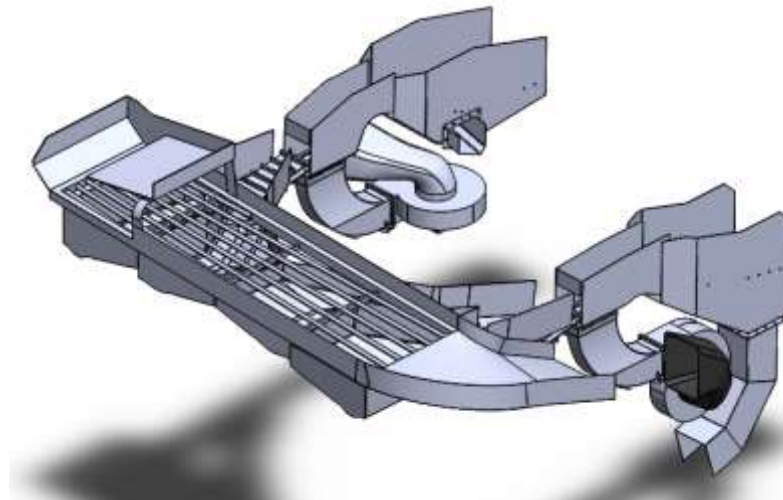


Figura 3-14: Vista general del ensamblaje, contiendo los órganos de clasificación y separación

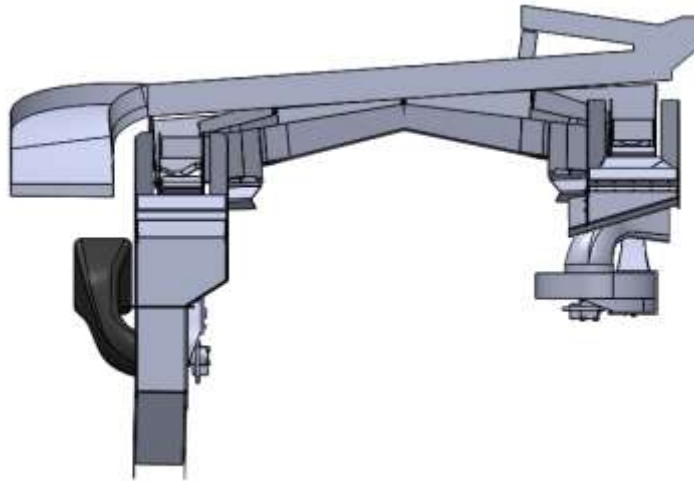


Figura 3-15: Vista trasera del conjunto. Se aprecia la diferencia en las alturas de los separadores, favorecida por el ángulo de inclinación de la rampa y la geometría de los cuerpos separadores.

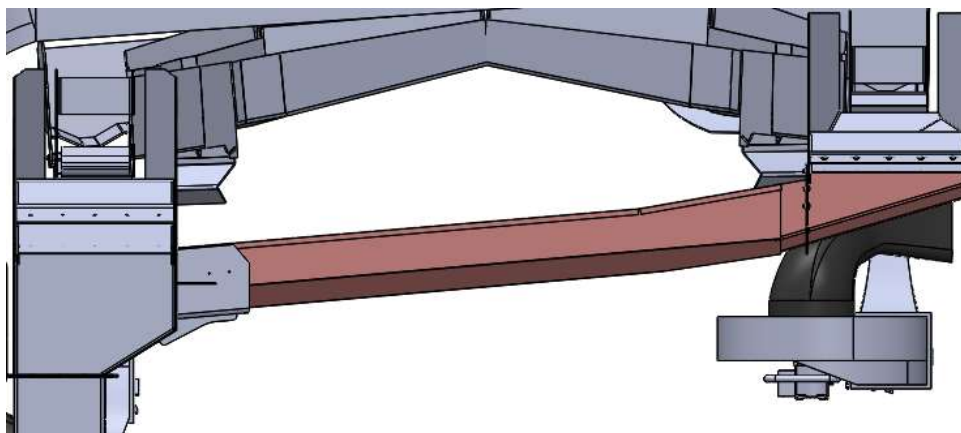


Figura 3-16: Vista trasera del canal creado. Se observa que el mismo se encuentra soldado a la brida desacoplable del separador 2.

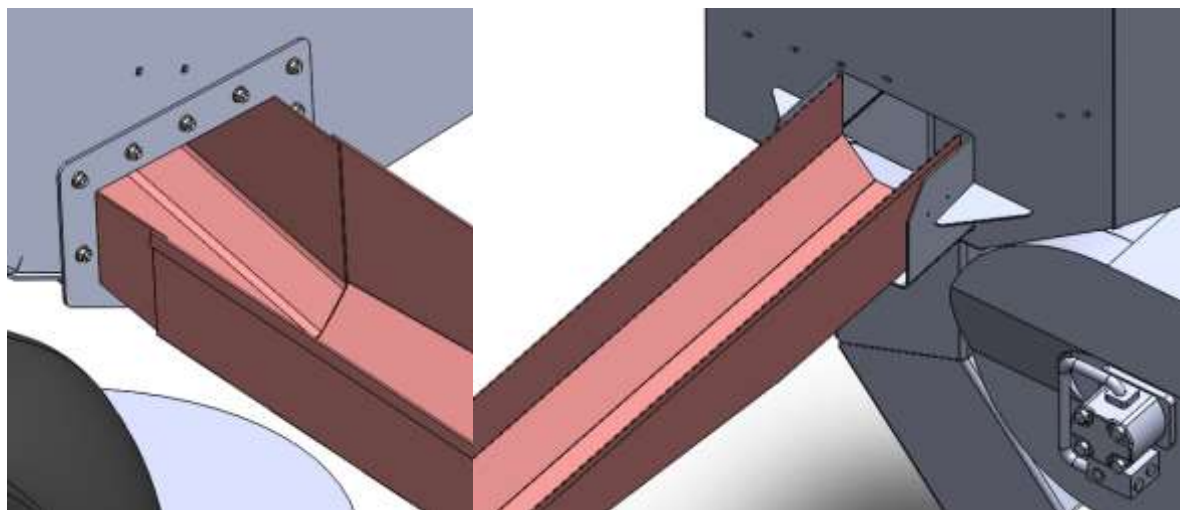


Figura 3-17: Detalles constructivos del canal de desechos. A la izquierda: punto de unión con el tramo desacoplable del separador 2. Derecha: detalle del soporte del lado del separador 1 el cual soportará el peso del canal.

Teniendo en cuenta que las irregularidades del terreno pueden generar torsiones en el chasis que afecten la distancia entre ambos componentes, se decide realizar una unión libre en el extremo correspondiente al separador número 1. La solución al problema fue la instalación de tres patines de material plástico de polietileno de alta resistencia, el cual soportará los deslizamientos longitudinales y transversales del canal. Estos patines se unirán al soporte mediante remaches ocultos. El soporte posee refuerzos mecanizados que aseguran su posición espacial respecto a la cara lateral del cuerpo del separador y favoreciendo a la rigidez del mismo.

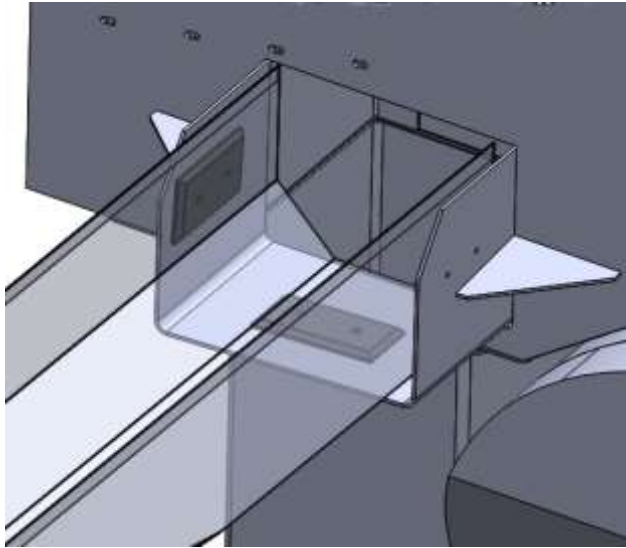


Figura 3-18: Detalle constructivo de los patines del canal de terrones. Los mismos serán remachados al soporte, siendo fabricados de un material de sacrificio con buenas propiedades antifricción como ser el polietileno (PE) de alta densidad.

