

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA DE  
ESCARIFICACIÓN MECÁNICA DE SEMILLAS DE  
PLANTAS NATIVAS PATAGÓNICAS**



**BASAEZ, Pablo Edgardo**

**PROYECTO INTEGRADOR PROFESIONAL**

Presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del  
Comahue como requisito para la obtención del grado de  
**INGENIERO MECÁNICO**

Neuquén - Argentina

2022

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA DE  
ESCARIFICACIÓN MECÁNICA DE SEMILLAS DE  
PLANTAS NATIVAS PATAGÓNICAS**

**BASAEZ, Pablo Edgardo**

Director: Ing. **CAMPOS, Damián**

Presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del  
Comahue como requisito para la obtención del grado de  
**INGENIERO MECÁNICO**

Neuquén - Argentina

2022

# **DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ESCARIFICACIÓN MECÁNICA DE SEMILLAS DE PLANTAS NATIVAS PATAGÓNICAS**

**BASAEZ, Pablo Edgardo**

Aprobado en fecha 01 de abril de 2022

Tribunal evaluador:

- Mg. Ing. KEIL, Germán.
- Ing. POSDENA, Federico.
- Dr. PÉREZ, Daniel R.

## AGRADECIMIENTOS

Hoy finaliza una etapa importante de mi vida. Este trabajo es la culminación de mi carrera de grado la cual requirió de un gran esfuerzo personal, sustentado por todas las personas que estuvieron a mi lado a lo largo del camino transitado. Por lo que considero importante agradecer a:

A mis padres, Mirta y Julio gracias por los valores, cariño, contención y siempre creer en mí. A mis hermanas, gracias por acompañarme siempre.

A Luciana, por su amor, paciencia, apoyo en los momentos más difíciles y por no dejarme bajar los brazos en oportunidades que pensé en hacerlo.

Al Director del Proyecto Integrador Profesional, Ing. Damián Campos, por su dedicación e incondicional apoyo sin el cual no hubiese podido realizar este trabajo.

Al Ing. Posdena Federico, por su tiempo y conocimiento brindado para el diseño del control de la máquina.

A los demás integrantes del Área Diseño Mecánico del Departamento de Mecánica Aplicada.

Quisiera extender mi agradecimiento a mis amigos, por los momentos compartidos a lo largo de toda la carrera y que atesoraré a lo largo de mi vida. En especial a Santiago C., Agustina, Lucas, Santiago B., Nicolás y Gabriel.

Finalmente, gracias a la Universidad y cada uno de sus docentes, que aportaron su granito de arena para que hoy pueda culminar esta etapa maravillosa.

Y no quiero olvidarme de mencionar a mis compañeros de trabajo del Departamento de Física que siempre estuvieron presentes. ¡A todos ellos gracias!

# **DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ESCARIFICACIÓN MECÁNICA DE SEMILLAS DE PLANTAS NATIVAS PATAGÓNICAS**

Autor: BASAEZ, Pablo Edgardo.

Director: Ing. CAMPOS, Damián.

## **Resumen**

El tiempo de recuperación o de restauración pasiva en ecosistemas áridos, luego de un disturbio severo, puede ocurrir en términos de décadas, cientos o miles de años debido a la baja resiliencia que poseen. Por lo tanto, es necesario realizar actividades deliberadas que inicien o aceleren la recuperación de un ecosistema que se ha degradado.

Por otro lado, la mayoría de los arbustos en las zonas áridas (más del 90 %) posee algún tipo de dormancia que incide en su germinación. Entre ellas, la forma más común es la originada por la impermeabilidad de la cubierta de la semilla al agua y el intercambio de gases. La escarificación mecánica del tegumento de las semillas aumenta su capacidad para absorber agua e iniciar la respiración.

En este trabajo, se diseñó y fabricó una máquina de escarificación mecánica que permite controlar de forma manual y automática los parámetros de interés (velocidad y carga, entre otros). El desarrollo alcanzado se constituye en un valioso aporte para realizar, en ámbitos de laboratorio, estudios de germinación de semillas nativas patagónicas a partir de las muestras tratadas previamente en la máquina.

*Palabras clave: escarificación mecánica, restauración ecológica, diseño mecánico, semillas nativas*

# DESIGN AND MANUFACTURE OF A MACHINE FOR MECHANICAL SCARIFICATION OF SEEDS OF NATIVE PATAGONIAN PLANTS

Author: BASAEZ, Pablo Edgardo.

Advisor: Ing. CAMPOS, Damián.

## Summary

The recovery or passive restoration time in arid ecosystems, after a severe disturbance, can occur in terms of decades, hundreds or thousands of years due to their low resilience. Therefore, it is necessary to undertake deliberate activities that initiate or accelerate the recovery of a degraded ecosystem.

On the other hand, most shrubs in arid areas (more than 90 %) have some form of latency that affects their germination. Among them, the most common form is the one originated by the impermeability of the seed coat to water and gas exchange. Mechanical scarification of the seed coat increases its capacity to absorb water and initiate respiration.

With the aim of collaborating in the recovery of territories damaged by extractive activities and overgrazing, in this work, a mechanical scarification machine was designed and manufactured to control the parameters of interest to carry out germination studies of native Patagonian seeds in the laboratory.

*Keywords: mechanical scarification, ecological restoration, mechanical design, native seeds*

---

## Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO</b>	<b>2</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO</b>	<b>2</b>
3.1. Generalidades . . . . .	2
3.2. Semillas y restauración de ambientes desertificados . . . . .	5
3.3. Escarificación en una especie nativa . . . . .	7
3.4. Metodología de diseño . . . . .	9
3.4.1. Planificación del producto - Declaración de Misión . . . . .	9
3.4.2. Diseño Conceptual . . . . .	10
3.4.3. Ingeniería Básica . . . . .	11
3.4.4. Ingeniería de Detalle . . . . .	14
3.4.5. Pruebas y Refinamiento . . . . .	14
<b>4. DESARROLLO</b>	<b>17</b>
4.1. Planificación del Producto - Declaración de Misión . . . . .	17
4.1.1. Título del Proyecto: . . . . .	17
4.1.2. Descripción del Producto: . . . . .	18
4.1.3. Propuesta de Valor del Proyecto: . . . . .	18
4.1.4. Demandante: . . . . .	18
4.1.5. Suposiciones y Restricciones: . . . . .	18
4.1.6. Involucrados: . . . . .	18
4.2. Diseño Conceptual . . . . .	19
4.2.1. Identificación de las necesidades . . . . .	19
4.2.2. Benchmarking . . . . .	20
4.2.3. Especificaciones Técnicas . . . . .	21
4.2.4. Funciones y Subfunciones . . . . .	21
4.2.5. Generación de Conceptos Solución . . . . .	23
4.2.6. Selección del Concepto Solución . . . . .	27

---

---

4.2.7. Arquitectura de la máquina . . . . .	28
4.3. Ingeniería Básica . . . . .	29
4.3.1. Selección de componentes . . . . .	30
4.3.2. Bastidor y Elementos diversos . . . . .	47
4.4. Ingeniería de Detalle . . . . .	48
4.5. Fabricación y Ensamble . . . . .	49
4.6. Puesta en Marcha. Ensayos. . . . .	51
4.7. Futuras líneas de trabajo. . . . .	55
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>56</b>
<b>6. REFERENCIAS</b>	<b>57</b>
<b>A. Anexo I: Identificación de las Necesidades</b>	<b>64</b>
<b>B. Anexo II: <i>Benchmarking</i></b>	<b>66</b>
B.1. Escarificador de Semillas – EVZ-3 - Zaccaria . . . . .	66
B.2. The Kimseed De-Huller/Scarifier . . . . .	67
B.3. The Seed Scarifier SKR-300 . . . . .	68
<b>C. Anexo III: Planos</b>	<b>70</b>

---

## Índice de Figuras

1.	Sistema de escarificación mecánica entre lijas (Hernandez y col., 2020).	8
2.	(a) Porcentaje de germinación (media $\pm$ 1DS), (b) Curvas de germinación acumulada (media $\pm$ 1EE), (c) Tiempo medio de germinación (TMG) (media $\pm$ 1DE), (d) Inicio de la germinación (IG) (media $\pm$ 1DE) (Hernandez y col., 2020).	8
3.	Metodología de diseño adaptada de Ulrich y Eppinger (2015).	9
4.	Subetapas en la fase de Diseño Conceptual (Ulrich y Eppinger, 2015).	10
5.	Método de Generación de Conceptos (Ulrich y Eppinger, 2015).	11
6.	Tipos de Prototipos (Ulrich y Eppinger, 2015).	15
7.	Riesgo técnico frente a costo de prototipos (Ulrich y Eppinger, 2015).	16
8.	Diagrama de Caja Negra.	21
9.	Análisis de subfunciones.	22
10.	Matriz Morfológica.	24
11.	Concepto Solución 1: Sistema motor-reductor con actuador lineal eléctrico.	25
12.	Concepto Solución 2: Sistema motor-poleas con actuador lineal eléctrico.	25
13.	Concepto Solución 3: Sistema motor-reductor con elevador tipo tijera.	26
14.	Concepto Solución 4: Sistema motor-reductor con tornillo elevador.	26
15.	Arquitectura de la máquina.	29
16.	Procedimiento de selección del conjunto motor-reductor.	30
17.	Factor de servicio ( <a href="https://my.motovario.com">https://my.motovario.com</a> ).	32
18.	Conjunto Motor - Reductor ( <a href="https://transpowersrl.com">https://transpowersrl.com</a> ).	33
19.	Dimensiones generales del reductor ( <a href="https://transpowersrl.com">https://transpowersrl.com</a> ).	34
20.	Selección de un actuador lineal eléctrico ( <a href="https://imwsa.com/es">https://imwsa.com/es</a> ).	36
21.	Velocidad en función de la carga ( <a href="https://www.imwsa.com">https://www.imwsa.com</a> ).	37
22.	Vida útil en función de la carga ( <a href="https://www.imwsa.com">https://www.imwsa.com</a> ).	38
23.	Tiempo de funcionamiento en función de la carga ( <a href="https://www.imwsa.com">https://www.imwsa.com</a> ).	38
24.	Prototipo celdas de carga.	41
25.	Prototipo del bloque de control.	42

---

26.	Diagrama de Flujo del Control Automático. . . . .	43
27.	Esquema del circuito de mando . . . . .	44
28.	Circuito eléctrico. . . . .	45
29.	Cabezal Superior. . . . .	47
30.	Montaje del bastidor. . . . .	49
31.	Montaje de componentes principales. . . . .	50
32.	Máquina de escarificación mecánica de semillas de plantas nativas patagónicas. . . . .	50
33.	Cáncamos de izaje. . . . .	51
34.	Semillas en plato contenedor. . . . .	51
35.	Semillas de Larrea Divaricata Cav. escarificadas. . . . .	52
36.	Parkinsonia Praecox escarificadas. . . . .	54
37.	Resultados del ensayo con Parkinsonia Praecox. . . . .	54
38.	Escarificador de Semillas – EVZ-3 - Zaccaria . . . . .	66
39.	The Kimseed De-Huller/Scarifier . . . . .	67
40.	Principio de funcionamiento de The Kimseed De-Huller/Scarifier. . . . .	68
41.	The Seed Scarifier SKR-300. . . . .	68

---

**Índice de Tablas**

1.	Sistema de ponderación simple. . . . .	20
2.	Jerarquización de las Necesidades del Cliente. . . . .	20
3.	Especificaciones Técnicas Objetivo. . . . .	21
4.	Matriz de Selección de Conceptos . . . . .	27
5.	Matriz de Puntuación de Conceptos . . . . .	27
6.	Especificaciones Técnicas. . . . .	48
7.	Detalle del proceso de selección de parámetros. . . . .	53

## 1. INTRODUCCIÓN

El Monte es un desierto Sudamericano subtropical de clima templado cálido desértico y semidesértico. Se extiende desde los 24° 35' de latitud sur en la provincia de Salta, hasta los 44° 20' de latitud sur en la provincia de Chubut. Limita al oeste con los Andes, en el sur con la Estepa Patagónica, y en el oriente con los bosques subtropicales secos de Chaco y el ecosistema del Espinal (Cabrera, 1976) (Abraham y col., 2009) (Roig y col., 2009). La precipitación media anual varía de los 100 a los 200 mm, condicionado por el entorno del relieve. Se caracteriza fisionómicamente por la presencia de diferentes géneros de arbustos, principalmente Larrea y algunos bosques de Prosopis. Estos árboles y arbustos perennes tienen varios mecanismos para hacer frente a las comunes sequías de la región.

La fragilidad del ecosistema de monte junto a las actividades extractivas (hidrocarburo-rífera y minera) y al pastoreo excesivo de los campos han provocado la desertificación del Monte. Particularmente el Monte en la provincia de Neuquén posee el 92 % de sus ecosistemas con problemas de desertificación (Del Valle, 1998).

La desertificación es definida por el Comité de las Naciones Unidas para la lucha contra la Desertificación como la degradación de tierras secas, originada por las actividades humanas y la variación en el clima.

Esta situación actual plantea la necesidad de realizar intervenciones con el objetivo de recuperar el territorio dañado.

La provincia del Neuquén mediante la disposición SMA N°226/11 establece que las tareas posteriores a la disposición final de los suelos saneados deberán ser las que completen las técnicas de rehabilitación ambiental, donde se incluye la aplicación de técnicas de revegetación. La revegetación deberá realizarse con especies nativas.

Esta disposición plantea el inconveniente de la imposibilidad de obtener cantidad y calidad de semillas para la Rehabilitación y Restauración de áreas degradadas (D.R. Pérez y col., 2009).

Entre las estrategias de recuperación, de sitios degradados, más utilizadas se encuentra la revegetación con plantas nativas. La aplicación de esta técnica requiere extraer de los frutos grandes cantidades de semillas y, en muchos casos, aplicar un escarificado mecánico que facilite la germinación. En ámbitos de investigación, esta tarea se dificulta debido a

---

que el escarificado comúnmente se realiza de forma pseudo artesanal, sin poder controlar las variables involucradas en el proceso (por ejemplo: fuerza aplicada, velocidad y tiempo de raspado, entre otras). En virtud de lo expuesto, el Laboratorio de Rehabilitación y Restauración Ecológica de Ecosistemas Áridos y Semiáridos (LARREA), de la Universidad Nacional del Comahue, solicitó asistencia técnica, al Área Diseño Mecánico del Departamento de Mecánica Aplicada de la Facultad de Ingeniería, para el desarrollo de una máquina de escarificación mecánica de semillas que permita controlar los parámetros de interés con el objetivo de evaluar cuál es el procedimiento más adecuado que se debe aplicar para propiciar una alta tasa de germinación de las mismas.

## **2. OBJETIVO**

Este trabajo tiene como objetivo diseñar y fabricar una máquina de escarificación mecánica de semillas nativas, para ser utilizada en trabajos de investigación priorizando un adecuado control de los parámetros operativos de interés.

## **3. MARCO TEÓRICO**

En este apartado se presentan a modo de síntesis, los fundamentos de los distintos temas que requirieron una adecuada comprensión para poder abordar con solvencia el problema bajo estudio. En tal sentido se hace una referencia general a la problemática de la degradación de tierras áridas y su abordaje, haciendo hincapié en las semillas, restauración de ambientes desertificados y la escarificación de especies nativas. También se presentan las bases de la metodología empleada para el diseño y desarrollo de la máquina escarificadora.

### **3.1. Generalidades**

La degradación extrema de la tierra en las zonas áridas, que se conoce como desertificación, es considerada como uno de los problemas ambientales más importantes a los que se enfrenta el mundo (Reid y col., 2005) (Conliffe, 2011). La restauración ecológica de extensos territorios desertificados es uno de los principales desafíos ambientales a superar en Argentina (Busso y D. Pérez, 2018). Las zonas áridas tienen una marcada susceptibi-

---

---

lidad a los procesos de desertificación debido a su frágil estabilidad ecológica (Busso y Fernández, 2018) por lo que la regeneración natural de áreas degradadas puede requerir centurias sin intervención humana (Defossé y col., 1997) (D. Bainbridge, 2007) (Abella, 2010).

Entre las estrategias empleadas en restauración ecológica de zonas áridas y semiáridas en Argentina, las más utilizadas y con resultados demostrados en numerosos casos son las que utilizan plantación de plantines producidos en vivero (D. Pérez, 2010) (Becker y col., 2013) (Dalmasso y Martínez Carretero, 2013) y en menor medida las que recurren a la siembra directa de semillas nativas (Quiroga y col., 2009) (Salomone, 2013). Para aplicar tanto la siembra como la plantación se requiere contar con material vegetal (semillas y plantines) en cantidad, calidad, y diversidad (Cortina y col., 2004) (Álvarez y D. Pérez, 2018).

La fácil germinación de las semillas es uno de los principales criterios para elegir especies para la restauración en gran escala. Las especies de plantas que sirven de marco o fundantes de la restauración en zonas áridas, requieren fácil reproducción tanto en viveros, como en campo cuando se las siembra en condiciones que ofrecen sitios seguros para su establecimiento (D. Pérez y col., 2019).

La mayoría de los arbustos en las zonas áridas (más del 90 %) posee algún tipo de dormancia que incide en su germinación (C. Baskin y J. Baskin, 2014). Entre ellas, la forma más común es la originada por la impermeabilidad de la cubierta de la semilla al agua y el intercambio de gases. La escarificación del tegumento de las semillas aumenta su capacidad para absorber agua e iniciar la respiración. Las técnicas más comunes que se utilizan son el remojo en agua, la abrasión química, y los tratamientos mecánicos como el lijado o astillado (D. Bainbridge, 2007). La remoción mecánica del tegumento es el método más efectivo y extensamente usado para hacer que las semillas sean permeables. Este consiste en provocar pequeñas grietas en ellas (Silveira y Fernandes, 2006) (Clifton-Cardoso y col., 2008) (Wang y Hanson, 2008) (Pérez-García y col., 2009) (Pereira y Ferreira, 2010) (Wang, Hanson y Mariam, 2011). Se pueden usar como instrumentos limas, cuchilla de afeitar, bisturís o agujas. Además, las semillas se pueden escarificar frotándolas con papel de lija (Sahai y Pal, 1995) (Shaukat y Burhan, 2000) (Uzun y Aydin, 2004) (Cruz y Carvalho, 2006) (Clifton-Cardoso y col., 2008), o rasparse contra un esmeril eléctrico, es

---

decir, una lijadora, (Cruz, Martins y col., 2001). Sin embargo, la escarificación mecánica puede ser un método muy lento para hacer semillas permeables al agua, especialmente si se requieren grandes cantidades de semillas escarificadas como en el caso de su uso para restauración. Para resolver este problema se han construido máquinas que ruedan, frotan o soplan semillas contra una superficie abrasiva como astillas de vidrio o papel de lija en algún tipo de contenedor (Porter, 1949) (Townsend y McGinnies, 1972) (Dignart, 2005)). Cavanagh y col. (1987) señalan: "sin embargo, aunque estas máquinas funcionan bien para semillas pequeñas con un recubrimiento delgado, es posible que no funcionen bien para semillas con un recubrimiento grueso"(C. Baskin y J. Baskin, 2014).

El conocimiento sobre la germinación de especies nativas del Monte es muy limitado, por lo que evaluar los tipos de dormancia que presentan sus semillas es fundamental para lograr la germinación adecuada en los proyectos de restauración. Se han realizado numerosos esfuerzos para revertir este problema. Un ejemplo es la creación del Banco del Árido (Rodríguez-Araujo y col., 2015), destinado a conservar y estudiar la germinación de semillas de plantas nativas de ecosistemas áridos y semiáridos. Entre los resultados obtenidos en el Monte Austral se destacan altos porcentajes de germinación para tratamientos pre-germinativos en especies de la familia Fabaceae (Rodríguez Araujo y Bonvissuto, 2017) (Paredes y col., 2018). Sin embargo, los tratamientos más efectivos para numerosas especies de interés para la restauración, aún no han sido estudiados. Un ejemplo de este desconocimiento son las especies del género *Larrea* cuya distribución anfitropical disyuntiva abarca regiones áridas y semiáridas de Argentina, Chile, Bolivia, Perú, México y el suroeste de los Estados Unidos. Está compuesto por cinco especies: cuatro en América del Sur y una en América del Norte (Hunziker y col., 1972). En Estados Unidos en el desierto de Mojave, una especie muy afín a *L. divaricata* Cav. (*L. tridentata*) ha sido utilizada en plantaciones y siembras de restauración (Abella y col., 2015). En Argentina, *Larrea divaricata* Cav. ha sido utilizada en plantaciones como nodriza para generar debajo de su follaje un microambiente beneficioso para la supervivencia de otras especies (Barchuk y Díaz, 2000). Asimismo, el rol como especie nodriza en el ecosistema de monte, facilitadora del establecimiento de especies de gramíneas y arbustivas ha sido mencionado en diversos trabajos (Rossi y Villagra, 2003) (Bonvissuto y Busso, 2006). Por estas características resulta de interés para el desarrollo de estrategias de restauración en zonas

---

áridas. Si bien son muchas las ventajas de su uso, la dificultad que presenta en restauración ecológica es la ausencia de información de protocolos de propagación en vivero y de tratamientos pre-germinativos exitosos.

### **3.2. Semillas y restauración de ambientes desertificados**

Las semillas representan un estado compacto, resistente e independiente dentro del ciclo de vida de la planta que resulta de utilidad para tareas de conservación de la biodiversidad e investigación (Gold y col., 2004). A diferencia de las plantas adultas, las semillas pueden soportar una amplia gama de condiciones extremas de sequía y temperatura. Su capacidad de pasar por un período de detención del desarrollo y persistir en un estado de latencia es importante como un medio de persistencia y como estrategia de supervivencia de numerosas especies (Fenner, Thompson y col., 2005). En la naturaleza la latencia (o dormancia) produce una germinación retardada e irregular que asegura que algunas plantas germinadas encuentren condiciones propicias y logren establecerse (Willan y CATIE, 2000). Existen tres tipos de latencia: morfológica, física y fisiológica. La latencia morfológica ocurre cuando la semilla liberada es inmadura y requiere de un periodo de crecimiento o diferenciación para que ocurra la germinación. Las semillas con dormancia física poseen una cubierta impermeable que evita el ingreso de agua o el intercambio de gases entre la semilla y el medio exterior. Por otro lado, la latencia fisiológica evita que se produzca la germinación a menos que ocurran cambios químicos en la semilla (Fenner, Thompson y col., 2005). En las plantas del desierto la latencia cumple un rol ecológico importante y algunas especies pueden presentar formas complejas de dormancia (combinación de diferentes mecanismos de latencia) (D. Bainbridge, 2007). Conocer el tipo de dormancia que posee la semilla es indispensable para determinar que tratamiento pre-germinativo aplicar a fin interrumpir dicha latencia y que se produzca la germinación (Rovere, 2006). Actualmente esta información es escasa para numerosas especies de desierto o de zonas áridas, lo que dificulta las tareas de propagación de las mismas. Esto ocurre como consecuencia de que ésta práctica ha estado mayormente basada en la prueba y el error, por lo tanto es necesario aplicar procedimientos bajo condiciones controladas, documentar los resultados y ordenar la información obtenida a fin de poder divulgarla.

La viverización de especies nativas del Monte ha cobrado importancia en los últimos

---

años, ya que las rigurosas características climáticas junto a las actividades humanas de explotación y desvalorización de la flora y fauna nativa han provocado niveles severos de degradación.

El tiempo de recuperación (restauración pasiva) luego de un disturbio severo en ecosistemas áridos puede ocurrir en términos de décadas, cientos o miles de años ([Webb y col., 1983](#)) ([D. Bainbridge, 2007](#)). Esto se debe a la baja resiliencia que poseen estos ecosistemas, es decir, baja capacidad para recobrar atributos estructurales y funcionales luego de la ocurrencia de una perturbación. Por lo tanto es necesario realizar actividades deliberadas que inicien o aceleren la recuperación de un ecosistema que se ha degradado. El proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema se denomina Restauración ecológica, y se basa en la reparación de los procesos, productividad y los servicios de un ecosistema, además del restablecimiento de la integridad biótica preexistente. Mientras que la rehabilitación no enfatiza en este último punto ([Society for Ecological Restoration, 2004](#)).

[Holling \(1973\)](#) introduce por primera vez el concepto de resiliencia en la literatura ecológica como una forma para comprender las dinámicas no lineales así como los procesos a través de los cuales los ecosistemas se auto-mantienen y persisten frente a perturbaciones y los cambios. Según definiciones de [Holling \(1973\)](#), la resiliencia hace hincapié en las condiciones de un sistema complejo alejado del equilibrio donde las inestabilidades pueden transformar al mismo para que presente otro régimen de comportamiento, así la resiliencia es medida por la magnitud de perturbaciones que pueden ser absorbidas por el sistema antes de que sea reorganizado con diferentes variables y procesos. La sustentabilidad, por ende, es la capacidad de un sistema complejo de mantenerse en el tiempo a pesar de la volatilidad ambiental fomentado por el aprendizaje, la transformación, la renovación y la evolución continua ([Calvente, 2007](#)).