Por su parte, como se comentó con anterioridad, la descarga de los terrones se realizará del lado izquierdo de la máquina, utilizando para ello una cinta bidireccional que entregue el material descartado entre líneas para la dirección exterior ya labrada en cada pasada. En la siguiente imagen se resaltan ambos elementos con color rojo desde una vista trasera de la máquina.

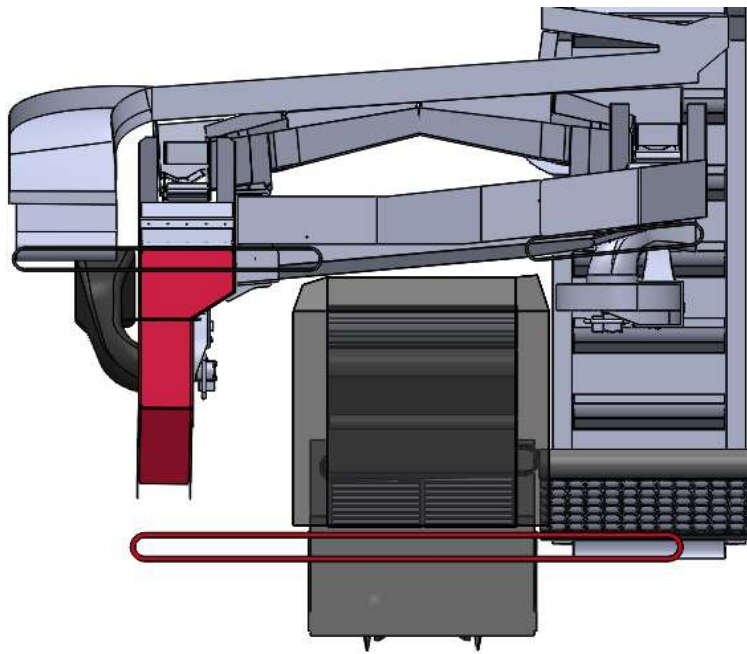


Figura 3-19: Vista trasera de máquina. Se resalta en color rojo la cinta bidireccional de descarte y el tubo principal de desechos a la izquierda.

Diagrama hidráulico propuesto

Para el funcionamiento de los sopladores de caudal variable y los accionadores de las compuertas pertenecientes a las rampas de clasificación se propone el siguiente esquema hidráulico:

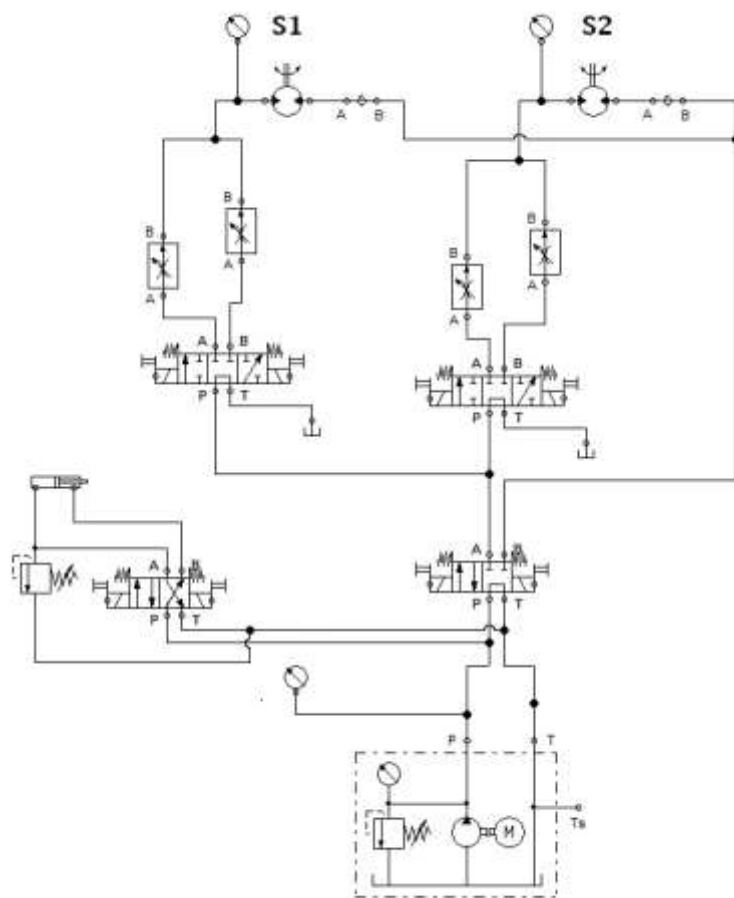


Figura 3- 20: Diagrama hidráulico para el conjunto de sopladores y los actuadores hidráulicos pertenecientes a las compuertas de selección.

Como puede apreciarse en el diagrama de la figura 3-22, se tienen dos grupos principales, por un lado, los motores hidráulicos S1 y S2, los cuales alimentan los ventiladores de separación. Ambos flujos están afectados por dos ramificaciones paralelas que contienen reductores de caudal los cuales modificarán las RPM de los motores, aumentando o disminuyendo el caudal de aire resultante entregado dependiendo del grupo de material que se trate.

Por su parte, la ramificación inferior izquierda refiere a los actuadores lineales que comandan las compuertas de selección, los cuales se representan mediante uno solo de los cuatro presentes en el equipo. Todos ellos son influídos por un limitador de presión propio que regula la presión de esta ramificación evitando deterioros en la misma.

Debido a los requerimientos de los motores hidráulicos, ambos podrían ser alimentados tanto por una estación hidráulica accionada por la toma de fuerza del tractor, como así también poder ser accionada directamente por el sistema hidráulico del mismo, ya que, por ejemplo para el caso de un tractor de la serie 6J de la marca John Deere presenta un sistema hidráulico

capaz de laminar 100l/min, siendo que los sistemas propuestos, en la peor condición rondan los 80l/min, por lo tanto, un pequeño salto en el equipamiento del tractor podría como consecuencia simplificar aún más el sistema.

Posicionamiento final de todos los órganos del equipo

En este apartado se reordenará todo el conjunto de elementos del equipo a fin de mostrar sus colocaciones espaciales finales, para obtener la morfología final del equipo. En las figuras siguientes puede observarse el conjunto de cabezal y cinta de desbroce ya en una posición no lineal, con un leve ángulo en la zona central que aporta al despeje entre la misma y la cinta de transporte transversal que corre por la parte inferior hacia el órgano de limpieza.