Estudios realizados en la Patagonia demuestran que la revegetación natural en el interior de canteras escarificadas y en las explanadas abandonadas, es muy pobre o nula ([González y col., 2009](#)). Se han desarrollado tareas de rehabilitación mediante la reintroducción de especies nativas viverizadas que lograron altos niveles de supervivencia ([Ciano y col., 2000](#)) ([Dalmaso, Carretero y col., 2002](#)) ([D. Pérez, 2010](#)) ([González, 2010](#)); pero para ello se requiere material vegetal en cantidad, calidad y diversidad adecuadas. La im-

---

portancia del uso de semillas para la propagación de plantas nativas radica en que poseen una gran variabilidad genética como consecuencia del intercambio genético durante la reproducción sexual, lo que les confiere una mayor probabilidad de supervivencia frente a los procesos de selección natural (Gold y col., 2004) (Fenner, Thompson y col., 2005).

La relevancia del estudio de la germinación de especies nativas del Monte se debe a que es imprescindible contar con semillas de especies de interés para la restauración ecológica e información sobre la metodología adecuada para su propagación. Sin embargo son pocos los estudios realizados zona patagónica hasta la fecha (Masini, 2011) (Bustos y col., 2004).

### **3.3. Escarificación en una especie nativa**

El conocimiento sobre la germinación de especies nativas del monte es muy limitado, por lo que evaluar los tipos de dormancia que presentan sus semillas es fundamental para lograr la germinación adecuada en los proyectos de restauración. *Larrea divaricata* Cav., comúnmente denominada Jarilla, ha sido utilizada en plantaciones como especie nodriza y facilitadora del establecimiento de especies de gramíneas y arbustivas en ecosistemas de monte.

Por las características señaladas precedentemente, resulta de interés para el desarrollo de estrategias de restauración en zonas áridas. Si bien son muchas las ventajas de su uso, la dificultad que presenta en restauración ecológica es la ausencia de información de protocolos de propagación en vivero y de tratamientos pre-germinativos exitosos.

En este marco, el trabajo realizado por Hernandez y col. (2020), dejó en evidencia la efectividad de tratamientos pre-germinativos con *Larrea divaricata* Cav. Luego, este proceso a mayor escala, puede ser replicado en siembras directas y/o producción de plantines de vivero en plantaciones para restauración ecológica.

En dicho trabajo, se realizaron tres tratamientos pre-germinativos más un control:

- Alternancia de períodos de remojo y secado (T1).
  - Períodos de remojo y enjuague (T2).
  - Escarificación física a lija rotante con un taladro de mano y una lija fija en la mesa (T3), ver detalle en Figura 1.
-



Figura 1. Sistema de escarificación mecánica entre lijas (Hernandez y col., 2020).

Para cada tratamiento y control se analizó el porcentaje de germinación final (G), tiempo medio de germinación (TMG) y los días transcurridos hasta el inicio de la germinación (IG). El tratamiento de escarificación mecánica tuvo resultados significativamente mejores que los demás tratamientos pre-germinativos, con un porcentaje final de 60,67 %, un tiempo medio de germinación de 6,32 días y un inicio de germinación de 2 días (ver Figura ??).

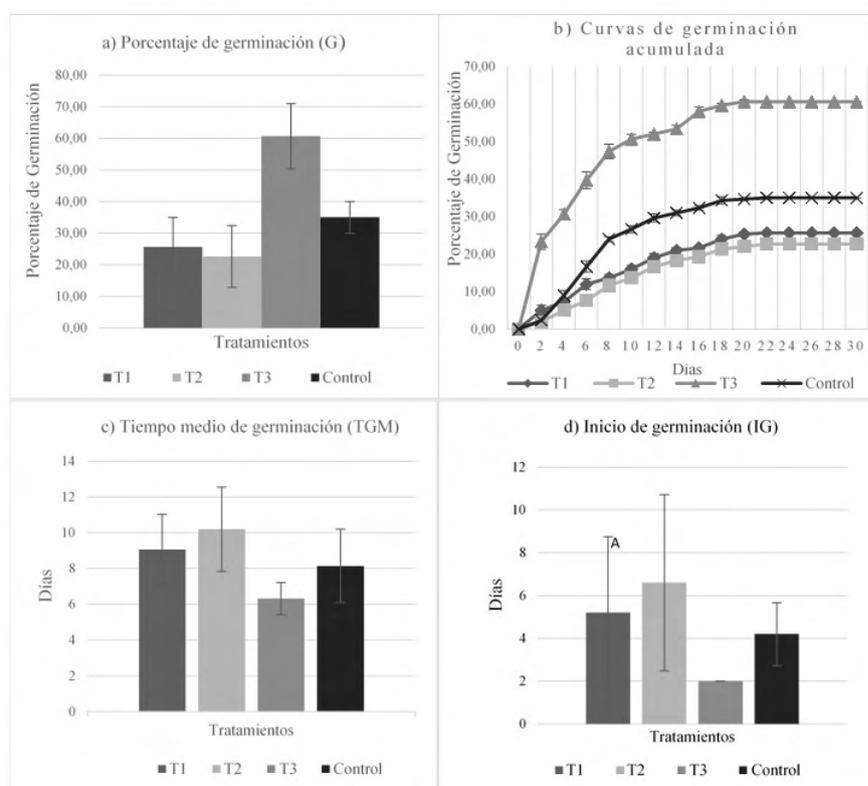


Figura 2. (a) Porcentaje de germinación (media  $\pm$  1DS), (b) Curvas de germinación acumulada (media  $\pm$  1EE), (c) Tiempo medio de germinación (TMG) (media  $\pm$  1DE), (d) Inicio de la germinación (IG) (media  $\pm$  1DE) (Hernandez y col., 2020).

Los resultados obtenidos, indican que la escarificación mecánica es una técnica óptima para la propagación a gran escala de *Larrea divaricata* Cav., ya que se pueden tratar gran cantidad de semillas en poco tiempo y la simpleza de la técnica permite que pueda ser replicado en diferentes proyectos de restauración.

### 3.4. Metodología de diseño

El desarrollo de un producto es una secuencia de pasos y actividades que un grupo de trabajo, organización o empresa utiliza para concebir, diseñar y comercializar un producto o servicio. En este sentido, establecer un proceso de desarrollo bien definido es útil para tener en cuenta los recursos disponibles y las restricciones, al momento de planificarlo.

En el presente trabajo se sigue la metodología propuesta por los reconocidos autores [Ulrich y Eppinger \(2015\)](#). Si bien no es posible establecer con claridad dónde empieza y termina cada una de las etapas, la división facilita la ejecución y control del proceso de diseño (ver Figura 3).



Figura 3. Metodología de diseño adaptada de [Ulrich y Eppinger \(2015\)](#).

Es importante destacar que las actividades propuestas se enmarcan en un proceso iterativo, en el cual en cualquier etapa de las antes mencionadas, se puede volver a una anterior con el objetivo de encontrar la mejor solución.

#### 3.4.1. Planificación del producto - Declaración de Misión

A la actividad de planificación se la suele denominar “Fase Cero”, porque precede a la aprobación del proyecto y lanzamiento del proceso real de desarrollo del producto. Esta fase comienza con la identificación de las oportunidades guiada por la estrategia corporativa, contemplando la evaluación de los avances tecnológicos y los objetivos de mercado.

Se pretende en esta fase poder definir la Declaración de Misión, donde se va a especificar cuál es el objetivo del producto tanto a nivel económico como de necesidades a satisfacer, también se pretende plantear las suposiciones y restricciones a las que estará sujeto el mismo.

### 3.4.2. Diseño Conceptual

En la fase de Diseño Conceptual se identifican las necesidades de los usuarios, se definen las especificaciones técnicas, se generan en un proceso de síntesis y evalúan conceptos alternativos, centrando la mirada en el funcionamiento y aspectos estructurales y tecnológicos básicos. Con el objetivo de facilitar su ejecución, Ulrich y Eppinger (2015) han propuesto una secuencia de tareas conforme a lo expuesto en la Figura 4.

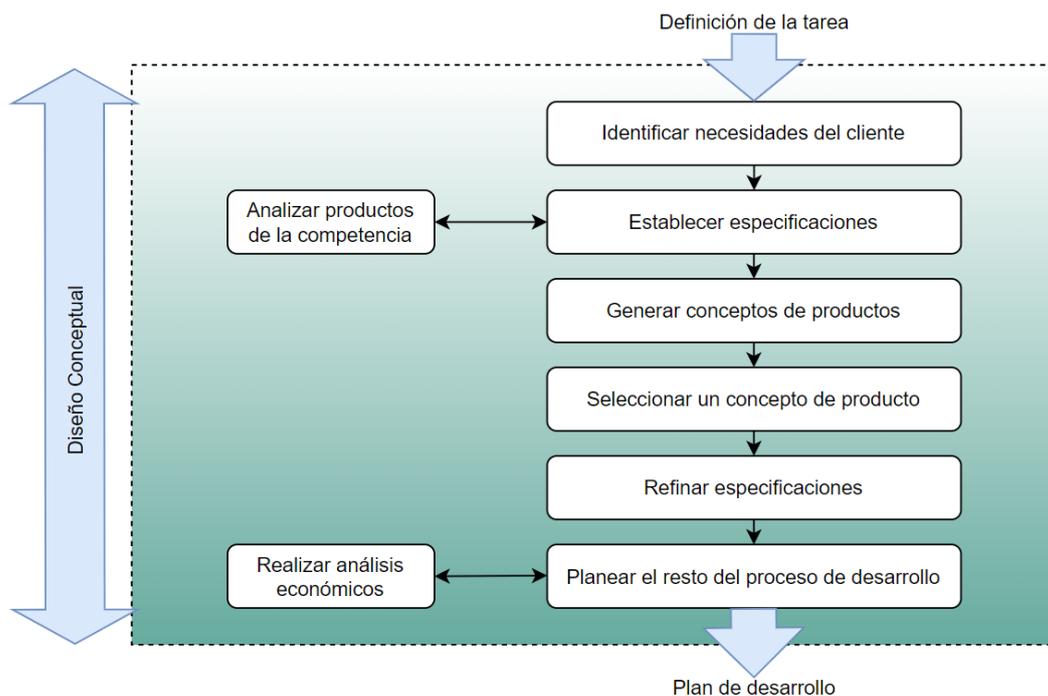


Figura 4. Subetapas en la fase de Diseño Conceptual (Ulrich y Eppinger, 2015).

Reconocidos autores en la temática como ser Ulrich y Eppinger (2015), Pahl y Beitz (2007) y Ullman (2010), coinciden en que los mayores esfuerzos del proceso de diseño deben concentrarse en esta etapa, dado que en la misma quedan definidas las bases de la performance y los costos asociados. A partir de allí, el proyecto adquiere una “rigidez” tal que, cualquier modificación necesaria en el mismo en las etapas de Ingeniería Básica y de Detalle, implican un significativo costo complementario. Específicamente en la

sub-fase de Generación de Conceptos, dada su criticidad, [Ulrich y Eppinger \(2015\)](#) proponen una metodología detallada para su desarrollo tal como se presenta en la Figura ???. Finalmente, luego aplicando metodologías aptas para el propósito, que incluyen dado el caso simulaciones simples y ensayos focalizados, se selecciona el concepto solución. El mismo se representa habitualmente por medio de esquemas gráficos a nivel de croquis acompañados de una memoria descriptiva.

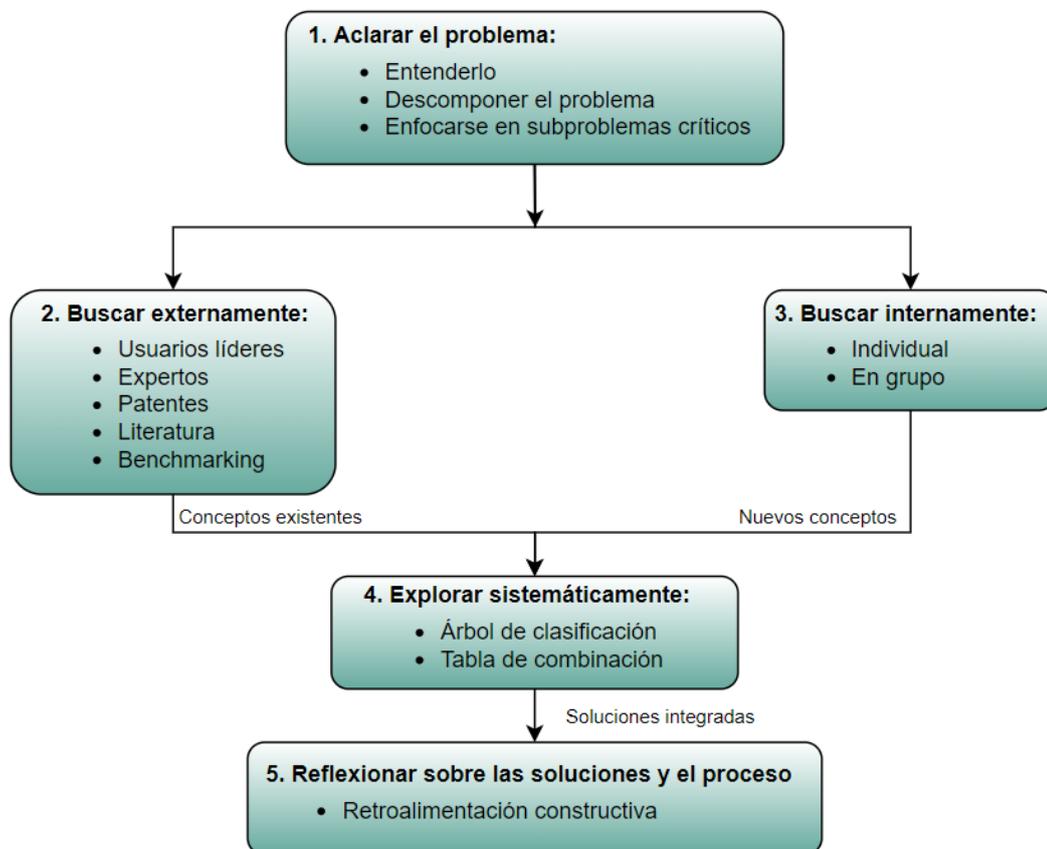


Figura 5. Método de Generación de Conceptos ([Ulrich y Eppinger, 2015](#)).

### 3.4.3. Ingeniería Básica

Una vez seleccionado el concepto solución, se determina la configuración de diseño global y definitiva del producto que permite obtener una visión general de los materiales, las formas y dimensiones, y del proceso de fabricación. Estos tres elementos condicionan las decisiones de diseño de esta etapa y están estrechamente relacionados entre sí, dado que un diseño concreto puede requerir formas complejas para ser funcional o para reducir

el número de piezas, pero su fabricación puede ser más costosa y compleja así como los materiales necesarios para su conformación.

Los trabajos en esta etapa son los que más se acercan a las actividades tradicionales de los departamentos de diseño. En ellas, profesionales que dominan las nuevas técnicas de modelización y simulación (CAD/CAE) así como las de prototipado y ensayo, desarrollan las piezas, elementos y conjuntos que compondrán el producto. Estas actividades son típicamente iterativas y se dirigen hacia la optimización (en función de los recursos humanos, materiales y de tiempo disponibles). En las fases de simulación y evaluación de las soluciones, conviene desarrollar prototipos funcionales y realizar una evaluación mediante ensayos (fiabilidad, durabilidad, etc).

Las metodologías clásicas dan recomendaciones y reglas básicas sobre cómo obtener en esta etapa soluciones correctas en ingeniería mecánica. Debe tenerse en cuenta dada la complejidad creciente de las máquinas, la necesidad de obtener índices de confiabilidad adecuados con consideraciones particulares sobre las denominadas técnicas *DfX* (del inglés “*Design for X*”) que se proponen con el fin de centrar el objetivo del diseño en algún factor X que la Empresa considere relevante. En general, este concepto suele estar relacionado con estrategias de la Ingeniería Concurrente (Riba, 2010).

Se suele hablar de diseño para: la fabricación, el ensamblaje, el mantenimiento, la fiabilidad, la seguridad, el medio ambiente, la reutilización, el reciclaje; por mencionar solamente los más relevantes. Con ello se enfatiza en el enfoque que la Empresa quiera darles a sus productos como elemento diferenciador de la competencia y de valor añadido, además de reducción de costos y aumento de flexibilidad en los procesos de producción.

Una de las metodologías de diseño utilizadas en Ingeniería Concurrente, particularmente las relacionadas con la productividad, es Diseño para Fabricación *DFM* (del inglés “*Design for Manufacturing*”), que se puede definir como una colección de programas, técnicas, métricas, herramientas y métodos para mejorar la fabricación de partes o simplificar el ensamble de productos, analizando valores, tolerancias, movimiento, complejidad y conveniencia para el ensamble manual, automático o flexible (robótico) para que se adapte de manera óptima, a un sistema de fabricación particular, en cuanto a costo y calidad.

Mediante esta metodología se pretende que además del diseñador, personas del equipo

---

de producción, e inclusive los proveedores, participen en el proceso de diseño, a fin de garantizar la fabricación. Sin embargo, no solo se utiliza, como se mencionó anteriormente, sino que es una herramienta de *benchmarking* que permite estudiar los productos de la competencia y cuantificar las dificultades de fabricación y ensamble.

El diseño para fabricación utiliza información de muchos tipos como: planos, especificaciones del producto y alternativas de diseño, un entendimiento detallado de los procesos de producción y ensamble, y una estimación de costos y volúmenes de producción, para lograr su objetivo último, que es obtener un artículo de alta calidad con el mayor aprovechamiento de los recursos. Por lo tanto, es necesaria la colaboración de miembros del equipo de desarrollo, así como de expertos externos a él (Ulrich y Eppinger, 2015).

Para la aplicación de *DFM* en general, es decir, sin especificaciones para un proceso, se pueden tener en cuenta los siguientes elementos:

1. Estimar el costo de fabricación.
2. Reducir el costo de componentes.
3. Reducir el costo de los ensambles.
4. Reducir el costo de producción.
5. Considerar el impacto de las decisiones de *DFM* sobre otros factores.

Antes de llevar a cabo la selección del proceso, es necesario hacer algunas consideraciones en cuanto a los factores que afectan la selección del mismo, como:

1. Materiales: específicamente las propiedades mecánicas y físicas.
2. Geométricos: entre los que se encuentran la forma, el tamaño y el peso de la pieza, y las tolerancias y acabados superficiales de la misma.
3. Producción: entre los que están el tiempo de mercadeo, y la cantidad y la tasa de producción.

Finalmente el resultado de la Ingeniería Básica se da en forma de planos de conjunto o esquema de configuración, lista preliminar de piezas y, convenientemente, una memoria con los aspectos más relevantes del proceso de esta etapa (soluciones descartadas y motivos, resultados de las simulaciones y ensayos, prototipos, etc.).

---

#### **3.4.4. Ingeniería de Detalle**

De acuerdo a la metodología propuesta, se considera a la Ingeniería de Detalle como la última etapa del proceso de diseño. Esta se desarrolla a partir de la definición proporcionada por la Ingeniería Básica en cuanto a los planos de conjunto y la memoria técnica, y tiene como objetivo la elaboración de toda la documentación necesaria para la fabricación del producto. Como resultado del diseño de detalle se tienen los planos de las piezas y conjuntos específicos, la documentación de los componentes de mercado incorporados y la relación de piezas y conjuntos (o módulos), todos ellos con su denominación, número de referencia, número de piezas, material y otras especificaciones técnicas (sobre acabados, procesos, ensayos de recepción) o de gestión (normas de aplicación, proveedores, contratistas) (Riba, 2010).

Si bien la realización de prototipos funcionales obliga, en la etapa anterior, a que se realicen planos de detalle para su eventual construcción, en la Ingeniería de Detalle habrá que incorporar en el diseño definitivo los cambios y modificaciones derivados de los ensayos.

El diseño de detalle no debe limitarse al desarrollo de las tareas definidas al finalizar la Ingeniería Básica, sino que además tiene funciones propias como la comprobación de las funciones y la depuración de las soluciones para simplificar, eliminar o unificar elementos (diseño *DFM* de última hora). A menudo, las buenas soluciones se originan en etapas anteriores, pero su articulación efectiva suele tener lugar durante esta etapa.

Normalmente, se producen muchas interacciones entre las etapas de Ingeniería Básica y de Detalle. Si bien es cierto que la partición del diseño en estas dos etapas es más de orden conceptual que práctico, hay que señalar que es improductivo realizar tareas de diseño de detalle antes de validar un producto con los ensayos correspondientes.

#### **3.4.5. Pruebas y Refinamiento**

La fase de pruebas y refinamiento comprende la construcción y evaluación de versiones múltiples de preproducción del producto.

Ulrich y Eppinger (2015) definen a un prototipo como una aproximación al producto en una o más dimensiones de interés. Con base en esta definición, cualquier entidad que

---

exhiba al menos un aspecto del producto que es de interés para el equipo de desarrollo puede considerarse como un prototipo.

Según estos autores, los prototipos se pueden clasificar en dos dimensiones (ver Figura 6). La primera dimensión contiene dos grados, los *físicos* que son objetos tangibles y parecidos en aspecto al producto y los *analíticos* que representan el producto de manera matemática o visual con el objetivo de analizar uno o varios aspectos de interés. En la segunda dimensión, se encuentran los prototipos *integrales*, que son versiones a escala del producto, que ejecutan la mayor parte de los atributos, y los prototipos *enfocados* que realizan uno, o pocos, de los atributos de un producto con la finalidad de responder preguntas antes de pasar a uno del tipo integrado.

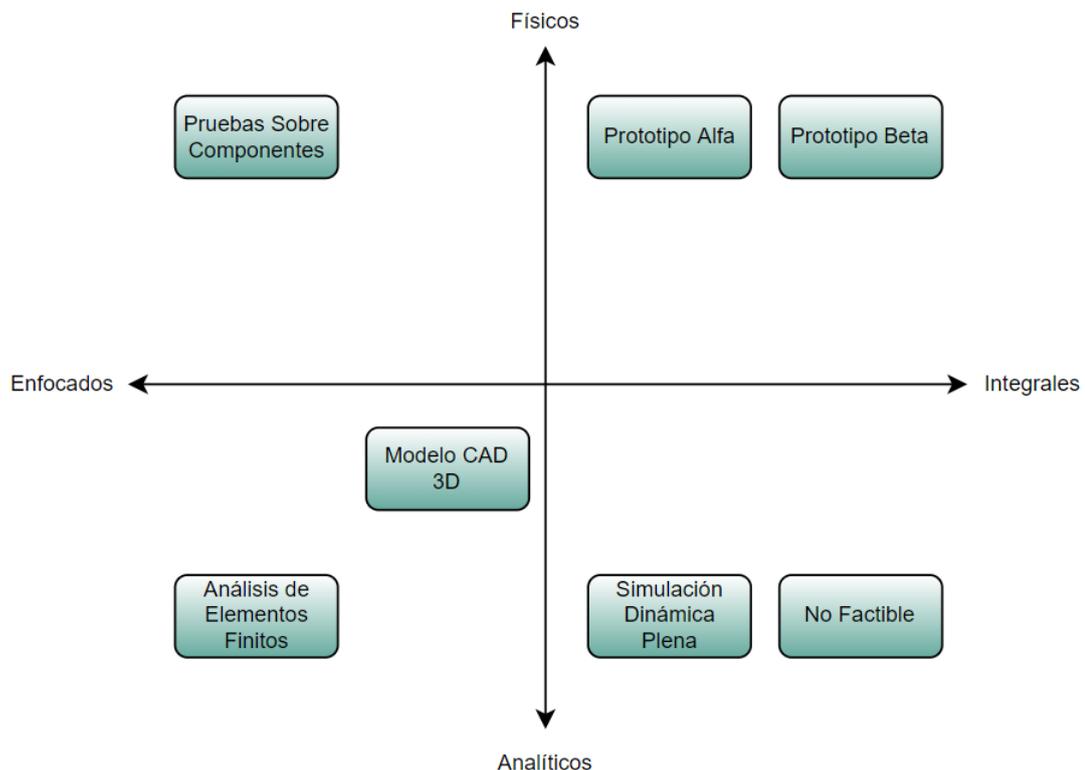


Figura 6. Tipos de Prototipos (Ulrich y Eppinger, 2015).

Un prototipo físico a veces exhibe fenómenos imprevistos que no están relacionados por completo con el objetivo original del mismo. Una razón para estas eventuales sorpresas es que todas las leyes de la física están operando en el equipo. En estos casos, pueden servir como herramienta para detectar fenómenos perjudiciales inadvertidos que pueden aparecer en el producto final.

En contraste, los prototipos analíticos, en la mayoría de los casos, son más fáciles de modificar y permiten cambios más grandes pero nunca develan fenómenos que no son parte del modelo fundamental en el que se basa. Estos se usan para reducir el intervalo de parámetros factibles y luego los físicos se emplean para afinar o confirmar el diseño. Por esta razón, casi siempre se construye, al menos, un prototipo físico en un trabajo de desarrollo de un producto.

Las ventajas anticipadas de un prototipo al reducir el riesgo, deben ponderarse respecto al tiempo y dinero necesarios para construir y evaluar el mismo. Esto es particularmente importante para prototipos integrales. Los productos de alto riesgo o con incertidumbre por los altos costos de falla, nueva tecnología o la naturaleza revolucionaria del producto, se beneficiarán de estos prototipos. Por el contrario, los productos en que los costos de falla sean bajos y la tecnología sea bien conocida no tienen grandes ventajas por reducción de riesgo si se construyen prototipos. La Figura 7 muestra el riesgo de producir o no un prototipo físico integral versus el costo asociado a la construcción del mismo.

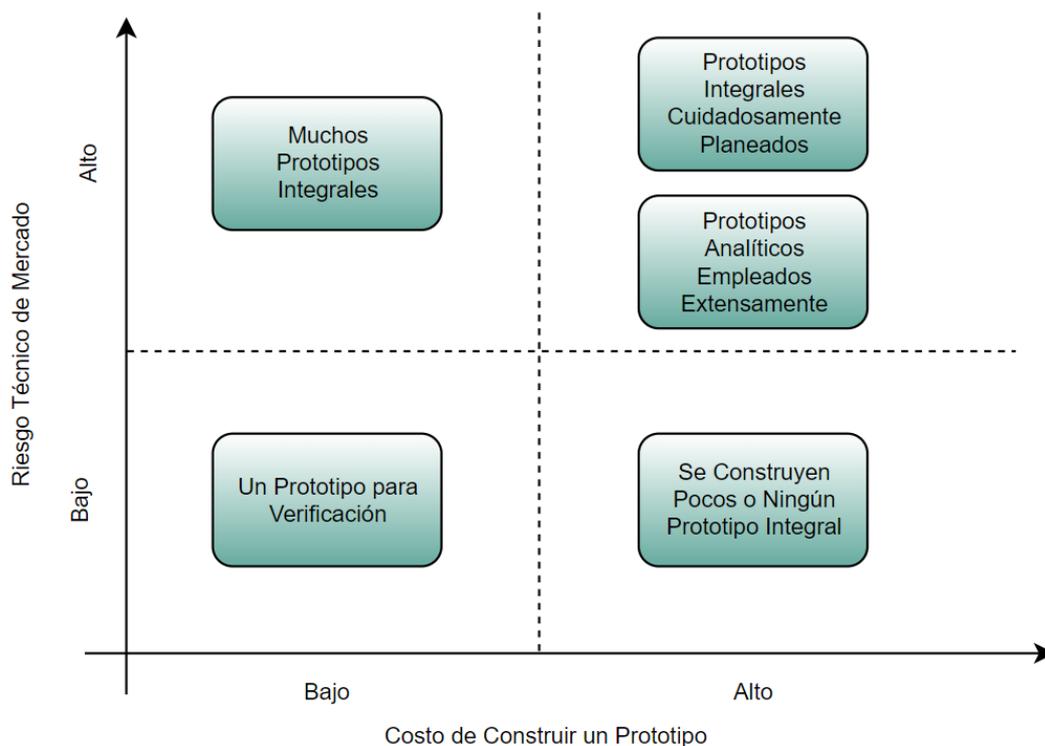


Figura 7. Riesgo técnico frente a costo de prototipos (Ulrich y Eppinger, 2015).

Otro de los objetivos para realizar un prototipo es integrar, es decir asegurar que los componentes y subsistemas funcionen como se espera. En tal sentido se usan prototipos físico integrales. Los nombres usados para estos prototipos son alfa y beta. Los alfa se conforman con piezas cuya construcción no está asociada al proceso tecnológico definitivo, y se ensayan para determinar si el producto satisface requisitos específicos. Los beta, se construyen con las piezas definitivas del producto y son evaluados exhaustivamente en forma interna y también en el ambiente de uso por los clientes con el objetivo de obtener información sobre operación, confiabilidad y obtener mejoras para las especificaciones del producto final.

#### **4. DESARROLLO**

En esta sección se presentarán las distintas etapas definidas precedentemente en la metodología proyectual, para el diseño y fabricación de una máquina de escarificación mecánica de semillas nativas, a ser utilizada en trabajos de investigación priorizando un adecuado control de los parámetros operativos de interés.

##### **4.1. Planificación del Producto - Declaración de Misión**

Como se mencionó en la introducción, el presente trabajo surgió de la necesidad por parte del Laboratorio de Rehabilitación y Restauración de Ecosistemas Áridos y Semi-áridos (LARREA), perteneciente a la Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud (FACIAS), de construir una máquina escarificadora de semillas de plantas nativas patagónicas. A continuación, se establece la Declaración de Misión del producto cuyos considerandos guiarán la ejecución del proyecto:

##### **4.1.1. Título del Proyecto:**

- Diseño y Fabricación de una Máquina de Escarificación de Semillas de Plantas Nativas Patagónicas.
-

#### **4.1.2. Descripción del Producto:**

- Equipo de laboratorio para realizar escarificación mecánica, con control de parámetros (velocidad y carga), que regulan el raspado de la superficie de las semillas de planta nativas patagónicas.

#### **4.1.3. Propuesta de Valor del Proyecto:**

- Estudio de parámetros óptimos para lograr niveles aceptables de germinación en semillas de plantas nativas patagónicas y de esta manera acelerar los procesos de restauración ecológica.
- Mejorar la infraestructura instalada en el laboratorio para la realización de actividades de investigación y vinculación tecnológica.

#### **4.1.4. Demandante:**

- Laboratorio de Rehabilitación y Restauración de Ecosistemas Áridos y Semiáridos (LARREA), perteneciente a la Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud (FACIAS).

#### **4.1.5. Suposiciones y Restricciones:**

- Accionado por un motor eléctrico.
- Diseño modular.
- Componentes estándar disponibles en el mercado.
- Fabricación de componentes *ad-hoc* en empresas metalmecánicas de la zona.

#### **4.1.6. Involucrados:**

A partir de la investigación, la transferencia y la educación, el laboratorio LARREA tiene la finalidad de formar recursos humanos de excelencia para la restauración de ambientes degradados y aportar a la solución de problemas ambientales de zonas áridas patagónicas, desde enfoques ecológicos y sociales.

---

La tarea del laboratorio se contextualiza básicamente en ecosistemas de Monte y Estepa Patagónica. Se investiga la sucesión ecológica en sitios con disturbios severos, la recuperación de servicios ecosistémicos, la gestión ambiental, la valoración de la biodiversidad y la integración de la dimensión social y educativa a los programas de rehabilitación y restauración ecológica.

Por lo expuesto, se identifican los siguientes actores involucrados en el proyecto:

- Investigadores.
- Personal técnico de laboratorios.

## **4.2. Diseño Conceptual**

En primera instancia, se procede a identificar las necesidades del Cliente (a partir de entrevistas), seguido de una búsqueda y análisis de productos existentes en el mercado (*benchmarking*), revisión de patentes y normativa de aplicación. Luego de definir las especificaciones técnicas objetivo que guiarán el desarrollo del proyecto, se proponen diversas alternativas y se selecciona el concepto de producto que continuará el proceso de desarrollo.

### **4.2.1. Identificación de las necesidades**

Con el objetivo de establecer un canal directo de información, se realizó una entrevista con el responsable del LARREA ([Anexo I: Identificación de Necesidades](#)). La misma se desarrolló, a partir de un cuestionario preestablecido orientado a conocer su opinión con respecto a sus expectativas del producto.

Del análisis de la información, se obtuvieron las necesidades interpretadas. Luego, para jerarquizar dichas necesidades se estableció la importancia relativa de estas. A tal fin se utilizó un sistema de ponderación simple adoptando la escala de valoración indicada en la [Tabla 1](#).

---

Tabla 1. Sistema de ponderación simple.

<b>Coficiente</b>	<b>Importancia Atribuída</b>
1	Útil
2	Muy Útil
3	Importante
4	Muy Importante
5	Crítica

Luego de efectuar la ponderación descripta precedentemente, se obtienen las necesidades jerarquizadas, tal como se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Jerarquización de las Necesidades del Cliente.

<b>N</b>	<b>Equipo de Laboratorio</b>	<b>Coficiente</b>	<b>Peso</b>
1	Producir un raspado que permita la germinación de semillas nativas.	5	27,8
2	Control de parámetros (Seteo de variables operativas, por ejemplo: carga y velocidad de raspado).	5	27,8
3	Procesar una cantidad abundante de semillas.	2	11,1
4	Diseño versátil y ajustable al tamaño de diferentes semillas.	3	16,7
5	Costo de referencia.	3	16,7
Sumatoria		18	100

#### 4.2.2. Benchmarking

Una práctica común en la industria es la actividad de *benchmarking*, la cual involucra la recopilación de información sobre los productos o procesos de los competidores o de algunas empresas consideradas referentes en la temática bajo estudio. Esta información con frecuencia se recopila y se emplea como estándar de comparación para productos o servicios similares en cuanto a factores tales como diseño, calidad del producto, servicio postventa o procesos de producción (Spendolini, 1994).

En este caso particular, se analizaron diversos productos disponibles en el mercado internacional (ver Anexo II: *Benchmarking*). Los productos analizados proporcionan información relevante al momento de definir las especificaciones técnicas objetivo y se constituyen, dado sus principios de funcionamiento, en eventuales alternativas para el desarrollo de los conceptos solución.

### 4.2.3. Especificaciones Técnicas

A partir de la identificación de necesidades del cliente y del análisis de benchmarking se definieron las especificaciones técnicas objetivo (ver Tabla 3), las cuáles serán revisadas y completadas al final del proceso de diseño.

Tabla 3. Especificaciones Técnicas Objetivo.

N°	Métrica	Imp.	Unidades	Marginal	Ideal
1	Largo - Alto - Ancho	1	mm	400 - 400 - 800	
2	Número de vueltas	4	rpm	<50	30
3	Superficie de contacto	3	cm <sup>2</sup>	>300	500
4	Carga aplicada	4	N	>196	294
5	Potencia del motor	1	HP	<0,75	1
6	Ajuste de espesor de semillas	4	mm	>1 y <6	

### 4.2.4. Funciones y Subfunciones

Como una primera aproximación al problema se elabora el diagrama de caja negra (ver Figura 8), para obtener una descripción general sin incurrir en ninguna solución física de los elementos funcionales del producto. A partir de este, se representa la función general del producto que opera con flujos de material, energía y señales.

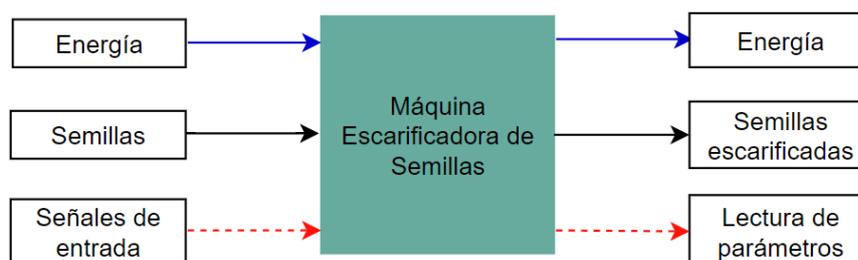


Figura 8. Diagrama de Caja Negra.

Dada la complejidad del problema, y tal como lo sugieren Ulrich y Eppinger (2015), se procede a desglosarlo en una serie de problemas más sencillos, con el objetivo de solucionarlos de manera enfocada. Siguiendo esta metodología, la caja negra se vuelve transparente definiéndose subfunciones para simplificar la tarea de generación de conceptos (ver Figura 9).

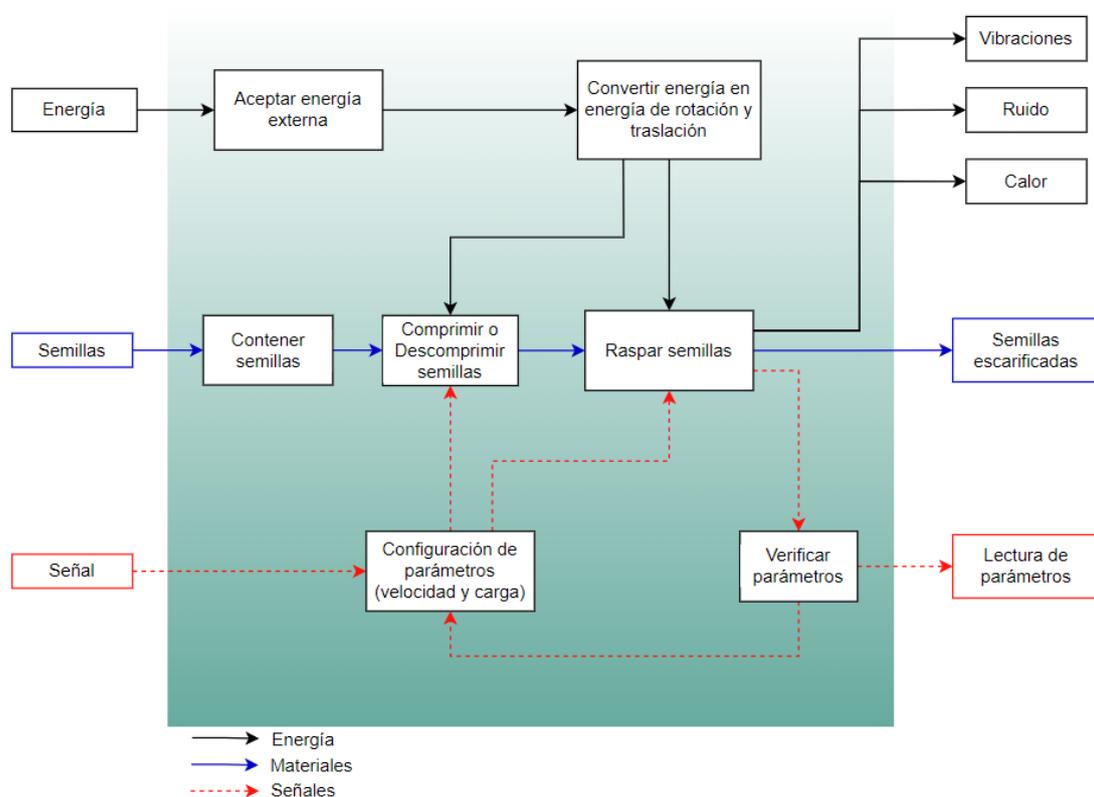


Figura 9. Análisis de subfunciones.

A partir de la figura anterior, se pueden definir los siguientes bloques funcionales:

- **Bloque I - Fuente motriz:** recibe la energía externa proporcionada al sistema y la convierte en energía mecánica utilizada para el procesamiento de las semillas. El control y operación del motor eléctrico se realiza a través de un variador de frecuencia.
- **Bloque II - Movimiento axial:** encargado de aportar la carga de compresión de las semillas. Recibe energía externa, ya sea mecánica o eléctrica, y la transforma en energía mecánica.
- **Bloque III - Sistema de medición de carga:** mide la carga axial aplicada a las semillas.

- Bloque IV - Sistema de control de movimiento axial: es un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el sistema de carga axial.

#### **4.2.5. Generación de Conceptos Solución**

Para la generación de conceptos solución se desarrolló una Matriz Morfológica según la propuesta dada por [Ullman \(2010\)](#). La misma tiene un carácter sistemático que combina las diversas soluciones propuestas para cada una de las subfunciones definidas precedentemente.

Las alternativas propuestas se fundamentan en los requerimientos establecidos en etapas anteriores, estudios de máquinas similares (*benchmarking*) y las restricciones impuestas por el cliente, principalmente en cuanto al control de las variables del proceso y, los costos asociados a su fabricación y puesta en marcha.

Como puede observarse en la Figura 10, como colorario del análisis realizado, se plantearon cuatro conceptos solución:

- Concepto Solución 1: Sistema motor-reductor con actuador lineal eléctrico.
  - Concepto Solución 2: Sistema motor-poleas con actuador lineal eléctrico.
  - Concepto Solución 3: Sistema motor-reductor con elevador tipo tijera.
  - Concepto Solución 4: Sistema motor-reductor con tornillo elevador.
-

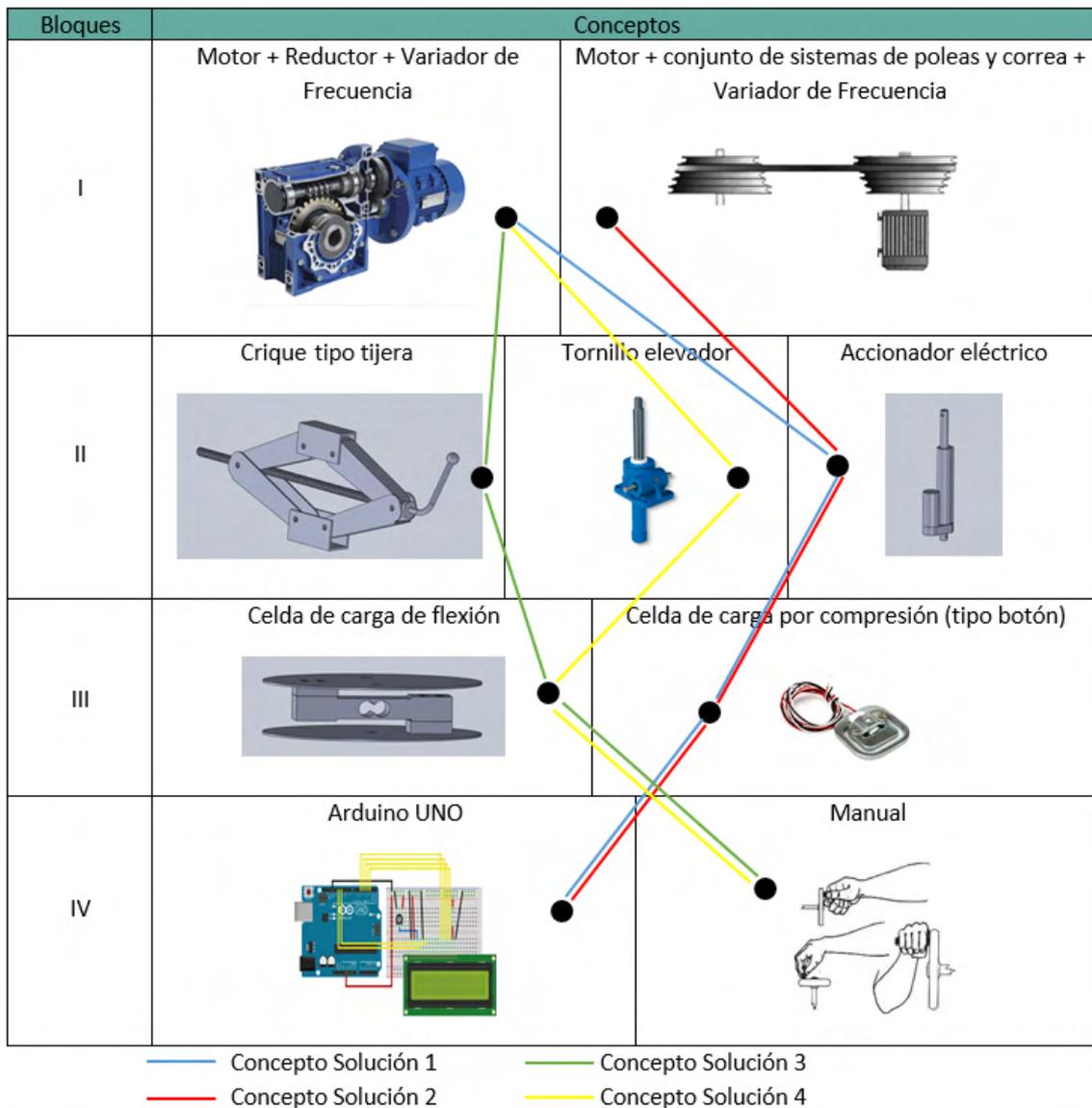


Figura 10. Matriz Morfológica.

### Concepto Solución 1: Sistema motor-reductor con actuador lineal eléctrico.

El motor eléctrico está conectado a la caja reductora que reduce la velocidad de rotación del disco rotante, encargado de raspar las semillas sobre el plato contenedor. Un variador de frecuencia determina el ajuste del parámetro de velocidad deseado.

El movimiento axial es generado por un actuador lineal eléctrico que efectúa la carga sobre el disco rotante y el plato contenedor de semillas.

El actuador es controlado de manera automática midiendo carga por medio de celdas tipo botón, utilizando arduino (ver Figura 11).

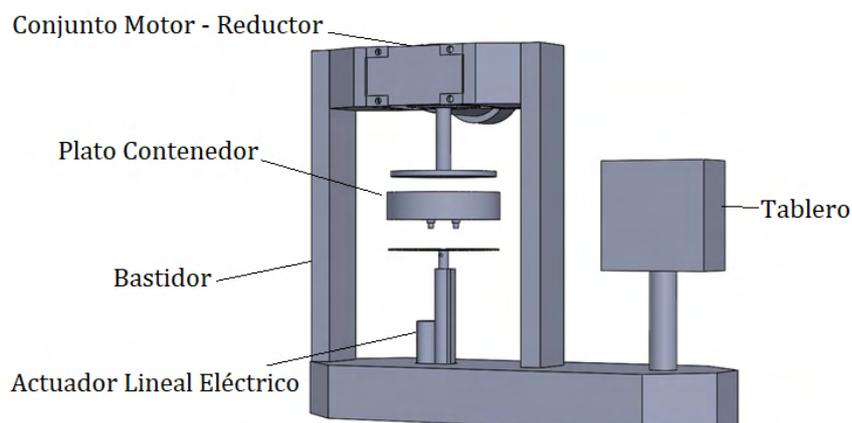


Figura 11. Concepto Solución 1: Sistema motor-reductor con actuador lineal eléctrico.

### Concepto Solución 2: Sistema motor-poleas con actuador lineal eléctrico.

El motor eléctrico está conectado a poleas que reducen la velocidad de rotación del disco rotante, encargado de raspar las semillas sobre el plato contenedor. Un variador de frecuencia determina el ajuste del parámetro de velocidad deseado.

El movimiento axial es generado por un actuador lineal eléctrico que efectúa la carga sobre el disco rotante y el plato contenedor de semillas (ver Figura 12).

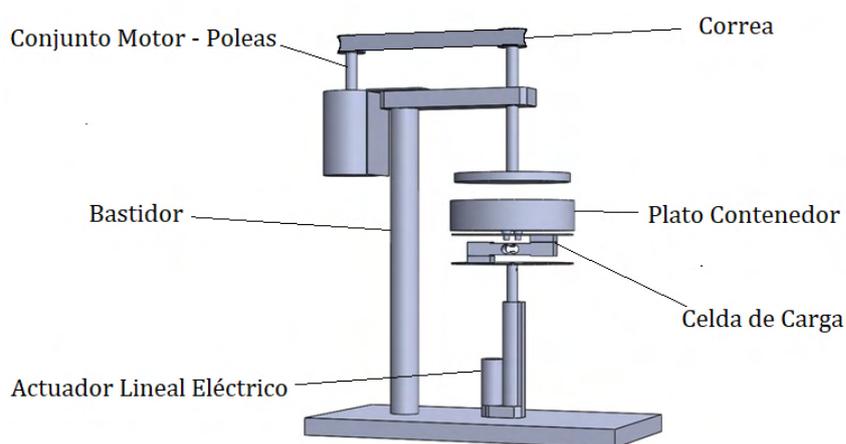


Figura 12. Concepto Solución 2: Sistema motor-poleas con actuador lineal eléctrico.

### Concepto Solución 3: Sistema motor-reductor con elevador tipo tijera.

El motor eléctrico está conectado a la caja reductora que reduce la velocidad de rotación del disco rotante, encargado de raspar las semillas sobre el plato contenedor. Un

variador de frecuencia determina el ajuste del parámetro de velocidad deseado.