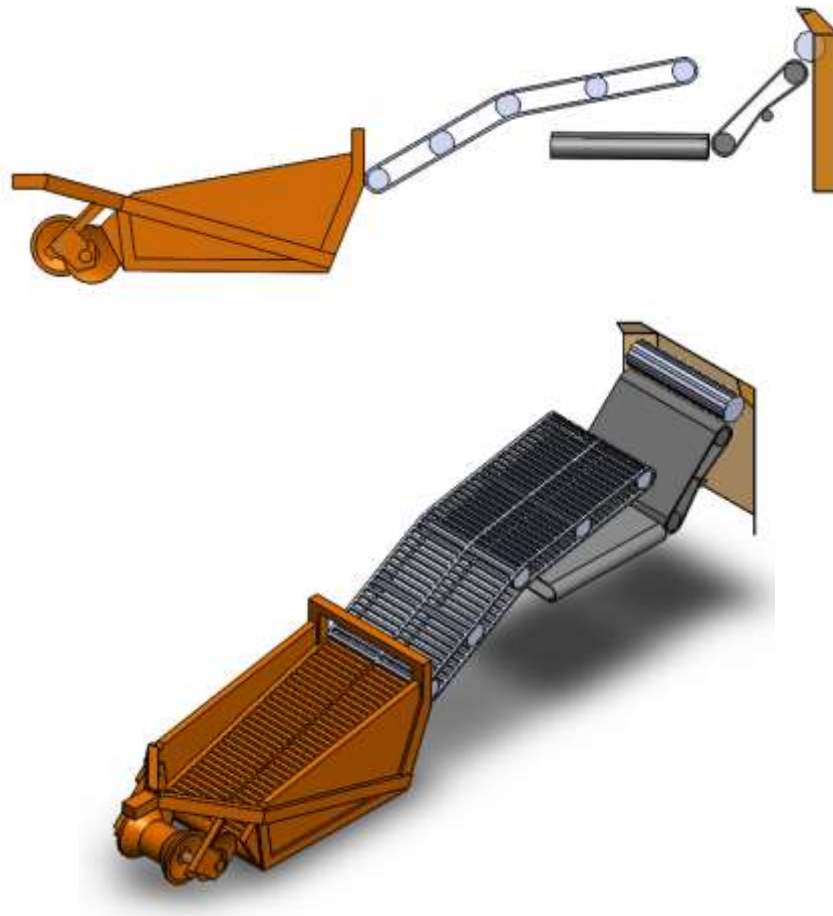


Figura 3-21: Conjunto de cabezal de cosecha, cinta de cribado y sistema de desbroce. Superior: vista lateral.
Inferior: vista isométrica del conjunto

El flujo de material, moviéndose hacia el lado derecho de la máquina es entonces llevado hacia la parte delantera mediante una cinta rotada 90° y alineada con los rodillos de limpieza, los cuales poseen una pendiente que permite la caída hacia la zona delantera, como se aprecia en la figura siguiente:

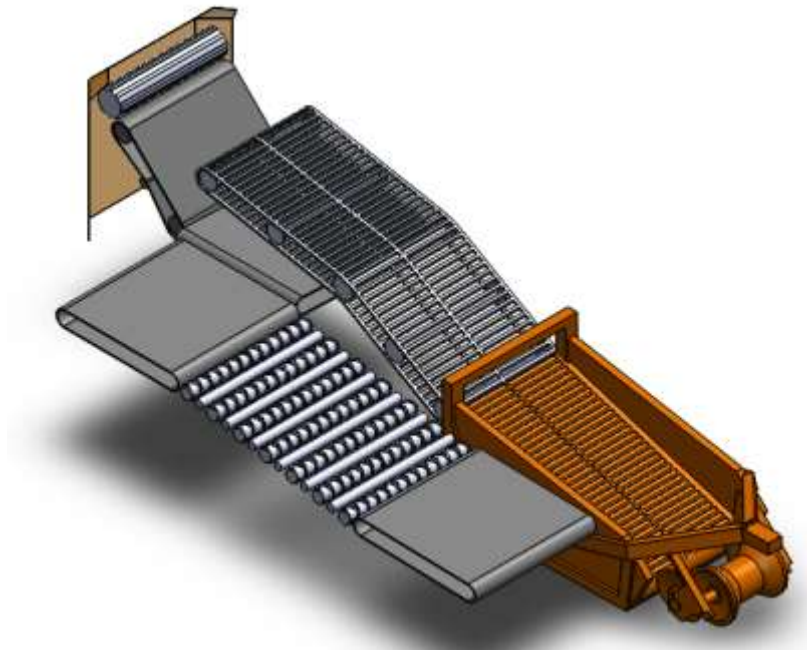


Figura 22: Vista isométrica del conjunto de cabeza, cinta de cribado, cinta de desbroce y sistema de limpieza.

Como segunda instancia se eleva el material mediante el elevador de cangilones y se lo clasifica y separa como se mostró con anterioridad en el apartado anterior, quedando entonces el conjunto como sigue:

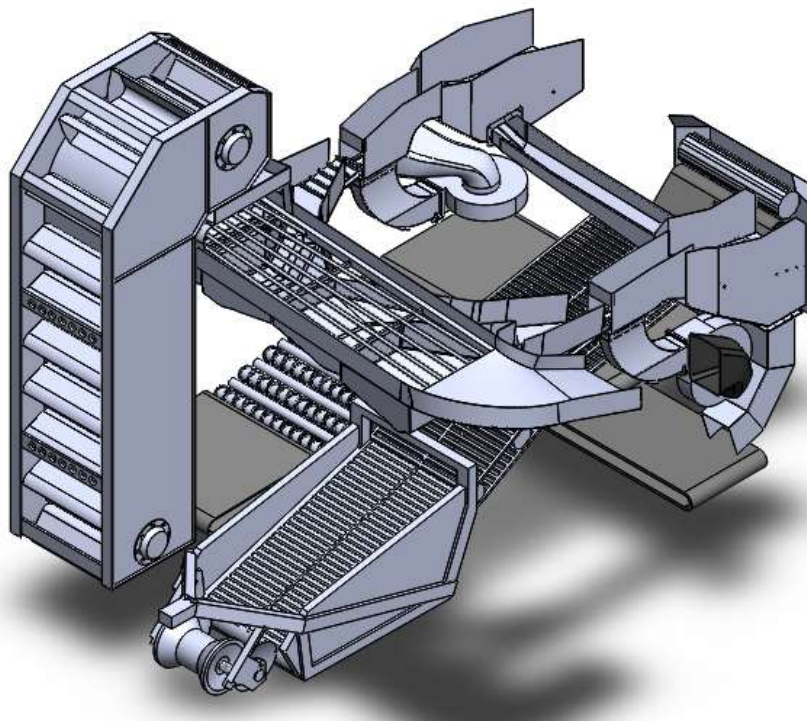


Figura 3-23: Vista isométrica del conjunto de órganos de cosecha, cribado, desbroce, limpieza y separación del material.

Para completar el recorrido que realiza el material, hace falta la última etapa de acopio del mismo, donde se encausa hacia el bolsón de acopio, dotado de una plataforma hidráulica. En la figura 3-28 se aprecian las cintas de transporte hacia el bolsón y el esquema de plataforma que soporta al mismo.