Por medio de un elevador tipo cricket se logra introducir carga sobre las semillas entre el disco rotante y el plato contenedor. La carga será medida por medio de una celda de carga tipo flexión (ver Figura 13).

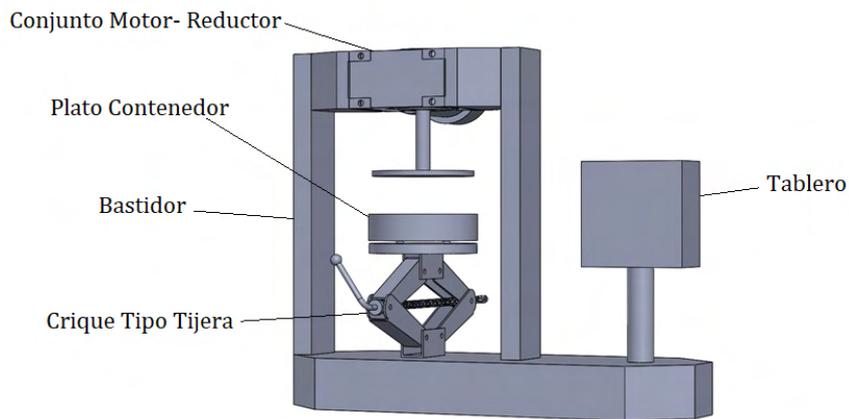


Figura 13. Concepto Solución 3: Sistema motor-reductor con elevador tipo tijera.

#### **Concepto Solución 4: Sistema motor-reductor con tornillo elevador.**

El motor eléctrico está conectado a la caja reductora que reduce la velocidad de rotación del disco rotante, encargado de raspar las semillas sobre el plato contenedor. Un variador de frecuencia determina el ajuste del parámetro de velocidad deseado.

Por medio de un elevador de tornillo se introduce la carga sobre las semillas entre el plato contenedor y el disco rotante (ver Figura 14)

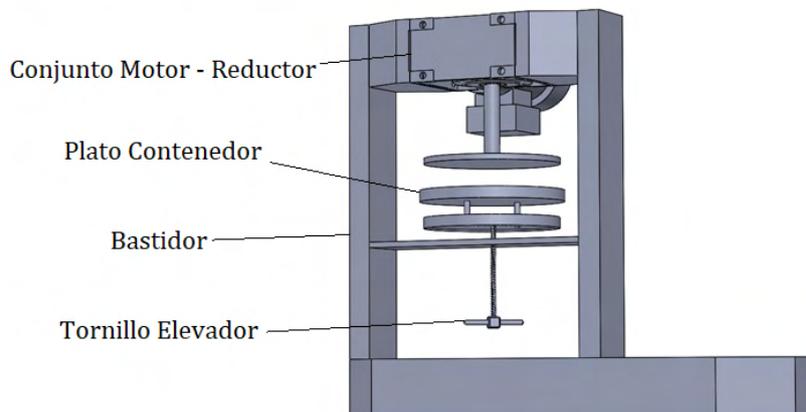


Figura 14. Concepto Solución 4: Sistema motor-reductor con tornillo elevador.

#### 4.2.6. Selección del Concepto Solución

Para la selección del Concepto Solución se utiliza la matriz de selección de conceptos. Esta metodología, propuesta por Pugh (1991), realiza una evaluación relativa de cada uno de los aspectos que el equipo de diseño considera más importantes. Tomando como base un concepto solución de referencia, se comparan los atributos de los restantes conceptos considerando que los atributos son: mejor que (+), igual a (0) o peor que (-). En la Tabla 4 se presenta la matriz con los criterios de selección adoptados y el posicionamiento de cada uno de los conceptos solución.

Tabla 4. Matriz de Selección de Conceptos

Criterio de Selección	Concepto			
	1	2	3	4
Raspado de semillas	0	0	-	-
Control de parámetros	+	0	-	-
Cantidad de semillas procesadas	0	0	0	0
Versatilidad y ajuste al tamaño de semillas	0	0	0	0
Modularidad	0	0	0	0
Costo de Fabricación	-	0	+	+
$\Sigma$	0	0	-1	-1
<b>Ranking</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

A partir de los resultados obtenidos de la tabla anterior, los conceptos 1 y 2 se consideran como las alternativas más favorables. Por lo cual, se realiza un estudio comparativo adicional entre estos dos conceptos, considerando los factores de peso que tienen cada uno de los criterios adoptados (ver Tabla 5).

Tabla 5. Matriz de Puntuación de Conceptos

Criterio de Selección	Concepto		
	Coefficientes	1 (%)	2 (%)
Raspado de semillas	5	20	20
Control de parámetros	5	25	15
Cantidad de semillas procesadas	2	10	10
Versatilidad y ajuste al tamaño de semillas	3	15	15
Modularidad	2	10	10
Costo de Fabricación	3	5	10
<i>Sumatoria (%)</i>		85	80
<b>Ranking</b>		<b>1</b>	<b>2</b>

En las tablas anteriores se demuestra que el Concepto Solución 1, es el que ocupa el primer lugar del *ranking*. Esto se fundamenta en el mejor control de los parámetros principales puestos en juego en el proceso de escarificación de las semillas (carga y velocidad).

Por un lado, el variador de frecuencia otorga un ajuste fino de velocidad sin exigir demasiado al motor, gracias a la presencia del reductor, que previamente disminuye la velocidad de rotación y permite que no trabaje muy lejos de su rango normal de operación para el que fue diseñado.

El control de la carga, está dado por el movimiento axial de un actuador lineal eléctrico. Este aplica la carga de manera tal que, con pulsos relativamente diminutos, tendríamos disminuciones o aumentos discretamente pequeños. Cabe destacar, que se podría alternar entre un modo manual, para un ajuste grueso, y un modo automático utilizando arduino para un ajuste fino.

Los beneficios mencionados facilitan la tarea del seteo de las variables y por sobre todo, brindan un raspado uniforme y preciso de las semillas. Permitiendo de esta manera, encontrar los parámetros óptimos para cada una de las especies.

Si bien el costo del concepto seleccionado es mas elevado en relación a los otros, las ventajas brindadas respecto a estos ameritan la elección del mismo.

A continuación, se presenta una descripción general del funcionamiento de la máquina a partir del Concepto Solución seleccionado.

#### **4.2.7. Arquitectura de la máquina**

La arquitectura de la máquina se comienza a materializar a lo largo de la fase conceptual, de acuerdo a las etapas desarrolladas desde las especificaciones técnicas, análisis funcional y la asignación de los bloques físicos según el Concepto Solución seleccionado. Complementariamente se deben definir las interfases entre los diferentes bloques.

Es de interés, como una primer aproximación, analizar y eventualmente combinar los bloques que presentan cierta afinidad entre sí. Dado el concepto seleccionado, y la flexibilidad que debe tener la máquina para ser adaptada fácilmente a diversas condiciones de laboratorio, se opta por una arquitectura modular (Ulrich y Eppinger, 2015).

Por lo tanto, la modularidad se debe orientar a un diseño que permita realizar el mantenimiento de la máquina sin realizar tareas complejas al momento de intervenir los com-

---

ponentes principales de la misma. También se debe procurar disminuir la complejidad al momento de realizar diversas pruebas en el Laboratorio, permitiendo el montaje de diversos recipientes contenedores de semilla. En la Figura 15, se presenta la configuración final de la máquina con la correspondiente distribución espacial de sus bloques funcionales.

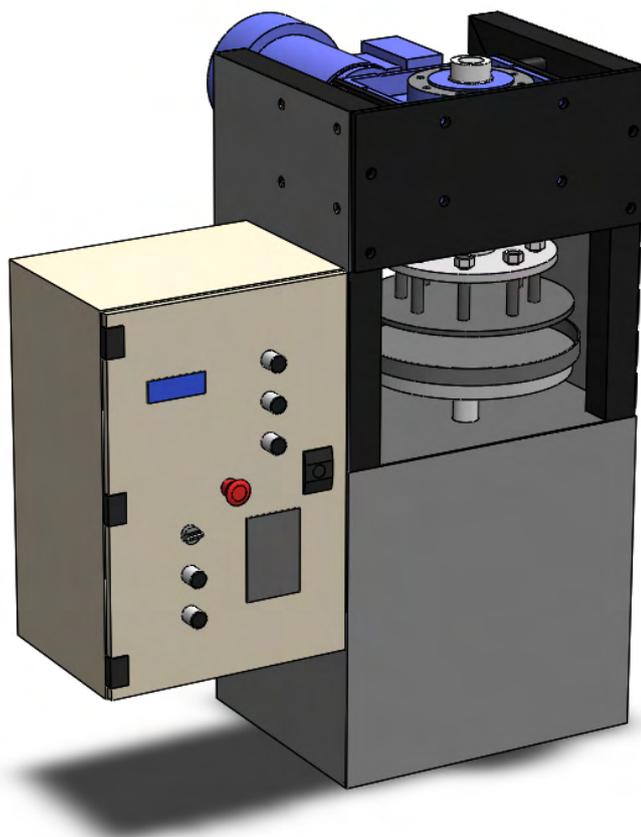


Figura 15. Arquitectura de la máquina.

### 4.3. Ingeniería Básica

Una vez que la arquitectura de la máquina ha sido consolidada, con relación a los elementos principales, se procede a la selección de los tipos estandarizados o comerciales, y para aquellos que no cumplen con esta condición, se avanza con el diseño preliminar y predimensionamiento correspondiente, con la definición provisional de materiales y procesos tecnológicos asociados.

### 4.3.1. Selección de componentes

#### Bloque I - Fuente motriz

Para la selección de los componentes de este bloque, se adaptó el procedimiento propuesto por un reconocido fabricante de conjuntos motor-reductor (<https://my.motovario.com>). En la Figura 16, se presenta la secuencia de pasos principales incluidos en dicho procedimiento.

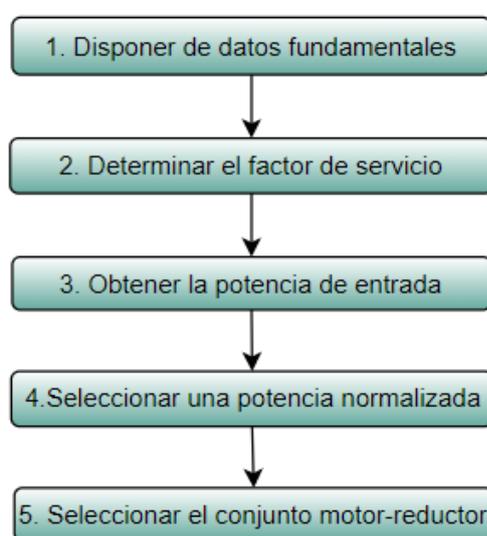


Figura 16. Procedimiento de selección del conjunto motor-reductor.

A continuación, se desarrolla cada uno de los pasos propuestos, y se presentan los resultados obtenidos.

#### **Paso 1: Disponer de datos fundamentales.**

Los datos fundamentales a tener en cuenta son: las velocidades angulares de entrada ( $n_1$ ) y de salida ( $n_2$ ) del reductor y el momento de torsión requerido para la aplicación  $M_{r2}$ . A tal efecto, se definen los siguientes valores:

- Tomando como referencia un motor trifásico asíncrono, se adopta una velocidad angular de entrada ( $n_1$ ) de 1500 rpm.
- A partir del trabajo realizado por [Hernandez y col. \(2020\)](#), se puede estimar la velocidad de salida ( $n_2$ )  $\approx 25$  rpm.

- El momento de torsión requerido ( $Mr_2$ ) se calcula a partir de la Ecuación 1; a tal efecto se adopta una carga máxima de 700 N, suponiendo que el punto de aplicación se encuentra a una distancia de 240 mm del eje de giro, y un coeficiente de fricción estático ( $\mu_s = 0,9$ ) considerando que las superficies en contacto son madera-lijas.

$$Mr_2 = \mu Pd \rightarrow Mr_2 \approx 151 Nm \quad (1)$$

### **Paso 2: Determinar el factor de servicio (f.s.)**

El factor de servicio depende de las condiciones de funcionamiento a las cuales será sometido el reductor. Los parámetros que deben ser considerados para una correcta selección del factor de servicio son:

- Tipo de carga de la máquina accionada:
  - A: Tornillos de Arquímedes para materiales ligeros, ventiladores, líneas de montaje, cintas transportadoras para materiales ligeros, pequeños agitadores, elevadores, máquinas limpiadoras, máquinas llenadoras, máquinas comprobadoras, cintas transportadoras.
  - B: Dispositivos de enrollado, alimentadores de las máquinas para la madera, montacargas, equilibradores, roscadoras, agitadores medios y mezcladores, cintas transportadoras para materiales pesados, cabrestantes, puertas correderas, raspadores de abono, máquinas empaquetadoras, hormigoneras, mecanismos para el movimiento de las grúas, fresadoras, plegadoras, bombas de engranajes.
  - C: Agitadores para materiales pesados, cizallas, prensas, centrifugadoras, soportes rotativos, cabrestantes y elevadores para materiales pesados, tornos para la rectificación, molinos de piedras, elevadores de cangilones, perforadoras, moledores a percusión, prensas de excéntrica, plegadoras, mesas giratorias, pulidoras, vibradores, cortadoras.
- Tiempo funcionamiento diario ( $\Delta$ )[horas/día].
- Frecuencia de arranques ( $f_a$ )[arr/hora].

Dado el tipo de trabajo que realizará la máquina, se adoptan las siguientes condiciones de funcionamiento:

- Tipo A.
- $\Delta = 8$  h/día.
- $f_a = 10$  arr/día.

A partir de los valores adoptados, y empleando el ábaco de la Figura 17, se determina un factor de servicio (f.s. = 1).

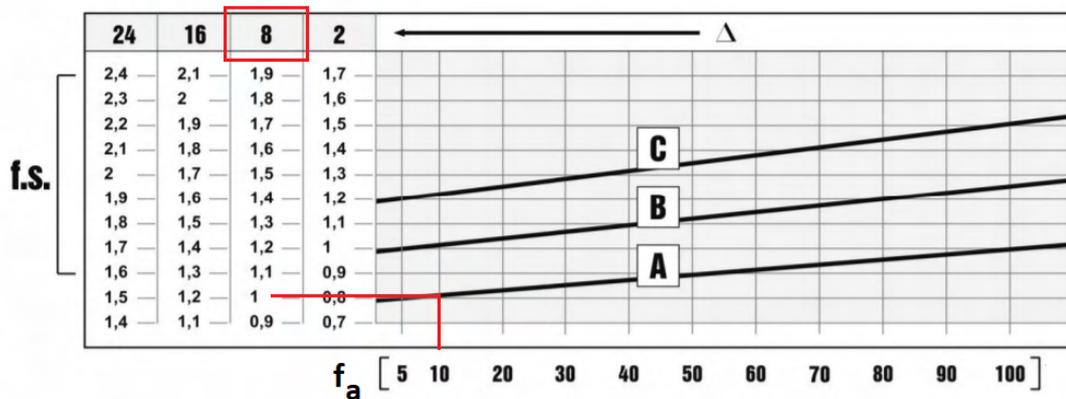


Figura 17. Factor de servicio (<https://my.motovario.com>).

### Paso 3: Obtener la potencia a la entrada.

La potencia de entrada se determina a partir de la Ecuación 2, que relaciona el momento de torsión requerido ( $M_{r2}$ ), la velocidad angular de salida ( $n_2$ ) y estimando un rendimiento dinámico ( $\eta_d$ ). Este rendimiento, depende del tipo de reductor y del número de etapas de engranajes de reducción, y se estima en un valor de  $\eta_d = 0,6$ .

$$P_{r1} = \frac{M_{r2}n_2}{9550\eta_d} \rightarrow P_{r1} = 0,66KW \quad (2)$$

### Paso 4: Seleccionar una potencia normalizada.

Según lo establecido en la normativa de referencia (IEC60072, 1991), para seleccionar la potencia normalizada ( $P_{n1}$ ) se debe adoptar el valor inmediatamente superior a la potencia requerida ( $P_{r1}$ ).

Por lo tanto, se tiene que:

$$P_{n_1} \geq P_{r_1} \rightarrow P_{n_1} = 0,75KW \quad (3)$$

#### **Paso 5: Seleccionar el conjunto motor-reductor.**

Para la selección del conjunto motor-reductor, se analizaron diversas alternativas disponibles en el mercado local. Se optó por la propuesta de la firma Transpower SRL, que incluye un reductor modelo NMTR 075 y un motor trifásico a inducción (ver Figura 18). Siendo este el conjunto que mejor se adapta a las condiciones establecidas por los parámetros definidos previamente.

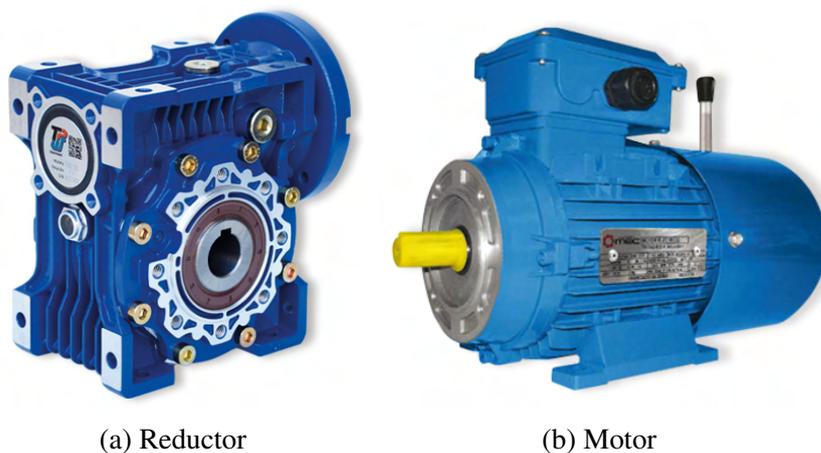
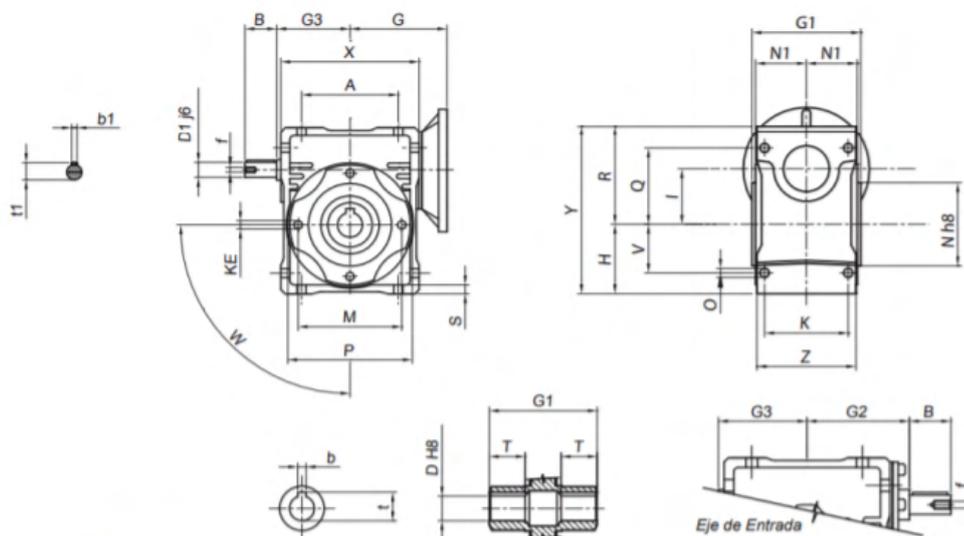


Figura 18. Conjunto Motor - Reductor (<https://transpowersrl.com>).

Las dimensiones generales del reductor seleccionado se presentan en la Figura 19, siendo sus características técnicas principales:

- A tornillo sinfín y corona.
- Relación 1:60.
- Predispuesto para montaje de motor (PAM).
- Brida de entrada de diámetro 80 mm.
- Bridado B14.
- Peso 9 Kg.



<b>A = 120</b>	<b>B = 50</b>	<b>D = 28</b>	<b>D1 = 24</b>	<b>G = 112,5</b>	<b>G1 = 120</b>	<b>G2 = 105</b>	<b>G3 = 86</b>
<b>H = 86</b>	<b>I = 75</b>	<b>K = 90</b>	<b>P = 140</b>	<b>M = 115</b>	<b>N = 95</b>	<b>N1 = 57</b>	<b>O = 11,5</b>
<b>Q = 93</b>	<b>R = 119</b>	<b>S = 10</b>	<b>T = 40</b>	<b>V = 60</b>	<b>W = 45°</b>	<b>X = 172</b>	<b>Y = 205</b>
<b>Z = 112</b>	<b>b = 8</b>	<b>t = 31,3</b>	<b>b1 = 8</b>	<b>t1 = 27</b>	<b>f = M8</b>	<b>KE = M8x14(8)</b>	

Todas las dimensiones se encuentran en [mm]

Figura 19. Dimensiones generales del reductor (<https://transpowersrl.com>).

Las características técnicas del motor, son las siguientes:

- Potencia 0,75 KW.
- Velocidad 1400 rpm.
- Bridado B14.
- Voltaje 220/380 V.
- Frecuencia 50 Hz.
- Protección IP55

El conjunto seleccionado permitirá operar la máquina en el rango de velocidades de giro previamente establecido. Complementariamente se requiere dotar a la máquina de un adecuado sistema de control de velocidad, con el objetivo de setear el valor óptimo para cada tipo de semilla que deba ser rayada. A tal fin, se seleccionó un variador de frecuencia

modelo DELTA VDF007E21A (<https://deltaacdrives.com>), que permite un ajuste preciso de la frecuencia, traduciéndose en el seteo del valor de velocidad. A continuación, se describen sus características técnicas principales:

- Potencia máxima de motor 1 HP.
- Capacidad de salida nominal 1,6 KVA.
- Salida de corriente nominal 4,2 A.
- Voltaje de salida Trifásico 220 V.
- Frecuencia de salida 0,1 ~ 600 Hz.
- Corriente de entrada nominal 9,5 A.
- Tolerancia de voltaje de entrada  $\pm 10\%$ .
- Tolerancia de frecuencia de entrada  $\pm 5\%$ .
- Resolución de ajuste de frecuencia 0,1 Hz.
- Tolerancia de sobrecarga 150 % de la corriente nominal durante 1 minuto.
- Refrigeración por enfriamiento natural.
- Peso 1,2 Kg.

## **Bloque II - Movimiento axial**

La selección del actuador eléctrico lineal, encargado de proporcionar la carga axial requerida, se basa en los lineamientos dados por un reconocido fabricante nacional (<https://imwsa.com/es>). El procedimiento adoptado incluye la secuencia de pasos indicada en la Figura 20.

---

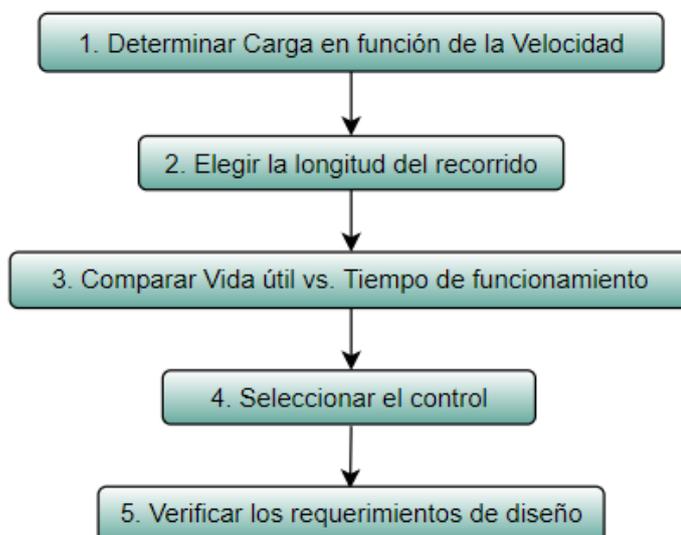


Figura 20. Selección de un actuador lineal eléctrico (<https://imwsa.com/es>).

A continuación, se presenta el desarrollo del procedimiento adoptado:

### **Paso 1: Determinar la carga en función de la velocidad.**

En primer término, se debe encontrar la relación óptima de carga en función de la velocidad de avance. En este caso de estudio, se presenta la dificultad en determinar, a priori, la velocidad apropiada para el avance y retroceso del actuador. Por lo tanto, se adopta una velocidad tipificada por el fabricante como estándar (15 mm/s) y se define que el ajuste final se realice a través de un sistema de control diseñado *ad hoc* para esta aplicación.

Por otro lado, la estimación de la carga se realizó en base al procedimiento empleado por [Hernandez y col. \(2020\)](#). En dicho estudio, como se mencionó precedentemente, se utilizó un taladro de mano. Por lo que, la fuerza máxima se midió mediante una celda de carga para las mismas condiciones de ensayo. Extrapolando la presión aplicada a las semillas durante el ensayo al área efectiva de aplicación de la máquina, se estimó una carga máxima de aproximadamente 70 Kg. Por lo tanto, se seleccionó del catálogo del fabricante, un actuador de 125 Kg. En la Figura 21, se presentan las curvas provistas por el fabricante para analizar el comportamiento del actuador para la carga máxima seleccionada en todo el rango de velocidades.

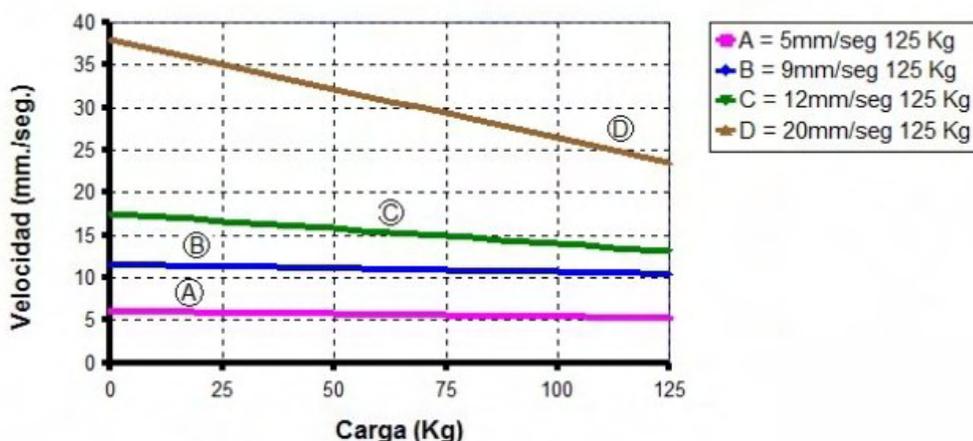


Figura 21. Velocidad en función de la carga (<https://www.imwsa.com>).

### Paso 2: Elegir la longitud del recorrido.

En base a la configuración geométrica preliminar de la máquina, se pudo determinar la longitud necesaria para el recorrido del actuador ( $\approx 150$  mm). A partir de este valor, se selecciona del catálogo del fabricante una carrera estandarizada de 190 mm.

### Paso 3: Comparar vida útil vs el tiempo de funcionamiento.

A partir de los gráficos de vida útil y tiempo de funcionamiento en función de la carga (ver Figuras 22 y 23), se puede obtener información para analizar la confiabilidad del actuador en su ciclo de vida.

La carga límite adoptada (ver Paso 1), representa aproximadamente el 60 % de la carga máxima del actuador seleccionado. Utilizando este último dato, en la Figura 22, se observa que la vida útil del mismo será de unos 30000 ciclos. Además, si se realiza un análisis similar a partir de la Figura 23, se observa que el tiempo de funcionamiento es de casi del 50 %. El tiempo de funcionamiento contempla el tiempo de operación efectiva y el tiempo necesario para enfriarse (sin operar). Cabe mencionar, que el valor del 50 %, se mantiene prácticamente constante para todo el rango de trabajo.

Es importante advertir, que los actuadores que conforman esta gama de productos, tienen un tiempo de funcionamiento del 25 % a máxima carga. Esto significa que, por ejemplo, un tiempo de funcionamiento del 25 % en un tiempo de ciclo de 1 minuto, implica que el equipo puede funcionar 15 segundos seguidos y luego tiene que detenerse por

un lapso 45 segundos.

Se concluye que para un 60 % de la carga máxima, que es capaz de aplicar el actuador, se tiene una vida útil de 30000 ciclos de operación al 50 % del tiempo de funcionamiento.

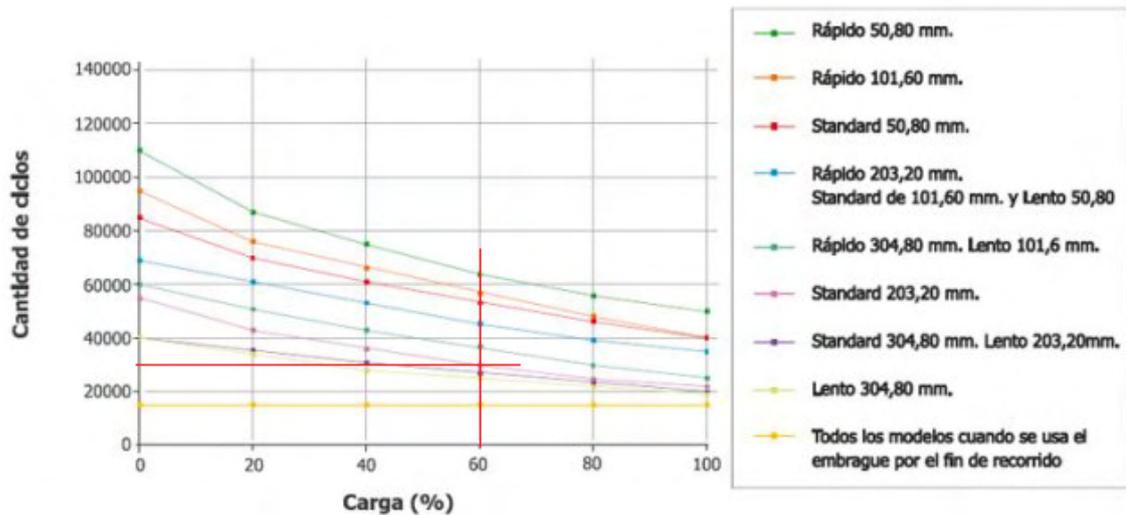


Figura 22. Vida útil en función de la carga (<https://www.imwsa.com>).

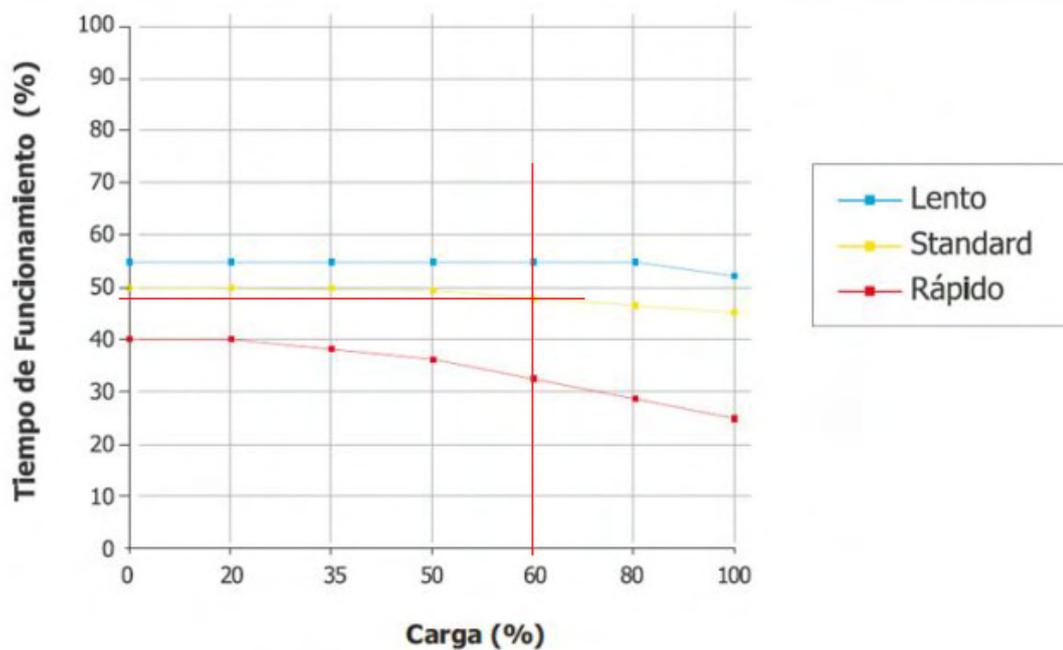


Figura 23. Tiempo de funcionamiento en función de la carga (<https://www.imwsa.com>).

#### Paso 4: Seleccionar el control.

Este ítem, será resuelto en el bloque IV, relacionado al sistema de control de movimiento axial.

**Paso 5: Verificar los requerimientos de diseño.**

Se concluye que el actuador seleccionado verifica los requerimientos de diseño, debido a que la selección del dispositivo se realizó de forma tal, que se trabaje en un rango inferior a la máxima carga del actuador; y que este operará en ciclos intermitentes durante el proceso de escarificación.

En este punto resulta conveniente evidenciar, que el diseño del conjunto solución que resultó ser la mejor opción en el ranking (ver Tablas 4 y 5), no presenta cargas laterales.

Finalmente, el actuador eléctrico lineal seleccionado es el W4-12-125-15-190, cuyas características técnicas se presentan a continuación:

- Aplicable para 12 VCC.
- Recorrido 190 mm.
- Fuerza máxima Welact 4, 125 Kg.
- Sin requerimiento de mantenimiento.
- Porcentaje de funcionamiento 25 % a la carga máxima.
- Velocidad estándar.
- Pistón de acero inoxidable.
- Tonillo inoxidable, tuerca plástica de alta resistencia.
- Protegido para trabajos a la intemperie.
- Vástago con antigiro.
- Con safe interno para evitar sobrecargas.

**Bloque III - Sistema de medición de carga**

Este bloque, comprende la selección de las cuatro (4) celdas de carga de compresión, encargadas de medir la fuerza aplicada entre platos a las semillas durante un ciclo de rayado. Fueron seleccionadas las celdas de carga de 50 Kg modelo YZC-161E, compatibles con Arduino (<https://www.arduino.cc/>).

---

Las mismas tienen un rango de trabajo inferior a la carga máxima brindada por el actuador eléctrico lineal, en consecuencia se utilizan cuatro sensores de puente completo, elevando el rango de trabajo equivalente a cuatro veces el valor de cada una de las celdas, es decir, 200 Kg.

Se presentan a continuación, las especificaciones técnicas de las celdas de carga seleccionadas:

- Carga clasificada 50 Kg.
- Salida nominal  $1,0 \pm 0,15$  mV/V.
- Equilibrio cero  $\pm 0,3$  mV/V.
- Resistencia de entrada  $1000 \pm 10 \Omega$ .
- Resistencia de salida  $1000 \pm 10 \Omega$ .
- Histéresis 0,3 % F.S.
- Repetibilidad 0,2 % F.S.
- Temperatura de funcionamiento  $-10 \text{ }^\circ\text{C} \sim 40 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Sobrecarga segura 150 % F.S.
- Última sobrecarga 150 % F.S.
- Tamaño 34x34 mm.

#### **Bloque IV - Sistema de control de movimiento axial**

Este último bloque, contempla el sistema de control y medición de carga axial de la máquina escarificadora. Su implementación se realiza con un Arduino UNO, que es una placa basada en un microcontrolador ATMEL (<https://www.microchip.com/>).

Los microcontroladores son circuitos integrados en los que se pueden grabar instrucciones, las cuales se escriben con el lenguaje de programación en el entorno Arduino IDE. Estas instrucciones permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la placa.

---

El microcontrolador de Arduino posee lo que se llama una interfaz de entrada, que es una conexión en la que se puede conectar diferentes tipos de periféricos en la placa. La información de estos periféricos conectados se trasladará al microcontrolador, el cual se encargará de procesar los datos que le lleguen a través de ellos.

El tipo de periféricos seleccionados, en este caso, para enviar datos al microcontrolador son pulsadores y las celdas de carga. Su combinación permite operar la máquina en los modos manual y automático.

Se fabricó un prototipo físico enfocado en las celdas de carga (ver Figura 24 y 25). Este dispositivo permitió validar, en etapas tempranas del proyecto, el funcionamiento del bloque de control. La criticidad de este bloque se encuentra asociada a la capacidad de ajustar de manera correcta la carga axial previamente seteada. Se implementó un proceso iterativo de desarrollo del código fuente final partiendo de un algoritmo básico (medición de carga). Cada una de las etapas del proceso fue retroalimentada con la información obtenida en las diversas pruebas operativas realizadas.

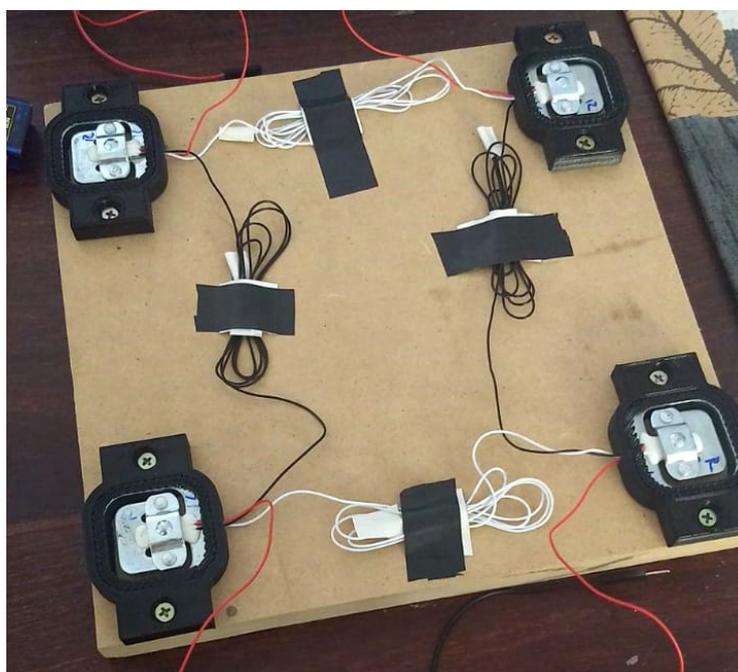


Figura 24. Prototipo celdas de carga.

La interfaz de salida, se encarga de llevar la información que se ha procesado en el Arduino a otros periféricos. En este caso se seleccionó un display LCD, a través del cual se setean los valores de entrada de carga para su procesamiento.

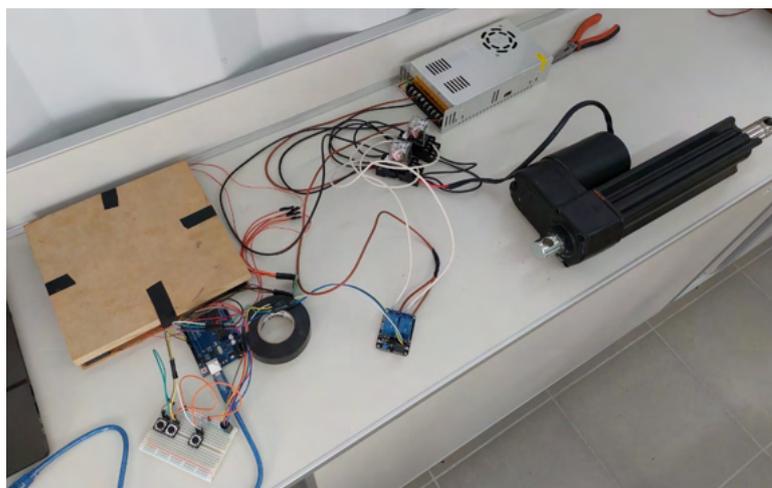


Figura 25. Prototipo del bloque de control.

El sistema de control desarrollado contempla una operación manual y un modo automático (ver diagrama de flujo del control automático en la Figura 26). El proceso comienza con la comunicación entre el operario y sistema al retirar los objetos del plato que contiene a las celdas de carga. Luego, se coloca el objeto de tara que servirá de referencia para la medición de la carga que se le debe aplicar a las semillas. Una vez finalizado el proceso inicial de comunicación, el sistema mide la carga y muestra su valor en el display, junto con un valor de referencia para el seteo. Este último, debe ser modificado hasta lograr que el valor objetivo o deseado por el usuario, sea alcanzado.

La medición de carga es continua y el sistema realiza un cálculo que permite la automatización del movimiento del actuador lineal, encargado de aumentar o disminuir convenientemente la carga aplicada. Suponiendo que la carga supere un cierto valor ( $\text{carga} > \text{seteo} + \text{error}$ ), se envía una señal que realizará el movimiento de descenso del actuador lineal, permitiendo que la carga disminuya hasta un valor dentro del rango aceptable.

De forma análoga, ocurre cuando la carga es menor a cierto valor ( $\text{carga} < \text{seteo} - \text{error}$ ), en este caso la señal opera el movimiento de ascenso del actuador lineal, permitiendo que la carga aumente hasta un valor dentro del rango aceptable.

Cabe destacar que el valor de seteo, puede ser modificado en cualquier momento en el ínterin de cada medición.

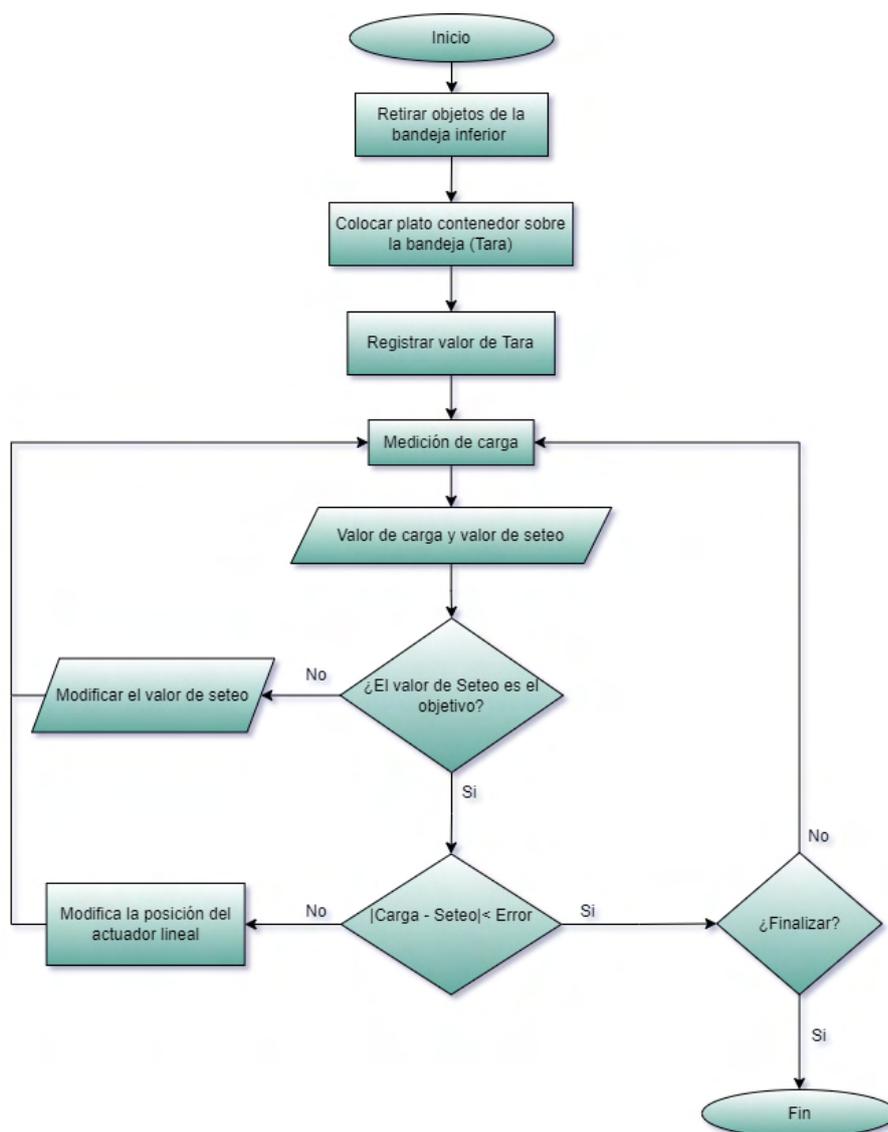


Figura 26. Diagrama de Flujo del Control Automático.

En la Figura 27, se muestra un esquema del circuito según el siguiente detalle de los elementos que lo componen:

1. Placa arduino UNO.
2. Módulo relay relé de 2 canales 5 V - 250 V, 10 A.
3. Módulo HX711 para las celdas de carga.
4. 3 pulsadores normal abierto.
5. 3 resistencias de 10 K $\Omega$ .

6. Display LCD de 16x2.
7. Módulo I2C para display LCD de 16x2.

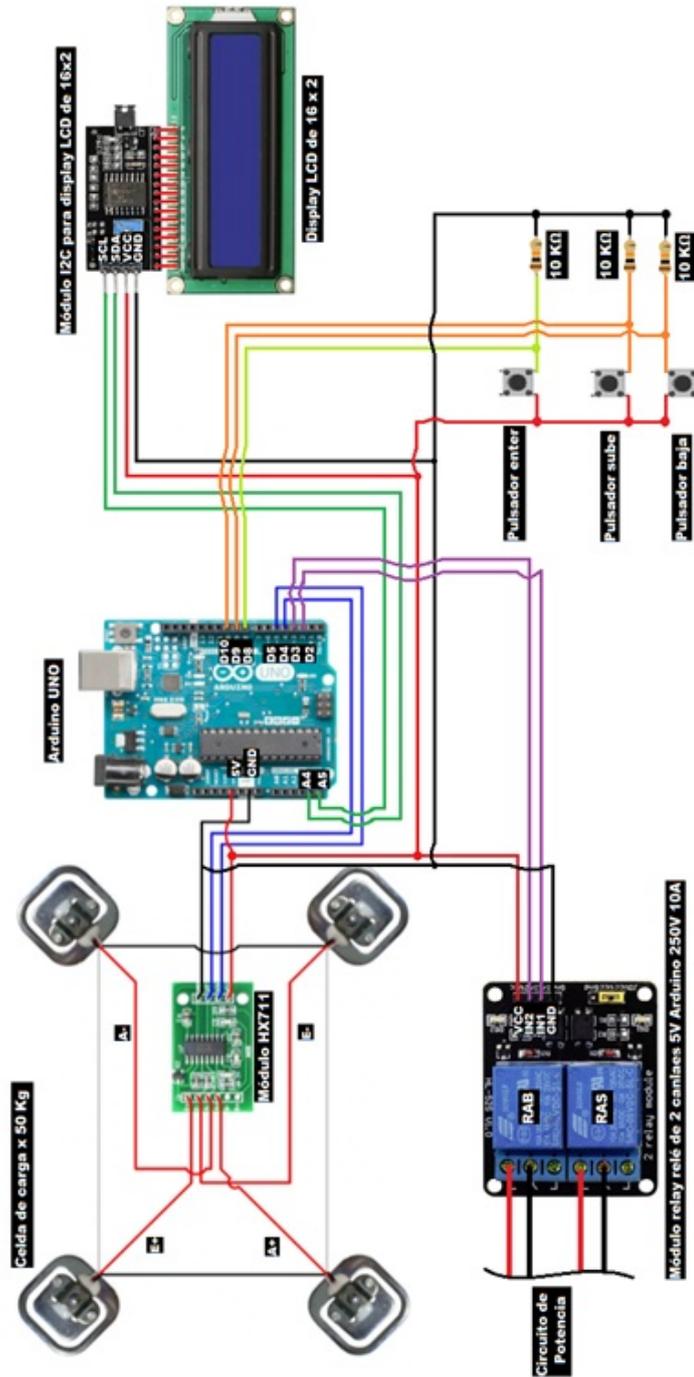


Figura 27. Esquema del circuito de mando

En la Figura 28, se presenta el diagrama eléctrico de la máquina. Este se encuentra dividido en dos bloques que se pueden distinguir fácilmente. Por un lado, todo lo relacionado al movimiento axial encargado de la aplicación de carga, y por otro, todo aquello asociado al movimiento de rotación.