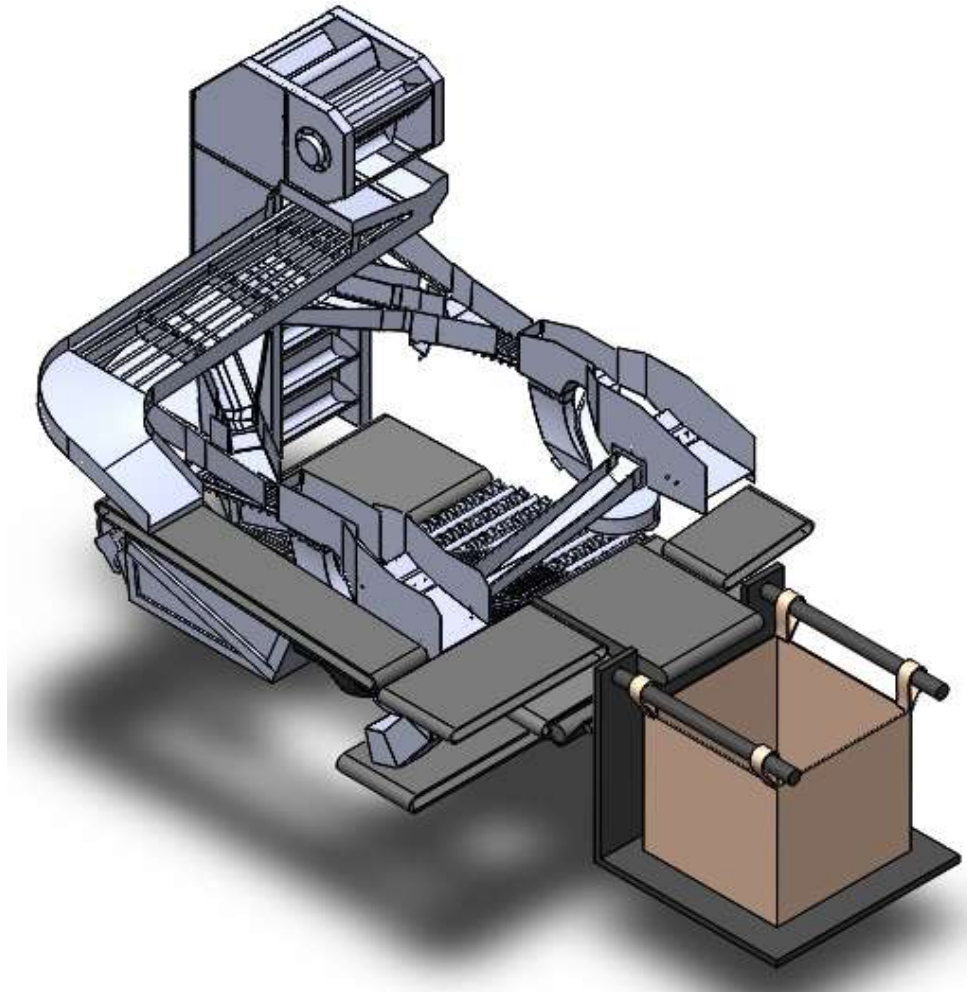


Figura 3-24: Vista general del conjunto, agregando el sistema de transporte por cintas hacia el bolsón de acopio colocado en la parte trasera del equipo.

Para evitar la pérdida de material, se diseñaron una serie de deflectores adosados al conjunto separador para evitar tanto el retroceso, como la caída del material por los laterales de la máquina. Los mismos se aprecian en la figura 3-29.

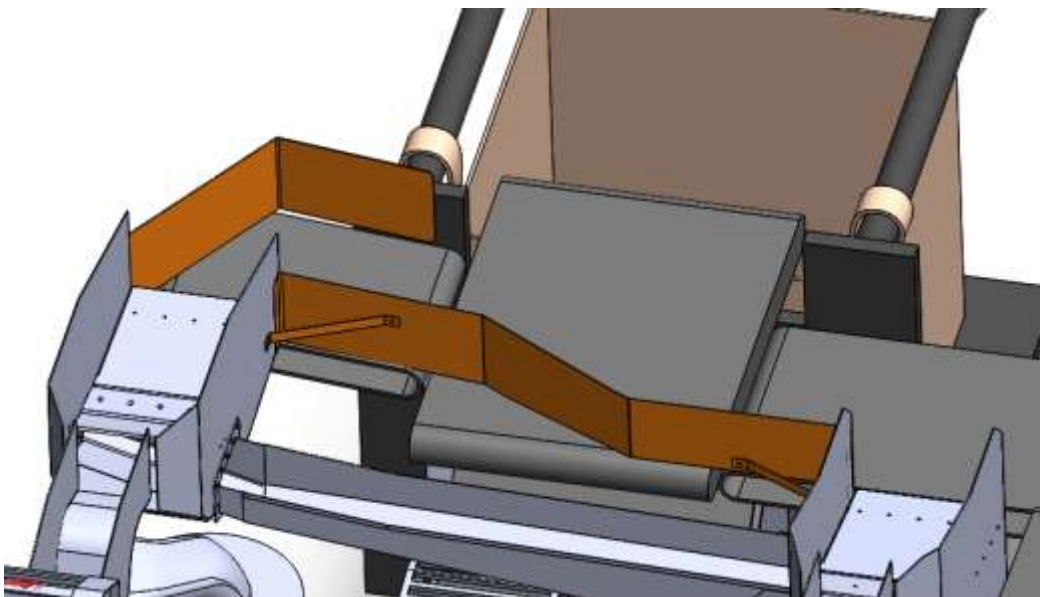


Figura 3-25: Detalle de los deflectores metálicos diseñados a fin de evitar la pérdida de material.

Diseño básico de chasis

Para completar el diseño del equipo se propone la modelización de un chasis que pueda obrar de soporte a todos los componentes generales del equipo y se adapte a la distribución de los órganos en el espacio. Por motivos de extensión del proyecto, no se verificará el mismo a nivel estructural, pero sí se hará hincapié en la posibilidad real de manufactura del mismo, siendo elaborado mediante chapa plegada de varios espesores conocidos, utilizados en otro tipo de vehículos de similares características.

El chasis del equipo constará de un cuadro principal, el cual soportará los esfuerzos generados por el peso propio de los componentes y las fuerzas tractivas generadas en el cabezal, basándose en tres puntos principales de apoyo, como ser el extremo del cabezal y las dos ruedas traseras. Para evitar el solapamiento de los órganos inferiores del equipo, como ser la cinta de cribado y la cinta de eliminación de desechos, se decide optar por una forma de doble puentes paralelos, los cuales parten del cabezal y el punto de tiro descargando en un trapecio trasero donde se conecta el sistema de suspensión. En la figura 3-30 se observa este componente, con la colocación de las ruedas en su posición final. Los perfiles principales se elaboraron utilizando chapa de 1/4".



Figura 3-26: marco principal del chasis. Arriba: se puede observar más detenidamente la geometría principal. Abajo: conjunto posicionado de sistemas de cribado, desbroce, limpieza y cinta de desechos.

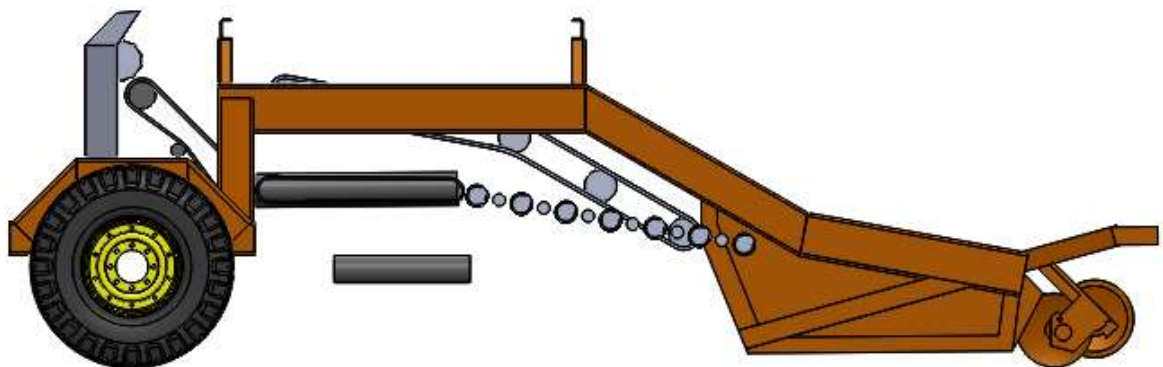


Figura 3-27: Vista lateral del marco principal con los órganos inferiores del equipo. Se observa el despeje crucial entre el chasis y la cinta de transporte hacia el órgano de limpieza. A demás se observa el despeje general de todos los componentes del equipo,

Para evitar la interferencia entre el órgano de desbroce y el sistema de rodadura del equipo, los cuales se encuentran en la misma posición longitudinal de la máquina, se reemplazó el sistema convencional de eje sólido que se podría encontrar en un carro agrícola, por ejemplo, a un sistema de eje rígido desplazado como se observa en la Figura 3-29.