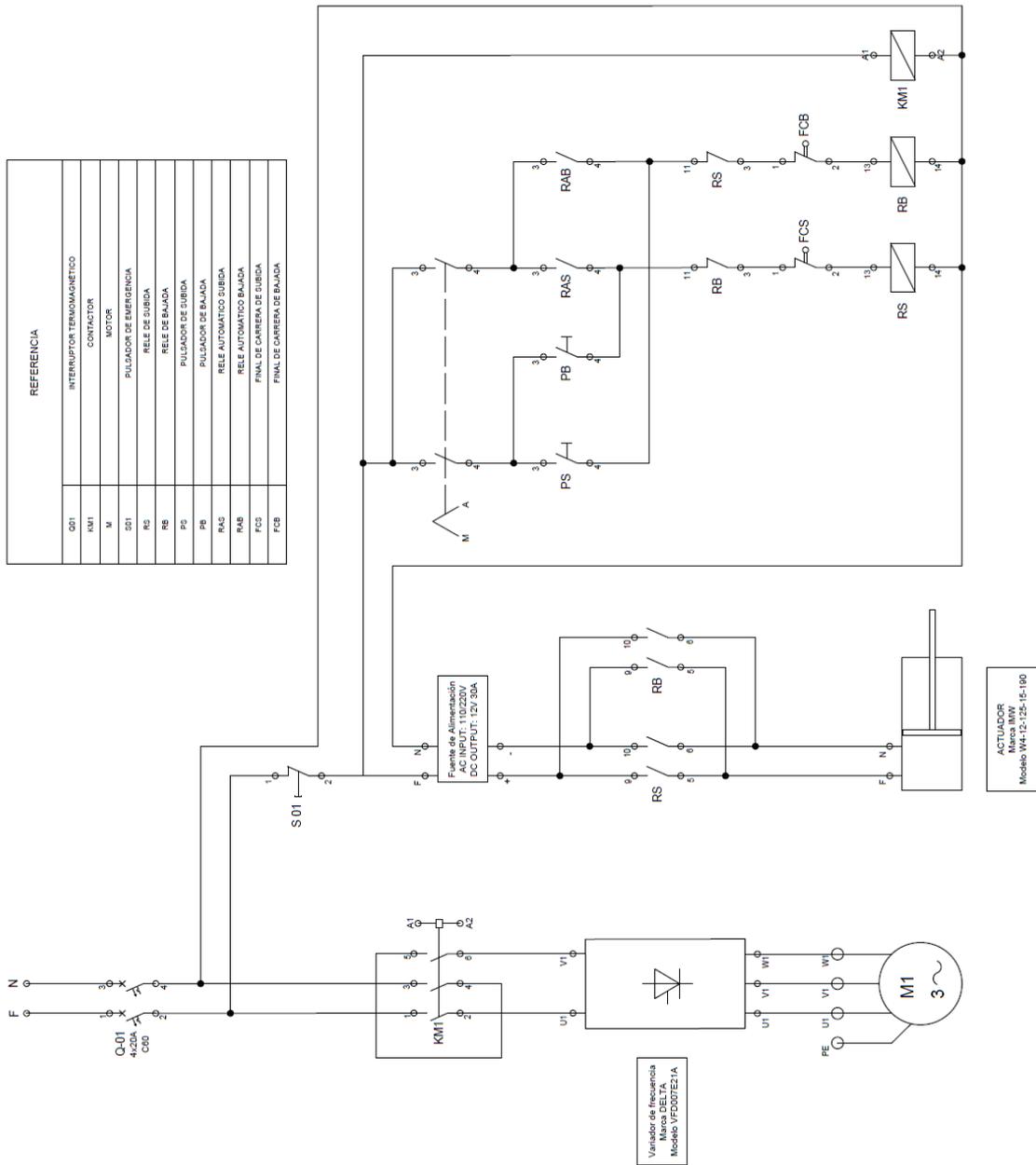


Figura 28. Circuito eléctrico.

El movimiento axial posee una llave selectora de tres posiciones, que conmuta el modo automático (Arduino), neutro y manual de control del actuador lineal.

El mando manual del actuador lineal, permite el acercamiento rápido al rango de trabajo objetivo. La energía para el funcionamiento del mismo, es provista por una fuente de alimentación con características presentadas a continuación:

- Tensión: 12 V.
- Corriente: 30 A.
- Potencia: 360 W.
- Ripple de salida: 150 mV P-p.
- Rango de Tensión: 90-132 VAC / 180-264 VAC (seleccionable) 254-370 VDC.
- Frecuencia: 47-63 Hz.
- Eficiencia: 83 %.
- Corriente AC: 7A/115 VAC 4A/230 VAC.
- AC Input Seleccionable.
- Protección contra cortocircuitos, sobrecargas, sobretensión y sobretensiones de entrada y salida.
- Indicador led de encendido.
- Ventilación por ventilador interno.

En cuanto a los componentes principales del sistema eléctrico se deben mencionar:

- Final de Carrera Baja (FCB): se encuentra en el tope inferior, esto permite que el actuador llegue a una posición final antes de su límite de movimiento sin suministro de energía.
  - Final de Carrera Sube (FCS): limita la carga máxima de la máquina y la mantiene en un rango confiable para la operación del actuador.
-

- El movimiento de rotación se realiza a partir de los elementos seleccionados para el Bloque I (Motor-Reductor y variador de frecuencia). Un contactor permite realizar las maniobras de operación de manera segura para la persona que las acciona.
- El sistema posee un interruptor termomagnético que protege a los equipos de una eventual sobrecarga y sirve además para un corte general de la energía.
- Finalmente, un pulsador de emergencia asegura un corte rápido ante una situación que lo amerite.

#### 4.3.2. Bastidor y Elementos diversos

Se definió el lay-out final del bastidor adoptando una arquitectura modular que permite un adecuado montaje de los componentes seleccionados previamente. En un proceso iterativo, mediante el empleo de un software CAD específico, se pudo subsanar todas las dificultades que se presentaron en cuanto a la ubicación de los componentes en el espacio y los accesorios requeridos para su montaje, según se puede observar en la vista explotada de la máquina (ver [Anexo III: Planos](#)).

En el caso particular del diseño del cabezal superior (ver Figura 29), la atención se centró en el plato flotante. Este elemento, dotado de una serie de resortes, permite cambios discretos dentro del rango de operación de carga durante la elevación del actuador lineal eléctrico. La determinación de la cantidad y las características de los resortes se realizó a partir de consideraciones teóricas clásicas de elementos de máquinas.

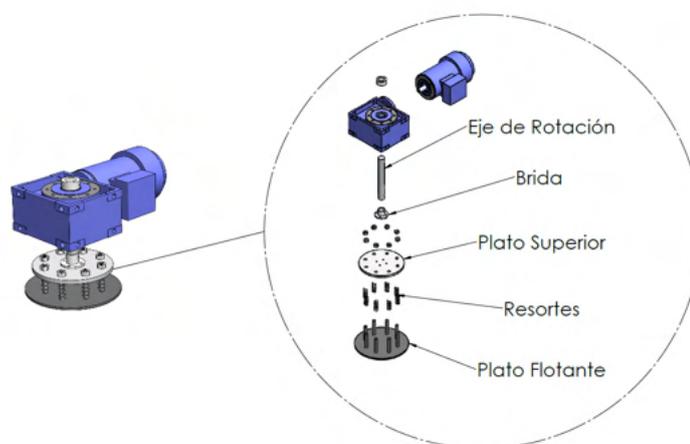


Figura 29. Cabezal Superior.

#### 4.4. Ingeniería de Detalle

En esta etapa del proyecto se generó toda la documentación técnica para la fabricación de las piezas no estandarizadas y el ensamble de la máquina. Se emitieron los planos de cada uno de los componentes, indicando las dimensiones y sus tolerancias, tipo de material, cantidad y ubicación en el conjunto armado (ver [Anexo III: Planos](#)).

Esta actividad requirió interactuar en forma directa con proveedores de componentes y personal técnico de una reconocida firma metalmecánica de la zona, encargada de los mecanizados.

Se puso especial atención en que todas las piezas puedan ser fabricadas sin incrementar sensiblemente los costos asociados y que se minimicen y simplifiquen las tareas de montaje. En este sentido cobraron real importancia las técnicas *Design for* aplicadas desde etapas tempranas del proyecto.

En el caso del tablero eléctrico, se definió la disposición final, contemplando el gabinete (ambiente en donde se montará, materiales, cierres y terminaciones superficiales) y el equipamiento (aparatos de maniobra y protección, accesorios de fijación, montaje y conexión), todo esto en el marco de las normas y reglamentaciones vigentes ([IEC61439, 2011](#)). En el plano NP08, se presenta un mayor detalle del mismo (ver [Anexo III: Planos](#)).

A partir de la documentación generada se realizó una revisión de todo el proceso de diseño, obteniéndose las especificaciones finales de la máquina, ver [Tabla 6](#).

Tabla 6. Especificaciones Técnicas.

N°	Métrica	Unidades	Marginal
1	Largo - Alto - Ancho	mm	400 - 400 - 800
2	Número de vueltas	rpm	0 - 30
3	Superficie de contacto	cm <sup>2</sup>	490
4	Carga aplicada	N	0 a 784
5	Potencia del motor	HP	1
6	Recorrido del cabezal	mm	0 - 120
7	Peso	Kg	93

#### 4.5. Fabricación y Ensamble

Una vez finalizada la Ingeniería de Detalle, y revisado lo actuado en dicha etapa, se inició el proceso de fabricación de los componentes especiales de la máquina. Las tareas desarrolladas involucraron diversas operaciones tecnológicas: corte de chapa en guillotina, soldadura, taladrado, roscado, fresado, mecanizados en torno paralelo y en CNC, entre otras.

A continuación, se exponen imágenes de las piezas y componentes terminados y el proceso de montaje, según el siguiente detalle:

- Bastidor (Figura 30a).
- Montaje del conjunto motor-reductor y del actuador lineal (Figura 30b).
- Detalle platos superior y flotante (Figura 31a).
- Detalle del tablero eléctrico (Figura 31b).



(a) Bastidor

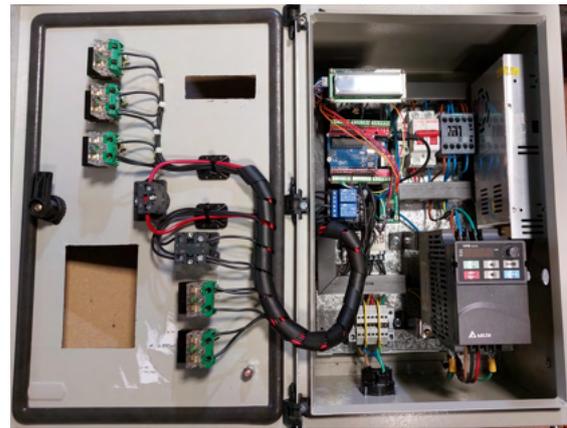


(b) Motor-reductor y actuador lineal

Figura 30. Montaje del bastidor.



(a) Detalle platos superior y flotante.



(b) Detalle del tablero eléctrico.

Figura 31. Montaje de componentes principales.

En la Figura 32 se muestra la máquina ensamblada instalada en el Laboratorio.



Figura 32. Máquina de escarificación mecánica de semillas de plantas nativas patagónicas.

Además, debido al peso de la máquina, el diseño contempló la posibilidad de colocar cáncamos en el reductor de velocidad, a los fines de facilitar la manipulación del sistema. Esto puede observarse con mayor detalle en la Figura 33.



Figura 33. Cáncamos de izaje.

#### 4.6. Puesta en Marcha. Ensayos.

Una vez terminado el montaje y verificados los sistemas de supervisión y control de la máquina, se realizó una puesta en marcha en vacío para verificar el correcto funcionamiento a diversas velocidades de giro y condiciones de carga. Esta primera prueba se completó de forma satisfactoria.

Para realizar las pruebas con carga, se seleccionaron mericarpios de *Larrea Divaricata* Cav. (ver Figura 34a) y semillas *Parkinsonia Praecox* (ver Figura 34b).



(a) Mericarpios de *Larrea Divaricata* Cav.



(b) Semillas de *Parkinsonia Praecox*.

Figura 34. Semillas en plato contenedor.

Para el ensayo de *Larrea Divaricata* Cav. se peló y rayó una muestra de semillas se- teando una carga de 25 Kg a una frecuencia de 10 Hz, durante un periodo de 30 segundos. Como se observa en las Figuras 35a y 35b, un alto porcentaje de semillas fue extraído de los mericarpios, seguido de la escarificación de su tegumento.



(a) Semillas en plato contenedor.



(b) Muestra de semillas escarificadas.

Figura 35. Semillas de *Larrea Divaricata* Cav. escarificadas.

El ensayo del segundo tipo de semillas, se realizó bajo la supervisión de un miembro de LARREA. A tal fin, se colocaron en el plato contenedor 200 semillas de *Parkinsonia Praecox* de una muestra aleatoria de 30 plantas de la zona (ver Figura 34b). Luego se introdujo en la máquina el valor de carga deseado (30 Kg), trabajando entre lijas para madera de granulometría 80. Durante un periodo de 30 segundos, se escarificó la muestra con una frecuencia de 10 Hz. En la tabla 7 se presenta el detalle del procedimiento de selección de los parámetros adoptados para el ensayo.

Tabla 7. Detalle del proceso de selección de parámetros.

	<p>El proceso se inicia al momento de energizarse el sistema. El display muestra la pantalla de inicio durante un tiempo de espera asociado a la configuración del programa.</p>
	<p>Una vez concluido el tiempo de espera, se retiran los objetos del plato superior de las celdas de carga (en esta condición, la máquina no registra peso).</p>
	<p>Se coloca el plato contenedor de las semillas, el cual se utiliza como objeto de tara del sistema, para luego dar inicio a la medición y registro de carga.</p>
	<p>Se registra en pantalla el valor de carga aplicada al plato y el de seteo objetivo. En este momento debe modificarse el valor de seteo de carga que se desea alcanzar. Independientemente de si la configuración del sistema es manual o automática, la carga se aproxima al valor de seteo seleccionado.</p>
	<p>La carga se aplica y mantiene con el sistema de control automático, dentro del rango permitido para el valor de seteo (relacionado con el error prefijado). Finalmente, en esta instancia, se modifica la frecuencia en el variador posibilitando la rotación del cabezal superior a la velocidad de giro especificada por el proceso.</p>

Este proceso se aplicó en tres oportunidades sobre la misma muestra efectuando inspecciones visuales con el fin de evaluar el nivel de rayado y posibles daños ocasionados entre etapas. En la Figura 36a se pueden comparar las semillas sin escarificar con las que fueron tratadas. Posteriormente la muestra escarificada, se colocó sobre papel de filtro humedecido en placas de Petri (ver Figura 36b) para dar inicio al experimento de germinación. De forma complementaria, se dosificó un antifúngico para evitar el crecimiento de hongos en las semillas.



Figura 36. Parkinsonia Praecox escarificadas.

Al quinto día de realizado el ensayo, se pudo observar la emergencia de la radícula, es decir la germinación en algunas semillas. Al cabo de 17 días se observa que casi un 60 % de semillas logró germinar, tal y como se muestra en la Figura 37. Este porcentaje puede ser aún mayor, pues formalmente por protocolos internacionales, el experimento tiene una duración de 40 días.

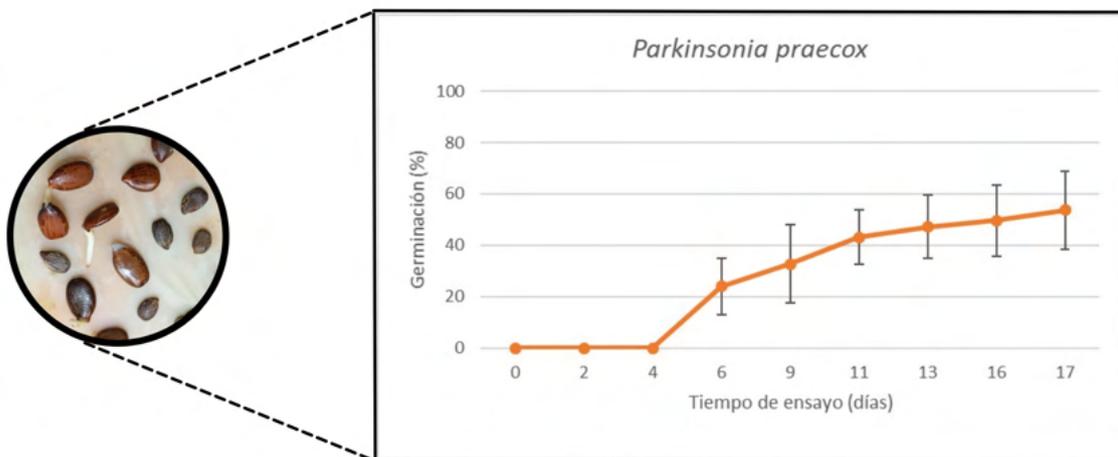


Figura 37. Resultados del ensayo con Parkinsonia Praecox.

Como bien pudo observarse en los ensayos, la flexibilidad que posee la máquina para ajustar los diversos parámetros de interés permite establecer una adecuada relación entre las variables de entrada y salida del proceso.

Partiendo de que la impermeabilidad del tegumento de las semillas sin tratar impediría

la germinación (tasa de germinación = 0), la máquina desarrollada se constituye en una poderosa herramienta para evaluar y aumentar dicha tasa en función de los parámetros operativos.

#### **4.7. Futuras líneas de trabajo.**

El trabajo desarrollado se enfocó en asegurar la funcionalidad de la máquina de acuerdo a los objetivos propuestos. Dado que a la fecha no se cuenta con el historial de funcionamiento de máquinas similares, se considera oportuno profundizar la línea de trabajo en los siguientes aspectos:

- Ejecución de ensayos, con la mayor variedad posible de semillas, estableciendo diversas combinaciones de parámetros operativos.
  - Registro de inspecciones y eventos durante la operación de la máquina, dado que permite la retroalimentación de información, con el objetivo de identificar aspectos no contemplados en el proceso de diseño y que ameriten ser atendidos para actualizar la máquina o bien establecer un plan de mantenimiento preventivo durante su ciclo de vida.
  - El prototipo beta desarrollado emplea en su sistema de control dispositivos basados en la plataforma Arduino. Esta no se utiliza de forma masiva en aplicaciones industriales. Por lo tanto, se considera necesario, evaluar si el factor de ruido eléctrico es el adecuado para su uso en el laboratorio. De ser necesario, se deberá evaluar el reemplazo del procesador por un controlador lógico programable (PLC, por sus siglas en inglés).
-

## 5. CONCLUSIONES

Los objetivos planteados para este proyecto, se cumplieron de manera satisfactoria. Como resultado final, se obtuvo un prototipo beta que servirá como herramienta para desarrollar estudios enfocados a acelerar la rehabilitación y restauración de ecosistemas patagónicos dañados.

Este prototipo permitirá, en base a la información obtenida de los diversos ensayos, establecer un procedimiento que minimiza los tiempos asociados al proceso de escarificación mecánica alcanzando elevadas tasas de germinación.

Por lo tanto, la máquina se constituye en una muy buena alternativa para los laboratorios, viveros y empresas que requieren este tipo de servicios. Se debe mencionar como beneficio adicional el menor costo operativo y requerimientos de seguridad y medioambientales en comparación con el proceso de escarificación química.

A título personal, este Proyecto Integrador Profesional contribuyó a la aplicación y fortalecimiento de las competencias adquiridas a lo largo de la carrera. En particular, la máquina representa una herramienta de gran valor cuya contribución permite mejorar los procesos de remediación necesarios para mitigar la acción del hombre en actividades extractivas de alto impacto ambiental.

---

---

## 6. REFERENCIAS

- Abella, S. (2010). Disturbance and plant succession in the Mojave and Sonoran Deserts of the American Southwest. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(4), 1248-1284.
- Abella, S., Chiquoine, L., Newton, A. & Vanier, C. (2015). Restoring a desert ecosystem using soil salvage, revegetation, and irrigation. *Journal of Arid Environments*, 115, 44-52.
- Abraham, E., del Valle, H., Roig, F., Torres, L., Ares, J., Coronato, F. & Godagnone, R. (2009). Overview of the geography of the Monte Desert biome (Argentina) [Deserts of the World Part III: The Monte Desert]. *Journal of Arid Environments*, 73(2), 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.09.028>
- Álvarez, A. & Pérez, D. [D.]. (2018). Microbial inoculation of *Parkinsonia praecox* (Ruiz & Pav. ex Hook.) Hawkins for ecological restoration. *Phyton*, 87, 274.
- Bainbridge, D. [D.]. (2007). *Guide for Desert and Dryland Restoration: New Hope for Arid Lands*. Island Press, Washington.
- Bainbridge, D. [D.A.]. (2012). *A Guide for Desert and Dryland Restoration: New Hope for Arid Lands*. Island Press. <https://books.google.com.ar/books?id=b1PxyCuOwzWC>
- Barbour, M. (1968). Germination Requirements of the Desert Shrub *Larrea Divaricata*. *Ecology*, 49(5), 915-923.
- Barchuk, A. & Díaz, M. (2000). Vigor de crecimiento y supervivencia de plantaciones de *Aspidosperma quebracho-blanco* y de *Prosopis chilensis* en el Chaco árido. *Quebracho-Revista de Ciencias Forestales*, (8), 17-29.
- Baskin, C. & Baskin, J. (2014). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*, 2nd edn.
- Becker, G., Bustos, J., López, C. & Ayesa, J. (2013). Experiencias de revegetación de explanadas con especies nativas. *Rehabilitación en la Diagonal Árida de la Argentina*. Pérez D, AE Rovere y ME Rodríguez Araujo (Eds). Buenos Aires: Vázquez Mazzini. Pág, 2013.
- Berrocal, L. O. (2007). *Resistencia de materiales*. McGraw-Hill.
-

- 
- Bonvissuto, G. & Busso, C. (2006). Ascenso hidráulico en y entre isletas de vegetación en la zona árida de Argentina. *Phyton (Buenos Aires)*, 75, 55-70.
- Budynas, R. & Nisbett, J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (9a. ed.)*
- Busso, C. & Fernández, O. (2018). Arid and semiarid rangelands of Argentina. *Climate variability impacts on land use and livelihoods in drylands* (pp. 261-291). Springer.
- Busso, C. & Pérez, D. [D.]. (2018). Opportunities, limitations and gaps in the ecological restoration of drylands in Argentina. *Annals of Arid Zone*, 57(3&4), 191-200.
- Bustos, J., Marcolin, A., Cohen, L., Fontela, S. & Chaia, E. (2004). *Arbustos forrajeros revegetación con zampa en la línea sur*. (ISBN N° 987-521-126-5). Financiado por PICT-98, N° 0804351, ANPCyT.
- Cabrera, A. (1976). *Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Buenos Aires.
- Calvente, A. (2007). Resiliencia: un concepto clave para la sustentabilidad. *Universidad Abierta Latinoamericana-UASIS*.
- Cavanagh, H. y col. (1987). Germination of hard-seeded species (Order Fabales). *Germination of Australian native plant seed.*, 58-206.
- Ciano, N., Nakamatsu, V., Luque, J., Amari, M., Owen, M. & Lisoni, C. (2000). Revegetación de áreas disturbadas por la actividad petrolera en la Patagonia Extrandina (Argentina). *XI Conferencia de la International Soil Conservation Organization (ISCO 2000)*. Buenos Aires, Argentina.
- Clifton-Cardoso, B., Mielke, M., De Melo, J. & Querino, R. (2008). Germination and seedling growth of *Dimorphandra jorgei* MF Silva and *Swartzia macrostachya* Benth. var. *riedelii* Cowan. *New Forests*, 35(1), 15-31.
- Conliffe, A. (2011). Combating ineffectiveness: climate change bandwagoning and the UN Convention to Combat Desertification. *Global Environmental Politics*, 11(3), 44-63.
- Cortina, J., Bellot Abad, J., Vilagrosa, A., Caturra Cardona, R., Maestre, F., Rubio, E., Ortiz de Urbina, J., Bonet, A. y col. (2004). Restauración en semiárido. *Capítulo 12, en: Avances en el estudio de la gestión del monte mediterráneo, en: Vallejo, RV, y Alloza, JA (Eds.). Pag. 345-406.*
-

- 
- Cruz, E. & Carvalho, J. (2006). Methods of overcoming dormancy in *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (Leguminosae-Caesalpinioideae) seeds. *Revista Brasileira de Sementes*, 28, 108-115.
- Cruz, E., Martins, F. & Carvalho, J. (2001). Biometria de frutos e sementes e germinação de jatobá-curuba (*Hymenaea intermedia* Ducke, Leguminosae-Caesalpinioideae). *Brazilian Journal of Botany*, 24, 161-165.
- Dalmaso, A., Carretero, E. & Console, E. (2002). Reclamación de áreas degradadas por la actividad petrolera. *El Portón, Buta Ranquil (Neuquén)*.
- Dalmaso, A. & Martínez Carretero, E. (2013). Revegetación de áreas degradadas. Estudio de caso en plataformas petroleras en Malargüe, Mendoza. En: Pérez, D.R., A.E. Rovere M.E. Rodríguez Araujo (Eds.). *Restauración Ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina. I. Vázquez Mazzini Ed.*
- Defossé, G., Bertiller, M. & Robberecht, R. (1997). Effects of topography, soil moisture, wind and grazing on *Festuca* seedlings in a Patagonian grassland. *Journal of Vegetation Science*, 8(5), 677-684.
- Del Valle, H. (1998). Patagonian soils: A regional synthesis. *Ecologia Austral*, 8, 103-123.
- Dignart, S. e. a. (2005). Superação de dormência física em sementes de barbatimão. *Revista Brasileira de Plantas Medicinas, Botucatu*, 7(2), 1-6.
- Fenner, M., Thompson, K. y col. (2005). *The ecology of seeds*. Cambridge University Press.
- Gold, K., León-Lobos, P. & Way, M. (2004). Manual de recolección de semillas de plantas silvestres.
- González, F. (2010). Supervivencia temprana de *Senna aphylla* (Fabaceae) plantada aislada y asociada a un sub-arbusto nativo. Pág.: 61-65. *Rehabilitación en el desierto. Ensayos con plantas nativas en Aguada Pichana, Neuquén, Argentina. Vázquez Mazzini Editores.*
- González, F., Pérez, D. & Rovere, A. (2009). Evaluación de la facilitación ecológica para la recuperación de canteras, en zonas áridas. I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica. *Colombia, Bogotá*.
-

- Hernandez, J., Pérez, D. & Busso, C. (2020). Germination of *Larrea divaricata* Cav, an important shrub species to restore desertified arid ecosystems. *Journal of Arid Environments*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104175>
- Holling, C. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, 4(1), 1-23.
- Hunziker, J., Palacios, R., De Valesi, A. & Poggio, L. (1972). Species disjunctions in *Larrea*: evidence from morphology, cytogenetics, phenolic compounds, and seed albumins. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 59(2), 224-233.
- IEC60072. (1991). *Dimensions and output series for rotating electrical machines* (Standard). International Electrotechnical Commission.
- IEC61439. (2011). *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies* (Standard). International Electrotechnical Commission.
- Masini, A. (2011). Germinación de especies nativas del norte neuquino: Provincias fitogeográficas del Monte y Patagónica (Distrito de la Payunia), e implicancias para la rehabilitación de zonas áridas degradadas. *Degree thesis. Universidad Nacional del Sur*.
- Navone, S., Maggi, A. & Introcaso, R. (2009). Desertification, climate change and land use in Argentine Puna region since 1975. *Understanding Desertification and Land Degradation Trends*, 22, 140.
- Pahl, G. & Beitz, W. (2007). *Engineering Design - A Systematic Approach*. Springer-Verlag London.
- Paredes, D., Rodriguez Araujo, M. & Pérez, D. (2018). Germinación de tres especies de Fabaceae de interés para la restauración ecológica en el Monte Austral, Patagonia, Argentina. *Quebracho (Santiago del Estero)*, 26(2), 68-68.
- Pereira, S. A. & Ferreira, S. A. d. N. (2010). Superação da dormência em sementes de visgueiro-do-igapó (*Parkia discolor*). *Acta Amazonica*, 40, 151-156.
- Pérez, D. [D.]. (2010). *Rehabilitación en el desierto*.
- Pérez, D. [D.], Farinaccio, F. & Aronson, J. (2019). Towards a dryland framework species approach. Research in progress in the Monte Austral of Argentina. *Journal of Arid Environments*, 161, 1-10.
-

- 
- Pérez, D. [D.R.], Farinaccio, F., González, F., Lagos, J., Rovere, A. & Díaz, M. (2009). Rehabilitation and restoration: a concrete possibility to combat desertification in arid and semi-arid ecosystems of patagonia. *Conference of the parties. Convención de las Naciones Unidas sobre la Lucha contra la Desertificación. Buenos Aires.*
- Pérez-García, F., Gómez-Campo, C. & Ellis, R. (2009). Successful long-term ultra dry storage of seed of 15 species of Brassicaceae in a genebank: variation in ability to germinate over 40 years and dormancy. *Seed Science and Technology*, 37(3), 640-649.
- Porter, R. (1949). Recent developments in seed technology. *The Botanical Review*, 15(5), 283-344.
- Pugh, S. (1991). *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*. Addison-Wesley Longman Publishing Co.
- Quiroga, E., Blanco, L. & Oriente, E. (2009). Testing rehabilitation strategies for arid rangelands. *Ecologia Austral*, 19, 107-117.
- Reid, W., Mooney, H., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S., Chopra, K., Dasgupta, P., Dietz, T., Duraiappah, A., Hassan, R. y col. (2005). *Ecosystems and human well-being-Synthesis: A report of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press.
- Riba, C. (2010). *Diseño Concurrente*. Ediciones UPC.
- Rodríguez Araujo, D., M. and Pérez & Bonvissuto, G. (2017). Seed germination of five Prosopis shrub species (Fabaceae-Mimosoideae) from the Monte and Patagonia phytogeographic provinces of Argentina. *Journal of Arid Environments*, 147, 159-162.
- Rodríguez-Araujo, M., Turuelo, N. & Pérez, D. (2015). Banco de semillas de especies nativas de Monte y Payunia para restauración ecológica.
- Roig, F., Roig, S. & Corbalán, V. (2009). Biogeography of the Monte Desert. *Journal of Arid Environments*, 73, 164-172. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.07.016>
- Rossi, B. & Villagra, P. (2003). Effects of Prosopis flexuosa on soil properties and the spatial pattern of understorey species in arid Argentina. *Journal of Vegetation Science*, 14(4), 543-550.
-

- 
- Rovere, A. (2006). *Cultivo de Plantas Nativas Patagónicas: árboles y arbustos*. Ediciones Caleuche.
- Sahai, K. & Pal, A. (1995). Studies on seed treatments and histochemical characters on water barriers in seed coat of *Leucaena glauca* (L.) Benth. *Journal of Phytological Research*, 8(1), 97-100.
- Salomone, J. (2013). Deterioro de tierras y estabilización de médanos en la provincia de Chubut. *Restauración Ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina*, 377-389.
- Shaukat, S. & Burhan, N. (2000). Fecundity, seed characteristics and factors regulating germination of *Rhynchosia minima* (L.) DC. *Pakistan Journal of Botany*, 32(1), 211-226.
- Silveira, F. & Fernandes, G. (2006). Effect of light, temperature and scarification on the germination of *Mimosa foliolosa* (Leguminosae) seeds. *Seed Science and Technology*, 34(3), 585-592.
- Society for Ecological Restoration, S. (2004). Principios de SER International sobre la restauración ecológica.
- Spendolini, M. (1994). *Benchmarkin*. AMACOM.
- Townsend, C. & McGinnies, W. (1972). Mechanical Scarification of Cicer Milkvetch (*As-tragalus Cicer* L.) Seed 1. *Crop Science*, 12(3), 392-394.
- Ullman, D. (2003). *The Mechanical Design Process*. McGraw-Hill.
- Ullman, D. (2010). *The Mechanical Design Process*. McGraw-Hill.
- Ulrich, K. & Eppinger, S. (2015). *Product Design and Development*. Editorial Mc Graw-Hill.
- Uzun, F. & Aydin, I. (2004). Improving germination rate of *Medicago* and *Trifolium* species. *Asian Journal of Plant Sciences*, 3(6), 714-717.
- Wang, Y. & Hanson, J. (2008). An improved method for breaking dormancy in seeds of *Sesbania sesban*. *Experimental Agriculture*, 44(2), 185-195.
- Wang, Y., Hanson, J. & Mariam, Y. (2011). Breaking hard seed dormancy in diverse accessions of five wild *Vigna* species by hot water and mechanical scarification. *Seed Science and Technology*, 39(1), 12-20.
-

- Webb, R., Wilshire, H. & Henry, M. (1983). Natural recovery of soils and vegetation following human disturbance. *Environmental effects of Off-road vehicles* (pp. 279-302). Springer.
- Widia, M. & Dawal, S. (2011). The Effect of Hand-held Vibrating Tools on Muscle Activity and Grip Strength. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5, 198-211.
- Willan, R. & CATIE. (2000). Pre-tratamiento de semillas. *Técnicas para la germinación de semillas forestales. Serie Técnica. Manual Técnico*, (39), 15.
-

## **A. Anexo I: Identificación de las Necesidades**

Se realizó una entrevista, al Dr. Daniel Roberto Pérez (Director de LARREA), con el objetivo de identificar las necesidades del cliente. A continuación, se presentan las respuestas dadas al cuestionario propuesto.

### **1. ¿Cuál es el objetivo?**

Lograr un porcentaje aceptable de germinación en semillas con escarificación mecánica, con puntos de referencia a los resultados de germinación sumergiendo en agua caliente o fría (en el orden del 4 %) y baños, en tiempos de hasta una hora, en ácido sulfúrico (porcentajes mayores al 90 %).

### **2. ¿Por qué es necesaria la escarificación?**

La escarificación es uno de los métodos que existen para lograr que el tegumento de las semillas, capa superficial protectora impermeable, sea permeable y permita el intercambio de gases y agua. La semilla sin el proceso, que logra naturalmente con las adversidades del clima y el ambiente que nos rodea, no germina por si sola.

### **3. ¿Cuáles son los inconvenientes?**

Resultados del orden del 4 % presentan el inconveniente de subsanar el bajo porcentaje con cantidades de semillas. Y si bien el baño en ácidos logra obtener resultados inmejorables, es difícil disponer de ellos, sumado a su elevado costo.

### **4. ¿Hay algún antecedente de escarificación mecánica de semillas nativas?**

Hubo trabajos que de manera artesanal en LARREA, se lograron resultados aceptables. Sin embargo, se carece de conocimiento de parámetros en juego en el proceso y en algunos casos los porcentajes logrados dependían de la “mano” de la persona que realizaba el proceso. Este es un problema de presión y de velocidad. Además hubo pruebas con una máquina creada para pelar “chauchas” de algarrobo sin éxito para las plantas de interés.

---

### 5. **¿Cuál es la demanda de semillas?**

La normativa que rige actualmente exige a las empresas que en áreas degradadas, producto de las actividades de extracción, se restauren con 1600 plantas nativas del Monte por hectárea. Esto representa un gran número que teniendo en cuenta el porcentaje más bajo de germinación debe ser compensado con una gran cantidad de semillas y más aún si pensamos en una cifra importante de hectáreas a restaurar.

### 6. **¿Hay mucha variabilidad en las semillas de las plantas nativas?**

Las plantas nativas presentan semillas, que en un rango de ajuste de 1 a 6 mm de espesor, se barren el 90 % de las existentes.

Además se pudo entrevistar al Lic. Jorge Ariel Hernández, miembro también de LARRREA. En esta oportunidad, se pudo visualizar y filmar el proceso de escarificación con un taladro manual. Esto fue concluyente en cuanto a la relevancia del control de velocidad y carga, pues resultaba dificultoso regular las *rpm* del dispositivo y no se podía cuantificar la fuerza aplicada sobre las semillas. En el material grabado se determinó que la velocidad de giro eran de, aproximadamente, unas 20 vueltas por minuto durante un periodo de 30 segundos de aplicación.

---

## B. Anexo II: *Benchmarking*

### B.1. Escarificador de Semillas – EVZ-3 - Zaccaria

El Escarificador de Semillas – EVZ-3 - Zaccaria (<https://www.zaccaria.com.br/>) tiene por finalidad escarificar, mecánicamente y con eficiencia, semillas forrajeras. Consiste en que las semillas entran en una cámara con flujo descendiente, por medio de un sinfín de alimentación. Al entrar en contacto con las superficies de piedras abrasivas, parte del tegumento es quitada y succionada a través de las cribas, por un sistema adecuado de aspiración (ver Figura 38).



Figura 38. Escarificador de Semillas – EVZ-3 - Zaccaria

- Bajo índice de semillas damnificadas.
- Homogeneidad en la escarificación.
- Bajo consumo de energía por kg de semilla.
- Aumento en el valor cultural de las semillas.
- Escarifica tanto gramíneas como leguminosas.

#### **Especificaciones técnicas:**

- Capacidad: entrada de semillas (kg/h): 500 hasta 600.
- Potencia consumida: 25 CV / 18,5 kW / IV polos.

## B.2. The Kimseed De-Huller/Scarifier

La efectividad de descascarado y/o escarificado de la Kimseed De-Huller/Scarifier (<https://kimseed.com.au/>) en un amplio rango de tipos de semillas es especialmente adecuado para tipos de semillas con recubrimiento duro tales como la Serradella. Una superficie abrasiva estacionaria superior se atornilla finamente hacia un disco abrasivo giratorio inferior hasta que la cáscara de la semilla sea retirada, dejando la semilla intacta. La velocidad del disco abrasivo giratorio se puede ajustar cambiando relaciones de la correa en "V". Hay una opción de discos de carburo de silicio o de diamante. Esta máquina también se puede utilizar como escarificador para realizar abrasión sobre las semillas, especialmente leguminosas, con el fin de mejorar germinación exitosa de semillas (ver Figura 39).



Figura 39. The Kimseed De-Huller/Scarifier

### Especificaciones técnicas:

- Velocidad de descascarado: por encima de 50 Kg por hora.
- Velocidad de escarificado: por encima de 80 Kg por hora.
- 4 velocidades: aproximadamente 610, 1170, 1800, 3200 rpm.
- Accionamiento eléctrico: 240 V 50 Hz 0,37 KW (1/2 HP).
- Dimensiones: H-1170 mm X L-675 mm X W-475 mm.

- Peso: 96 Kg.

En la Figura 40 se puede observar un esquema que demuestra el principio de funcionamiento de The Kimseed De-Huller/Scarifier

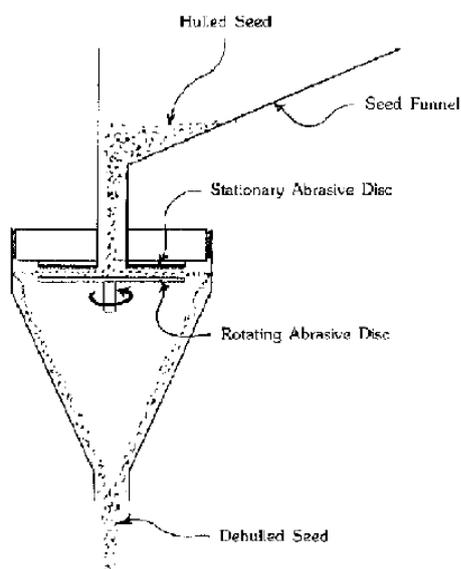


Figura 40. Principio de funcionamiento de The Kimseed De-Huller/Scarifier.

### B.3. The Seed Scarifier SKR-300

La Seed Scarifier SKR-300 (<https://kimseed.com.au/>) es un dispositivo para romper la cáscara dura de una semilla para mejorar su germinación. Con la ayuda de la escarificadora la germinación de semillas leguminosas incrementa en dos veces. Esto se consigue gracias a la reducción de la dureza de la semilla (ver Figura 41).



Figura 41. The Seed Scarifier SKR-300.

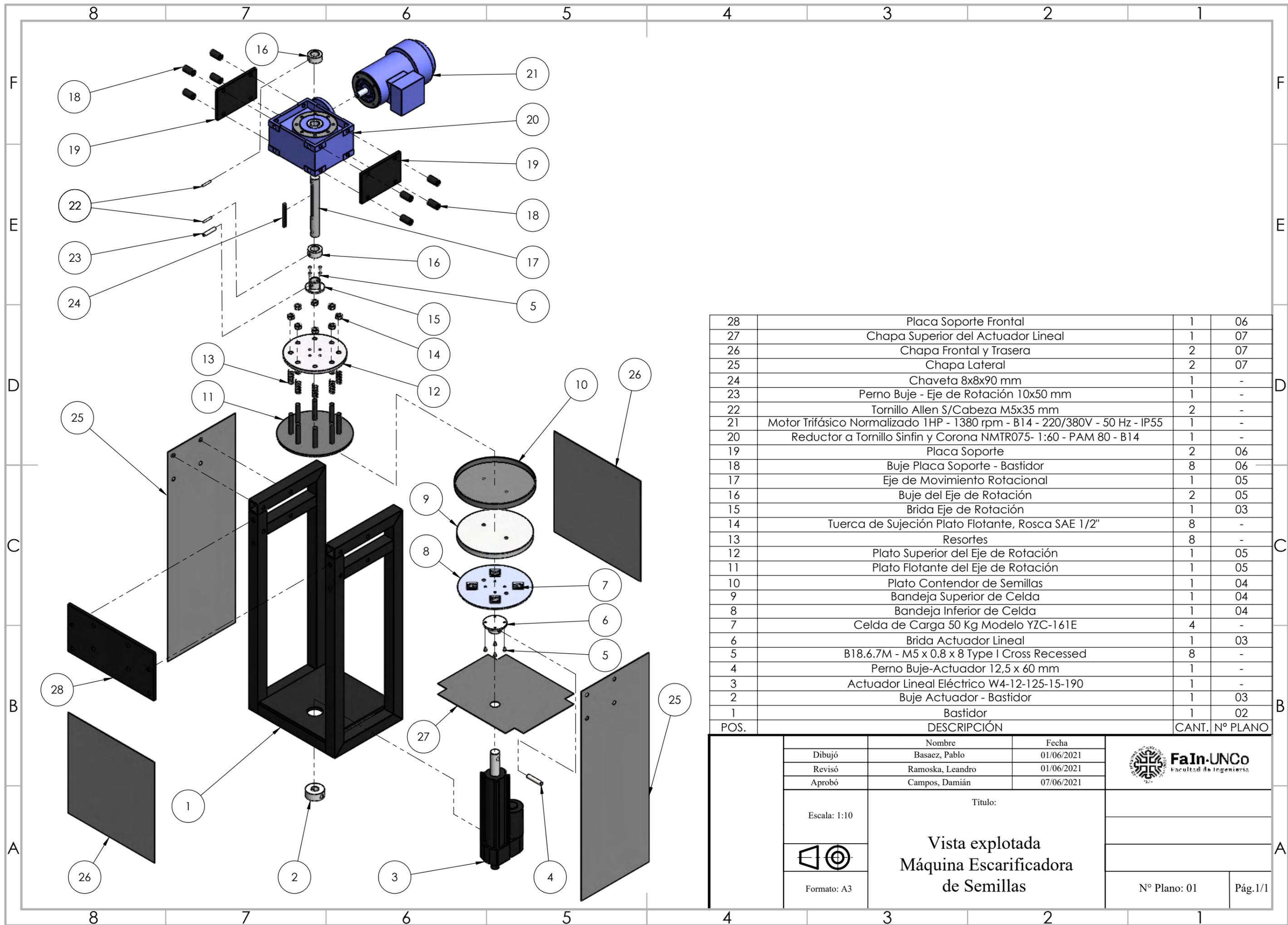
**Especificaciones técnicas:**

- Capacidad mínima: 300 Kg/h.
  - Capacidad de la tolva: 50 Kg.
  - Voltaje: tres fases, variable.
  - Potencia nominal: 3 KW.
  - Frecuencia: 50 Hz.
  - Voltaje nominal: 380 V.
  - Width: 1000 mm Height: 1500 mm Length: 1200 mm.
  - Peso: 120 Kg.
-

### **C. Anexo III: Planos**

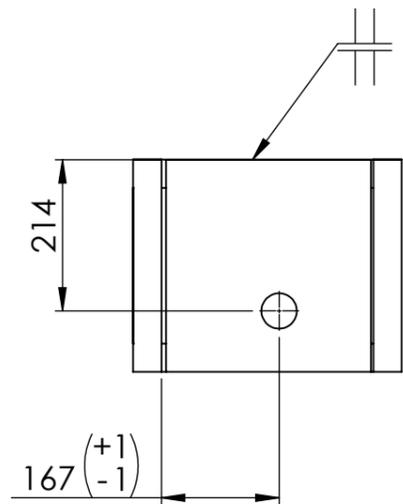
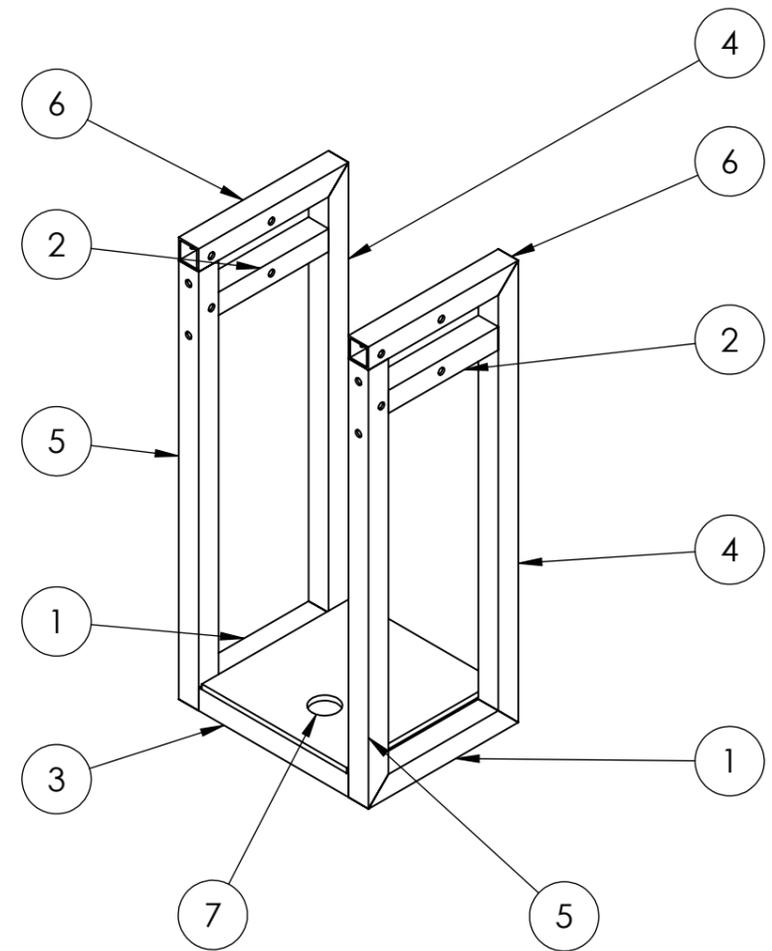
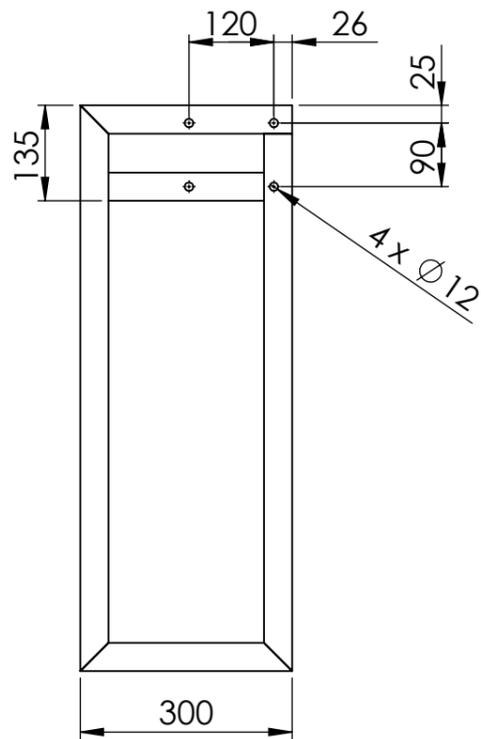
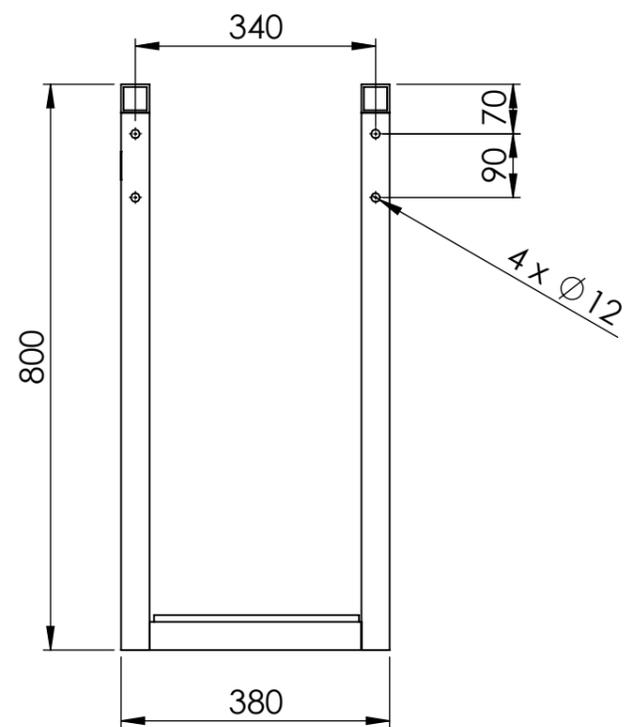
En este apartado se presentan los siguientes planos de detalle:

- NP01: Vista explotada Máquina Ecarificadora de Semillas.
  - NP02 (pág 1 y 2): Bastidor.
  - NP03: Bridas y Buje Inferior del Actuador Lineal.
  - NP04: Bandejas Superior e Inferior de Celdas y Plato Contenedor de Semillas.
  - NP05: Plato Superior y Flotante, Eje de Rotación y Buje del Eje.
  - NP06: Placas Soporte, Bujes de Placa Soporte y Bastidor.
  - NP07: Chapas.
  - NP08: Tablero Eléctrico.
-