Esta modificación influirá en el comportamiento del conjunto, ya que ambas ruedas poseerán una conexión que evitará que las mismas trabajen de forma totalmente independiente, obrando de barra de torsión, disminuyendo el sacudimiento excesivo del chasis ante irregularidades abruptas en el suelo. Sumado a esto, el espacio generado por el desplazamiento del eje se aprovecha para la localización de la descarga del sistema de desbroce, el cual tendrá la posibilidad de depositar el material en la misma línea de cosecha uniformemente. Las modificaciones mencionadas se encuentran representadas en la figura siguiente:

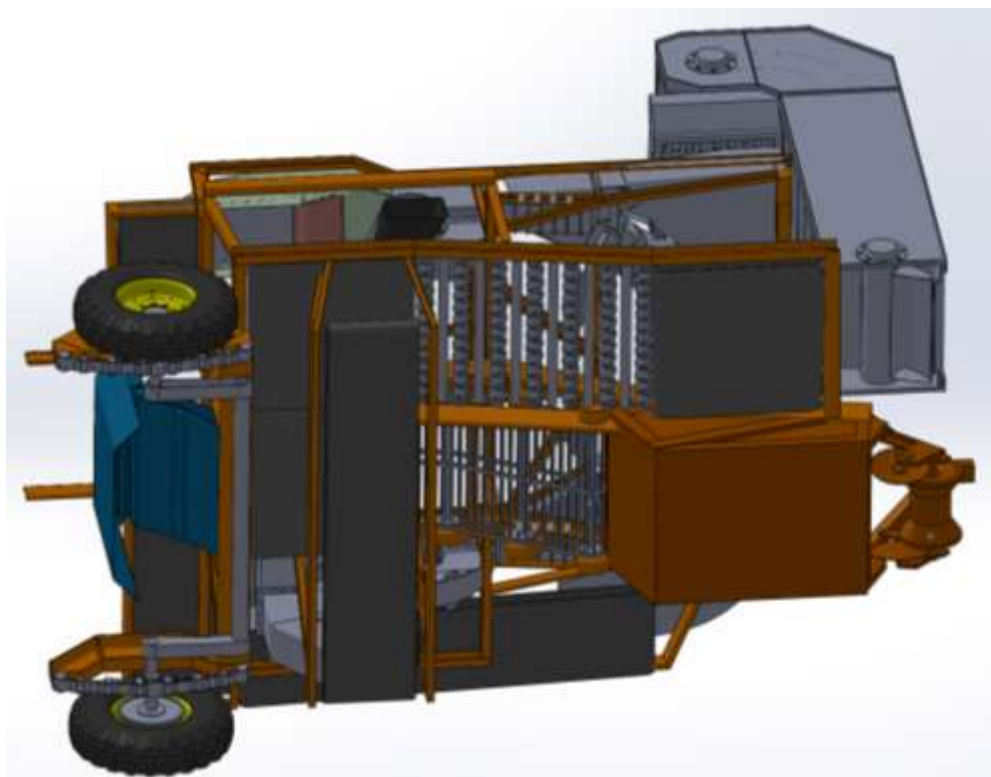


Figura 3-28: Vista inferior del conjunto. Se detalla en color azul el órgano de desbroce junto a su deflector, el cual descarga en posición central a través del espacio generado por el sistema de suspensión del equipo, marcado en color gris.

Una vez obtenida la geometría base, se continúa con el diseño del subchasis o derivaciones secundarias, las cuales darán soporte a los órganos superiores del equipo, tales como los sistemas de clasificación y separación del material.

Tal como muestra la figura siguiente, los sopladores serán colocados desde la parte superior, soportados lateralmente, mientras que se realizará un encajonamiento para el soporte del tamiz y las bandejas de clasificación.

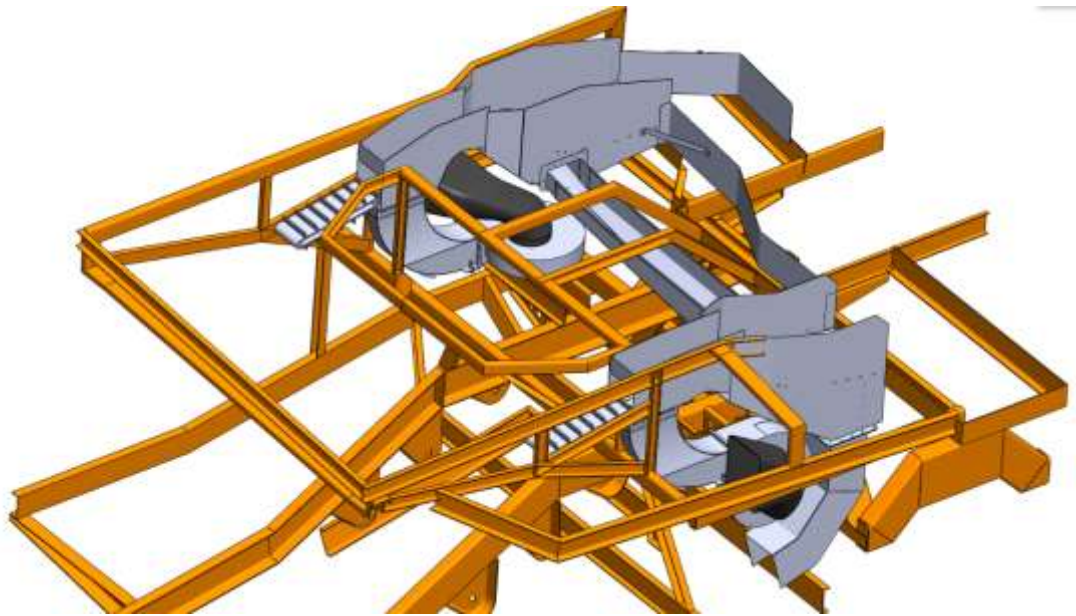


Figura 3-29: Detalle de colocación del conjunto separador. Notar las estructuras laterales que dan soporte al conjunto.

El diseño final del chasis completo puede apreciarse en las figuras siguientes:

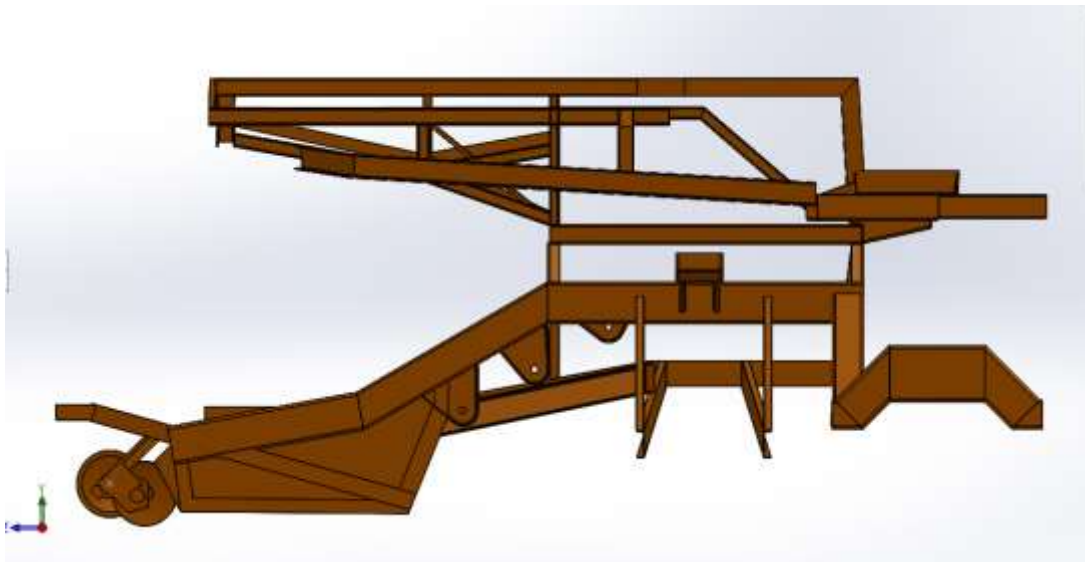


Figura 3-30: vista lateral izquierda de chasis completo.

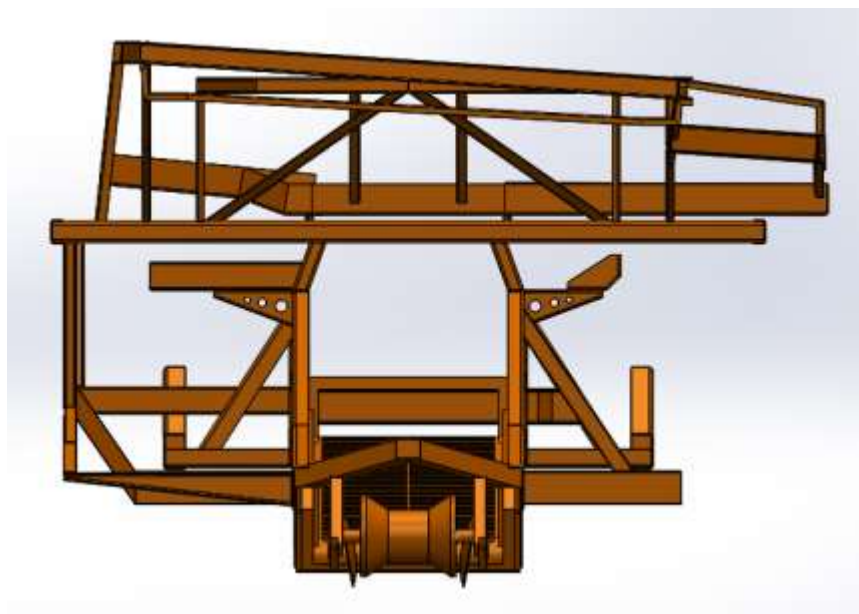


Figura 3-31: Vista frontal de chasis completo.

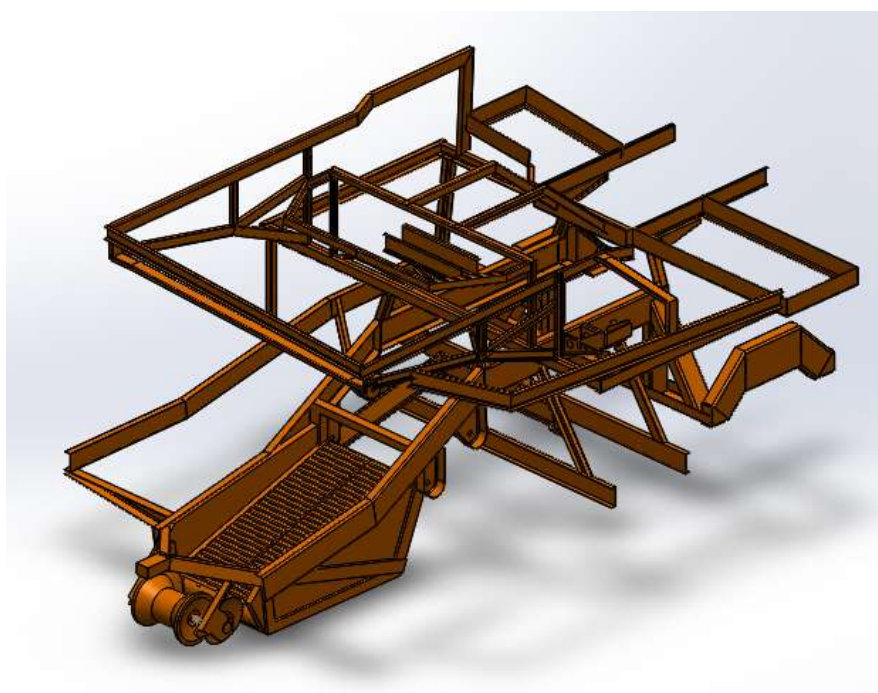


Figura 3-32: Vista isométrica de chasis completo.

Ensamblaje general definitivo del equipo

En este apartado se mostrará el equipo completo, con todos sus órganos en posición y montados en el chasis propuesto. El mismo se aprecia en las siguientes figuras:

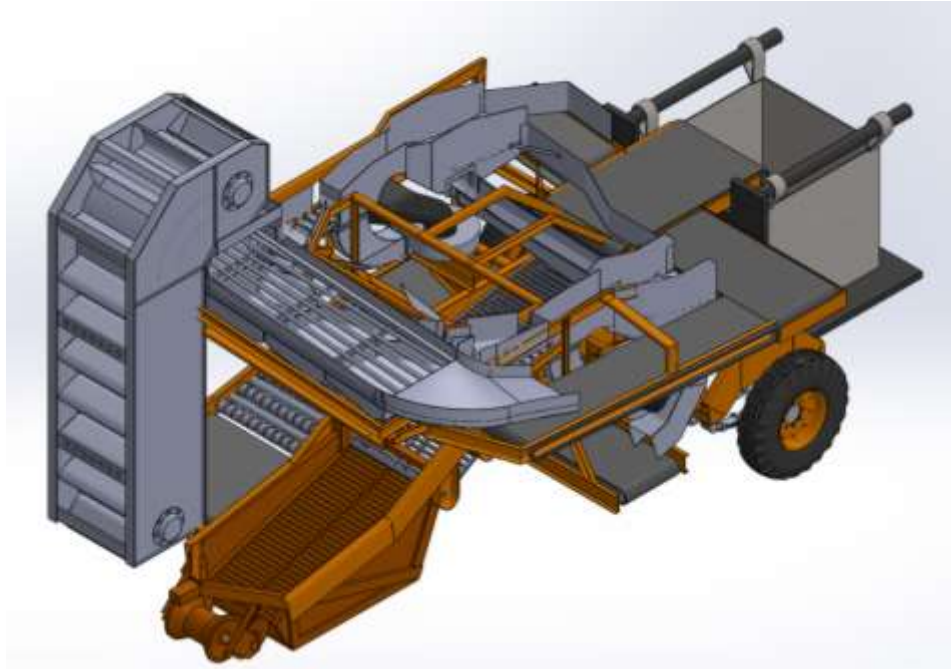


Figura 3-33: Vista isométrica del equipo completo



Figura 3-34: Vista frontal del equipo completo



Figura 3-35: Vista lateral izquierda del equipo completo.

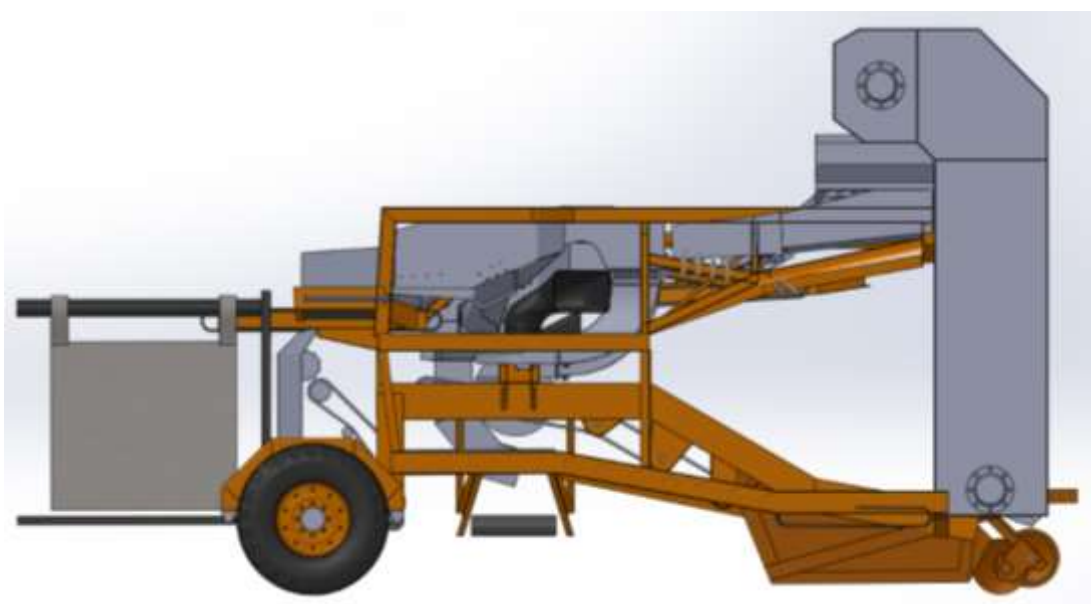


Figura 3-36: Vista lateral derecha del equipo completo.



Figura 3-37: Vista trasera del equipo completo.

Por su parte, las medidas generales del equipo ensamblado se grafican en las figuras siguientes.

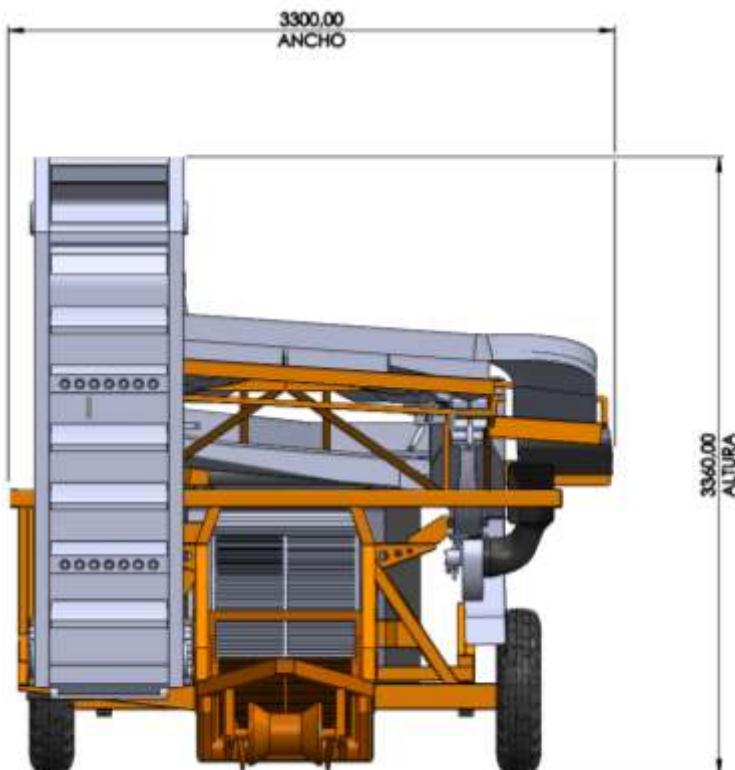


Figura 3-38: Medidas generales del equipo. Ancho y altura del mismo.

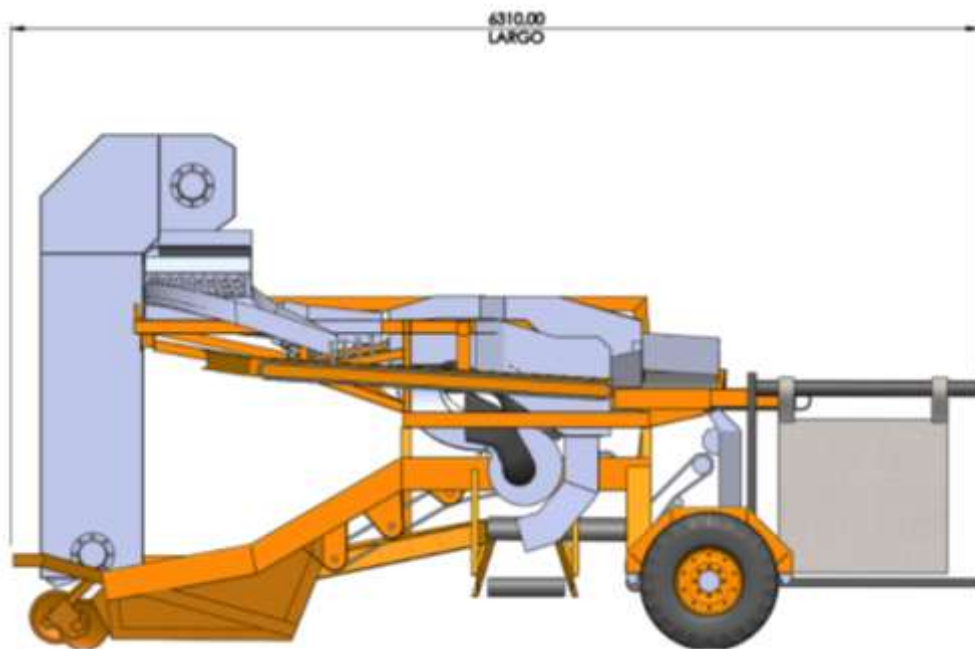


Figura 3-39: Medidas laterales del equipo. Longitud total, desestimando la barra de tiro.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Este estudio pone de manifiesto la utilidad del diseño para atacar los problemas planteados en un marco de condiciones de borde propuestas con anterioridad.

En cuanto a el valor de potencia consumida, se logró un máximo de 83 HP respecto al valor límite propuesto de 90 HP, obteniendo entonces un margen de alrededor de 6,6% de potencia neta, garantizando la utilización de un tractor de media-baja potencia, el cual forma parte del parque de rodados al que se pretende la utilización del equipo diseñado.

En cuanto a la capacidad de trabajo del equipo, se obtuvo un valor de alrededor de 13,5 toneladas horarias en promedio. Se cuenta además con un margen de fluctuación de un 20% de velocidad de trabajo en los separadores, comandado por el flujo máximo de los mismos, cuyo régimen de separación nominal adopta el valor de 20 unidades por segundo, pudiendo trabajar hasta 25 unidades por segundo sin comprometer a la generación de un material de buffer.

Teniendo en cuenta que, para un productor mediano el tiempo requerido para la cosecha de una hectárea mediante el método de recolección manual es de un día, y contrastando los valores obtenidos por el diseño propuesto, el cual logra disminuir este tiempo en un estimado de 2,6 horas, supone entonces una reducción en el tiempo del 89,2%. Dicha reducción se traduce en un aumento de productividad del 298,8% respecto del laboreo manual con acopio en bolsa y carga en camión, contrastando el valor de 4,35 toneladas por hora del mismo, con las 13,5 toneladas horarias que genera el equipo propuesto.

Por su parte, la necesidad de mano de obra respecto a la del trabajo de cosecha, embolsado y cargado en camión se reduce drásticamente. Suponiendo la necesidad de una persona que conduzca el tractor, sumado a la cuadrilla de doce operarios y dos personas que supervisen la carga de las bolsas, se tiene un promedio de quince colaboradores. Mediante la utilización del equipo propuesto, se necesita de una persona que se encargue de la conducción del tractor, sumado a dos o tres personas que se ocupen de la descarga, cambio del bolsón y de la carga en el camión mediante pluma, sumando un total de 4 a 5 personas. Como resultado se logra disminuir la cantidad de mano de obra en, como mínimo un 66,66%, atacando uno de los problemas fundamentales del equipo que se basa en la escasez de la misma para este tipo de trabajos.

Recomendaciones

Se presentan aquí diversas recomendaciones que, debido a motivos académicos no pudieron ser contemplados en este trabajo.

Como recomendación ante futuros trabajos similares se sugiere el estudio de la distribución probabilística de tamaños en el material a fin de generar una clasificación del flujo del mismo de mayor precisión para, en consecuencia, ajustar los parámetros en los órganos de separación.

Como segunda instancia, se recomienda el estudio del comportamiento en la caída del material durante la separación, a fin de minimizar el riesgo de aparición de moretones en el cultivo.

Bibliografía

- Buitrago, G. V., López, A. P., Coronado, A. P., & Osorno, F. L. (2004). Determinacion de las características físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8(1), 102-110. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662004000100015>
- Carvajal-Rivadeneira, A. J., Cevallos-Mera, R. X., Carvajal-Rivadeneira, D. D., & Vega-Ponce, E. C. (2019). Incidencia del grado de humedad en suelos en textura franco limoso, ante la aplicación de las labores de arado y rastrado. *Polo del Conocimiento*, 4(1), 113. <https://doi.org/10.23857/pc.v4i1.874>
- Capezio S.; Constantino S. (2020). *Situación actual de la producción de papa en Argentina. Campaña 2020*.
- Díaz Coral J., Valencia-González Y., Camapum de Calvalho J. (2021). *Validación de una metodología para obtener la envolvente de ruptura al esfuerzo cortante en suelos no saturados compactados*.
- Dirección de Producción Agrícola, Subsecretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (2021). *Producción de papa en la República Argentina*.
- INTA , Huarte M., Capezio S. (2013). *Cultivo de papa en Argentina*.
- INTA, Boletín técnico n°4 (2005). *Indicadores de calidad física de los suelos*.
- Jiménez, J., Fernández, B., Sainz Ayala, J., Monchón, J., Formoso, A., & Bueno, F. (1998). Nuevo modelo matemático para la distribución de carga en el horno alto. *Revista de Metalurgia*, 34(Extra), 158-163. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.1998.v34.iExtra.730>
- Martino, M. J. (2018). *Trastornos músculo esquelético y alteraciones posturales en recolectores manuales de papa*.

Anexo 1

Zonas productoras de argentina

Según informa el relevamiento del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la República Argentina la producción está conformada por ocho provincias principales, ordenadas aquí en volumen descendente: Buenos Aires, Córdoba, San Luis, Tucumán, Mendoza, Salta, Jujuy y Santa Fé.

En la siguiente Figura (A-1) se observan las zonas de producción en el territorio argentino, y el valor porcentual en volumen de producción:

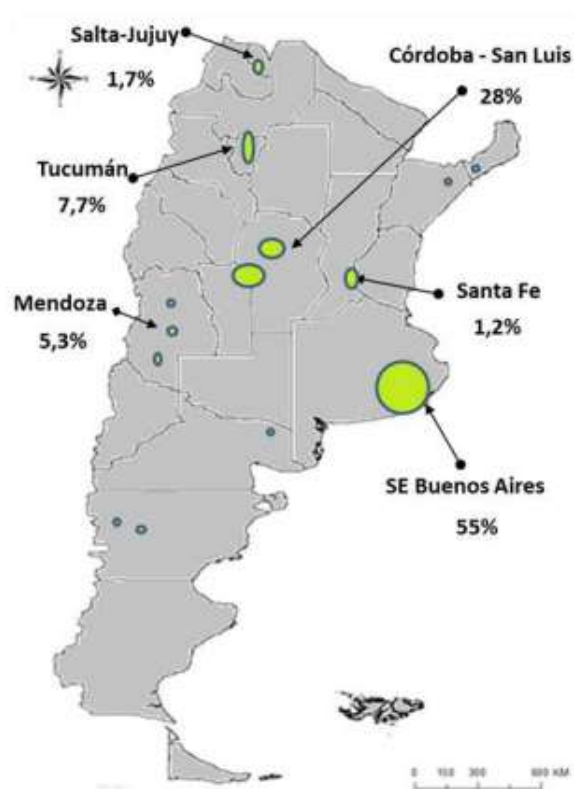


Figura A-1: Zonas productoras de papa en la República Argentina y valores estimados en porcentaje de volumen total de producción

Estacionalidad del producto:

Debido a la debilidad del cultivo a las bajas temperaturas, abundante lluvia y especialmente a las heladas, la producción de papa se puede disgregar en cuatro estadios de cosecha: Temprana, Semi-temprana, Semi-tardía y Tardía.

- **Producción Temprana:** (Tucumán, Salta, Jujuy). Plantaciones de junio y julio permiten cosechas y comercialización de setiembre a octubre. Debido a las altas temperaturas al momento de cosecha hacen que este tipo de producción se deba vender en forma inmediata, en algunos casos en estado inmaduro, generando pérdidas poscosecha.
- **Producción Semitemprana:** (Córdoba, Mendoza, Santa Fe, N de Buenos Aires) participa con un 21% del área y un 14% de la producción. Plantaciones de julio y agosto con cosechas y comercialización de noviembre y diciembre. De manera similar que la zona temprana, la cosecha se acorta debido a las altas temperaturas que impiden la conservación a campo.
- **Producción Semitardía:** (SE de Buenos Aires, Neuquén, Río Negro, Chubut) sobresale el SE de Buenos Aires en importancia. Esta zona, participa con el 50% del área cultivada y el 70% de la producción, se planta en octubre y noviembre con comercialización que se extiende desde enero hasta octubre.
- **Producción Tardía:** (Córdoba, Mendoza, Santa Fe, N de Buenos Aires) representa el 9% del área y el 6% de la producción. Generalmente se realiza en los mismos lotes que la semitemprana; su producción compite con la del SE de Buenos Aires (semitardía).

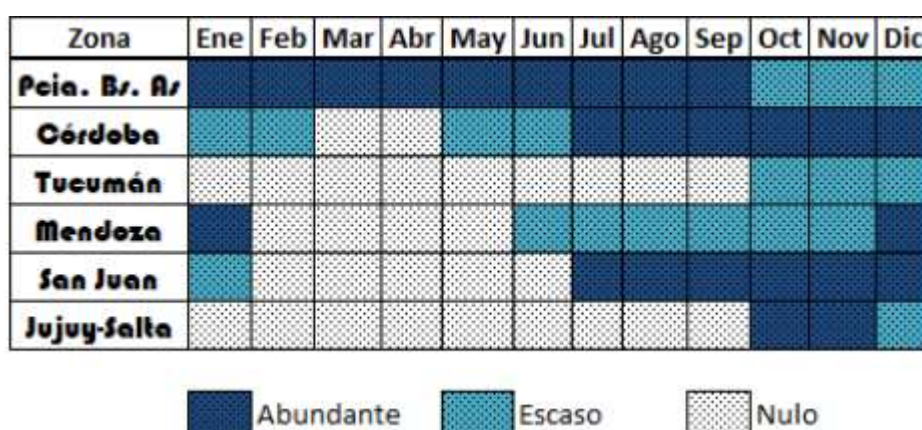


Figura A-2: Estacionalidad de los ingresos de papa según zonas productivas al MCBA.

Costo por bolsa:

Según una encuesta realizada por la revista *Argenpapa* en la campaña 2014/2015 los costos de producción del tubérculo se resumen en el siguiente cuadro, respecto de las ganancias obtenidas por bolsa y según el precio de mercado:

Tabla A-1: Comparativa de ganancias según el rendimiento y precio de mercado en el MCBA. Fuente: Encuesta realizada por Argenpapa para la cosecha 14/15

\$ en el MCBA	Rendimiento						
	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500
200	-975	-538	-101	337	774	1.212	1.649
225	-237	292	822	1.352	1.881	2.411	2.941
250	501	1.123	1.745	2.367	2.988	3.610	4.232
275	1.239	1.953	2.667	3.381	4.096	4.810	5.524
300	1.977	2.784	3.590	4.396	5.203	6.009	6.816
325	2.715	3.614	4.513	5.411	6.310	7.209	8.107

Anexo 2

A continuación, se listan los planos generales, de conjunto de separación y despiece del mismo para el dispositivo desarrollado en este proyecto.