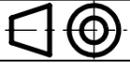


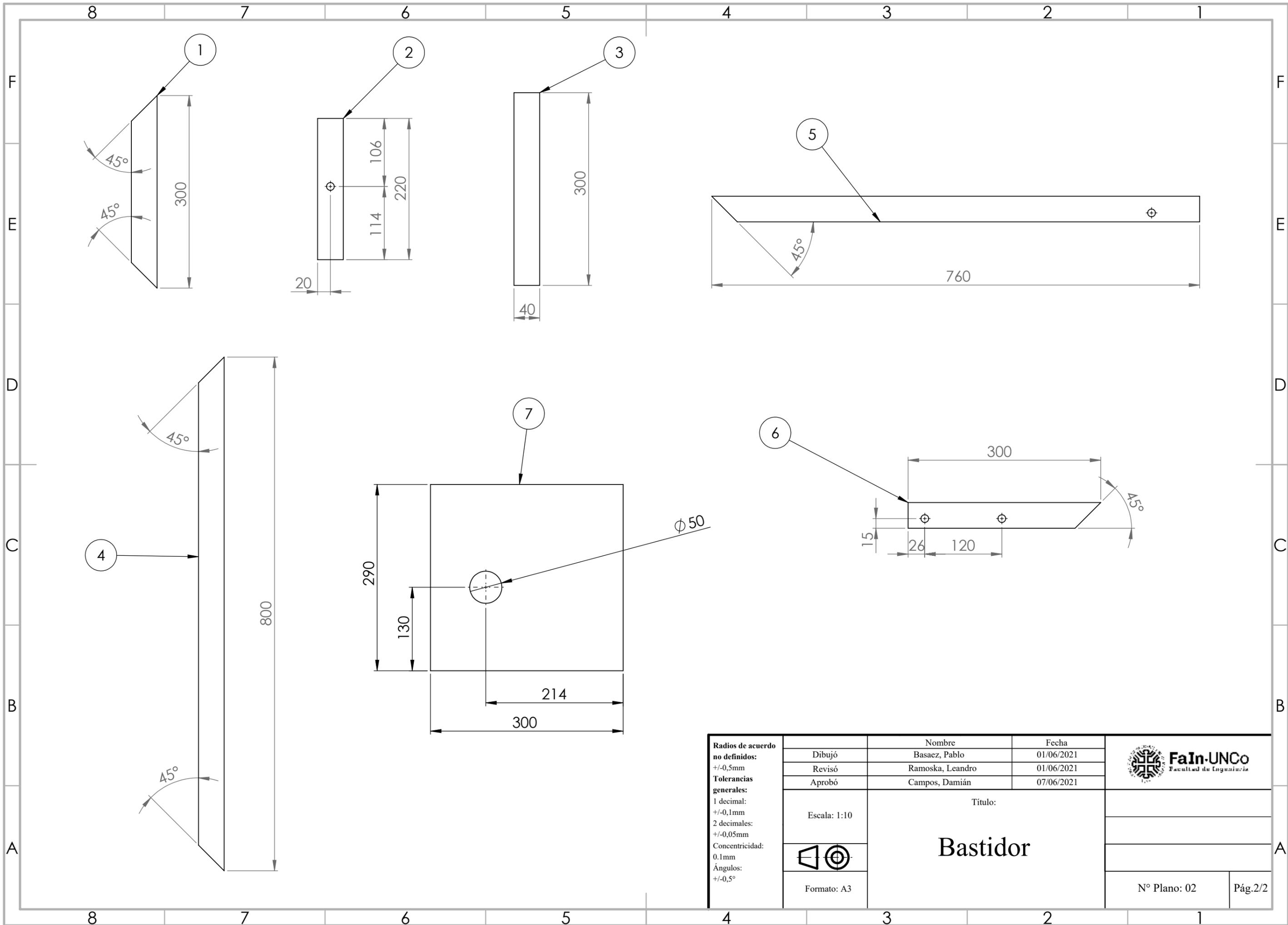
28	Placa Soporte Frontal	1	06
27	Chapa Superior del Actuador Lineal	1	07
26	Chapa Frontal y Trasera	2	07
25	Chapa Lateral	2	07
24	Chaveta 8x8x90 mm	1	-
23	Perno Buje - Eje de Rotación 10x50 mm	1	-
22	Tornillo Allen S/Cabeza M5x35 mm	2	-
21	Motor Trifásico Normalizado 1HP - 1380 rpm - B14 - 220/380V - 50 Hz - IP55	1	-
20	Reductor a Tornillo Sinfin y Corona NMTR075- 1:60 - PAM 80 - B14	1	-
19	Placa Soporte	2	06
18	Buje Placa Soporte - Bastidor	8	06
17	Eje de Movimiento Rotacional	1	05
16	Buje del Eje de Rotación	2	05
15	Brida Eje de Rotación	1	03
14	Tuerca de Sujeción Plato Flotante, Rosca SAE 1/2"	8	-
13	Resortes	8	-
12	Plato Superior del Eje de Rotación	1	05
11	Plato Flotante del Eje de Rotación	1	05
10	Plato Contenedor de Semillas	1	04
9	Bandeja Superior de Celda	1	04
8	Bandeja Inferior de Celda	1	04
7	Celda de Carga 50 Kg Modelo YZC-161E	4	-
6	Brida Actuador Lineal	1	03
5	B18.6.7M - M5 x 0.8 x 8 Type I Cross Recessed	8	-
4	Perno Buje-Actuador 12,5 x 60 mm	1	-
3	Actuador Lineal Eléctrico W4-12-125-15-190	1	-
2	Buje Actuador - Bastidor	1	03
1	Bastidor	1	02
POS.	DESCRIPCIÓN	CANT.	Nº PLANO

Nombre	Fecha	 <b>FaIn-UNCo</b> Facultad de Ingeniería	
Dibujó	Basaez, Pablo		01/06/2021
Revisó	Ramoska, Leandro		01/06/2021
Aprobó	Campos, Damián		07/06/2021
Escala: 1:10	Título:		
	<b>Vista explotada</b> <b>Máquina Escarificadora</b> <b>de Semillas</b>		
Formato: A3	Nº Plano: 01	Pág. 1/1	



7	Chapa, e: 9,53 mm	SAE-1010	1
6	PERFIL 40x40x3.6	F-24	2
5	PERFIL 40x40x3.6	F-24	2
4	PERFIL 40x40x3.6	F-24	2
3	PERFIL 40x40x3.6	F-24	1
2	PERFIL 40x40x3.6	F-24	2
1	PERFIL 40x40x3.6	F-24	2
POS.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD

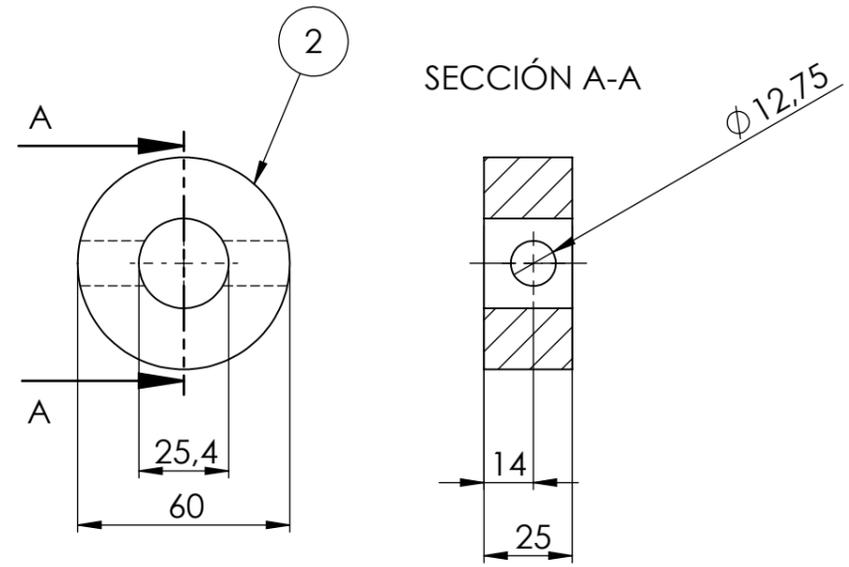
Radios de acuerdo no definidos:		Nombre	Fecha	 <b>FaIn-UNCo</b> <small>Facultad de Ingeniería</small>	
+/-0,5mm		Dibujó	Basaez, Pablo		01/06/2021
Tolerancias generales:		Revisó	Ramoska, Leandro		01/06/2021
1 decimal:		Aprobó	Campos, Damián	07/06/2021	
+/-0,1mm		Escala: 1:10		Título:  <h1>Bastidor</h1>	
2 decimales:					
+/-0,05mm					
Concentricidad:		Formato: A3		N° Plano: 02	
0,1mm				Pág.1/2	
Ángulos:					
+/-0,5°					



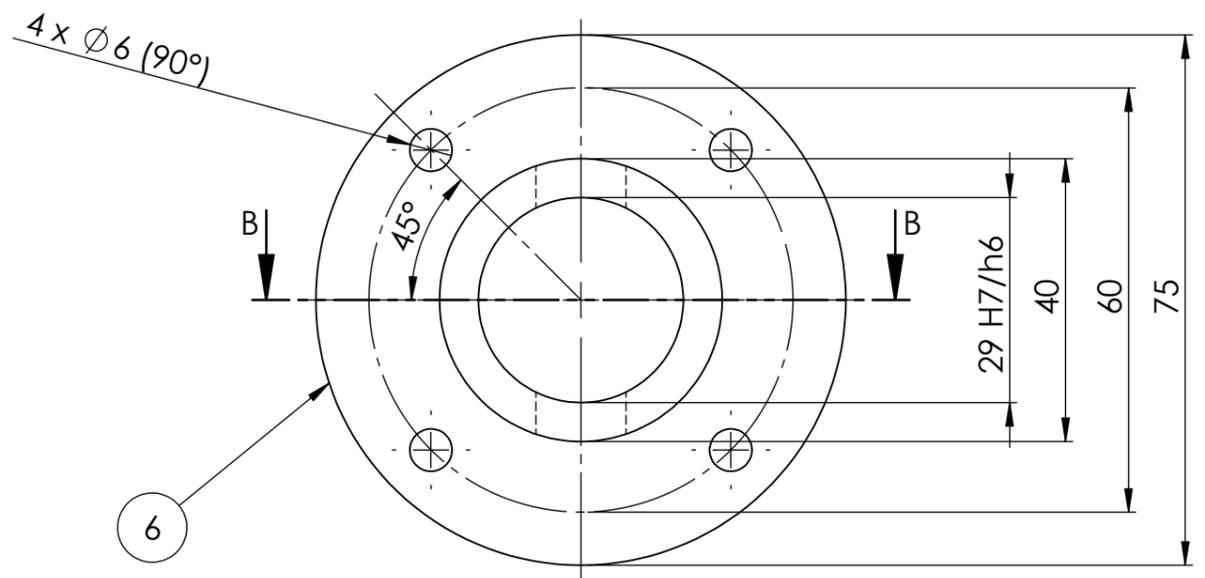
**Radios de acuerdo no definidos:**  
 +/-0,5mm  
**Tolerancias generales:**  
 1 decimal:  
 +/-0,1mm  
 2 decimales:  
 +/-0,05mm  
 Concentricidad:  
 0.1mm  
 Ángulos:  
 +/-0,5°

	Nombre	Fecha
Dibujó	Basaez, Pablo	01/06/2021
Revisó	Ramoska, Leandro	01/06/2021
Aprobó	Campos, Damián	07/06/2021
Escala: 1:10	Título:	
	<b>Bastidor</b>	
Formato: A3		

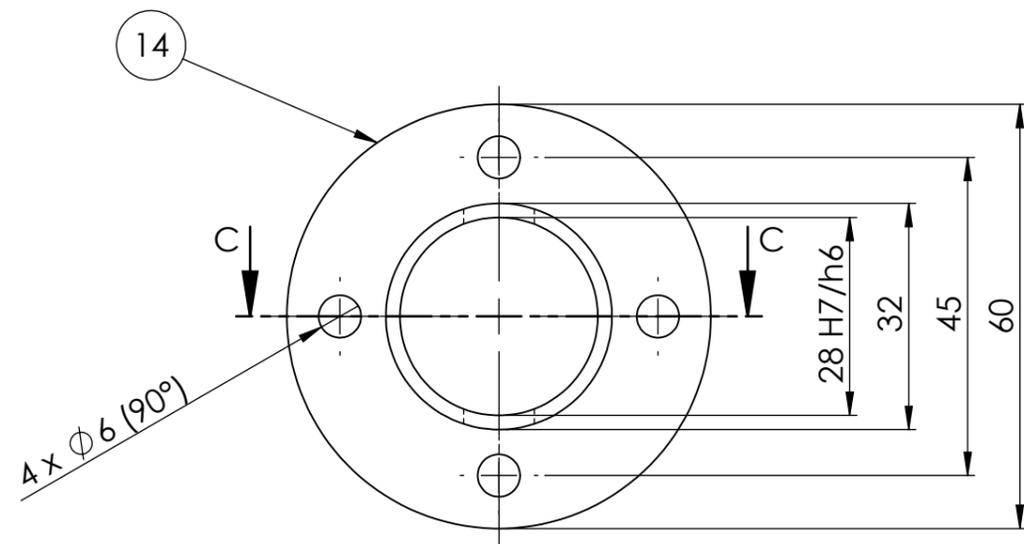




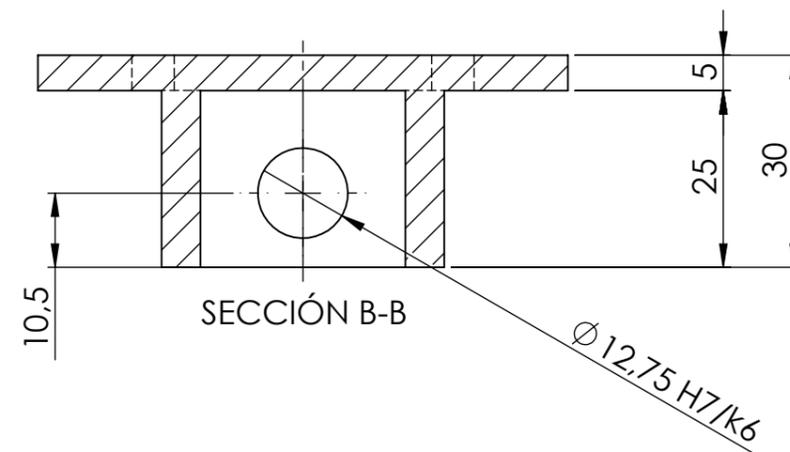
ESCALA 1 : 2



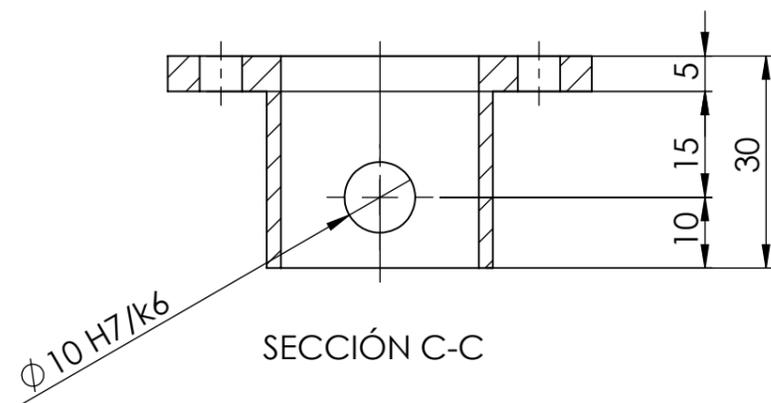
ESCALA 1 : 1



ESCALA 1 : 1

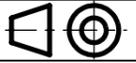


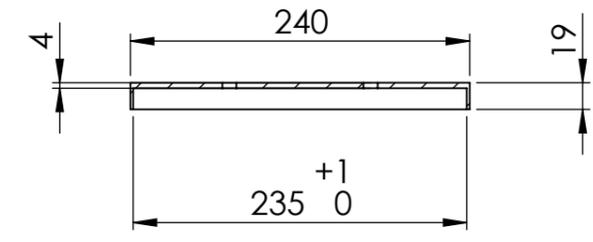
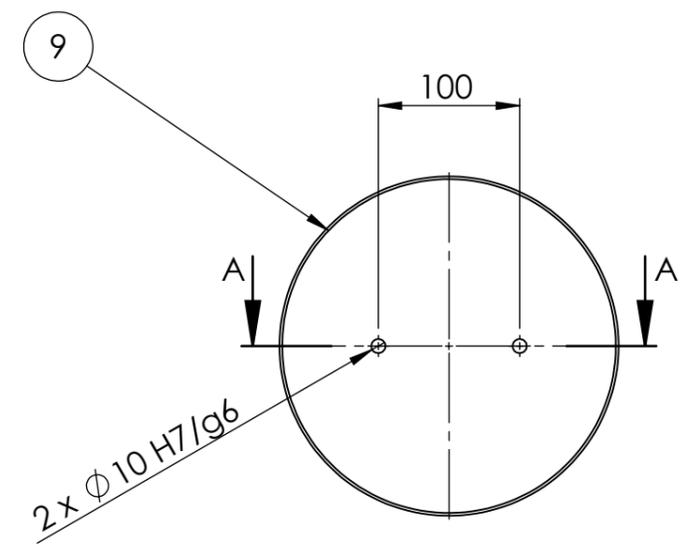
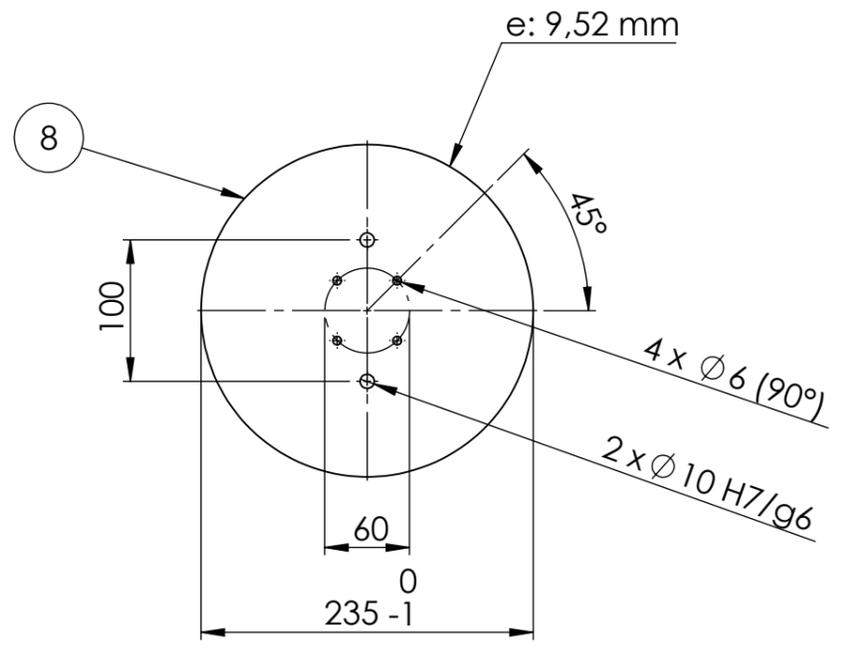
SECCIÓN B-B



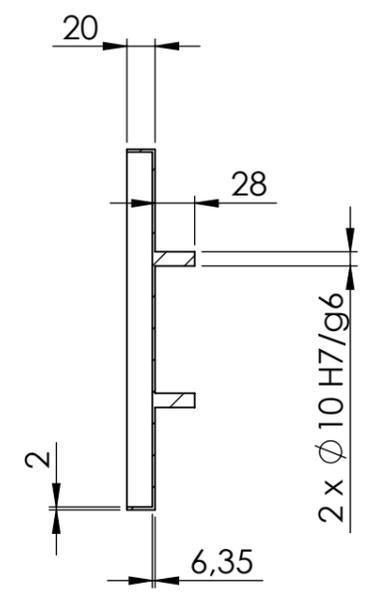
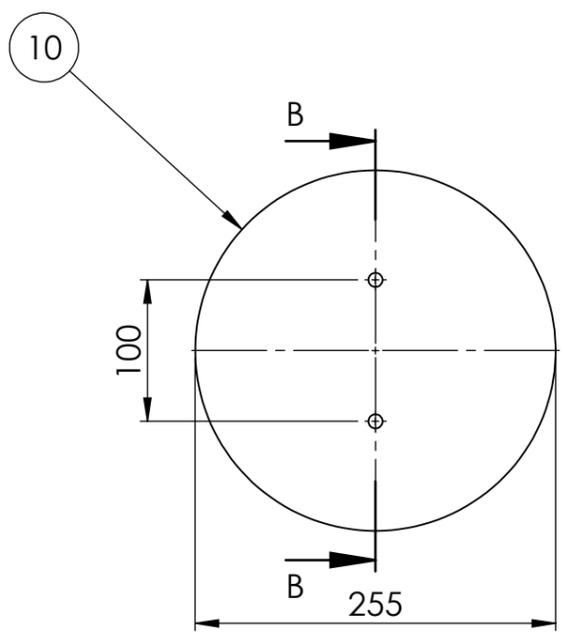
SECCIÓN C-C

14	Brida Eje de Rotación	SAE-1020	1
6	Brida Actuador Lineal	SAE-1020	1
2	Buje Inferior	SAE-1020	1
POS.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD

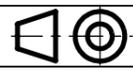
<b>Terminación:</b> Torneado $\sqrt{Ra\ 6,3}$	Dibujó	Nombre	Fecha	 <b>FaIn-UNCo</b> Facultad de Ingeniería
	Revisó	Basaez, Pablo	01/06/2021	
	Aprobó	Ramoska, Leandro	01/06/2021	
		Campos, Damián	07/06/2021	
		Título: <b>Bridas y Buje Inferior          del Actuador Lineal</b>		
Formato: A3				N° Plano: 03
				Pág.1/1

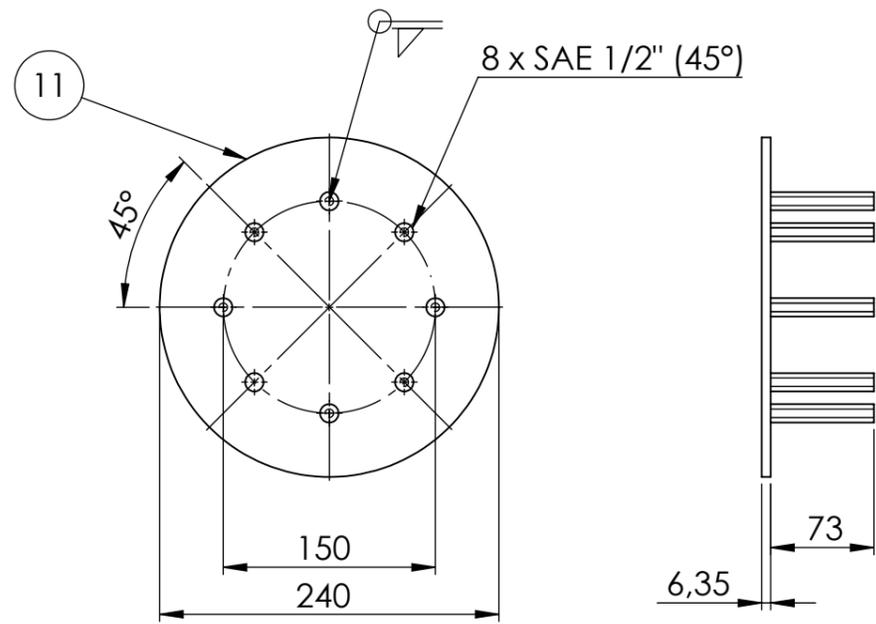


SECCIÓN A-A

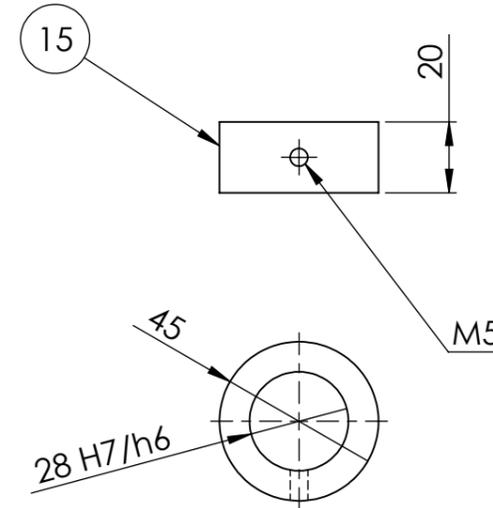


SECCIÓN B-B

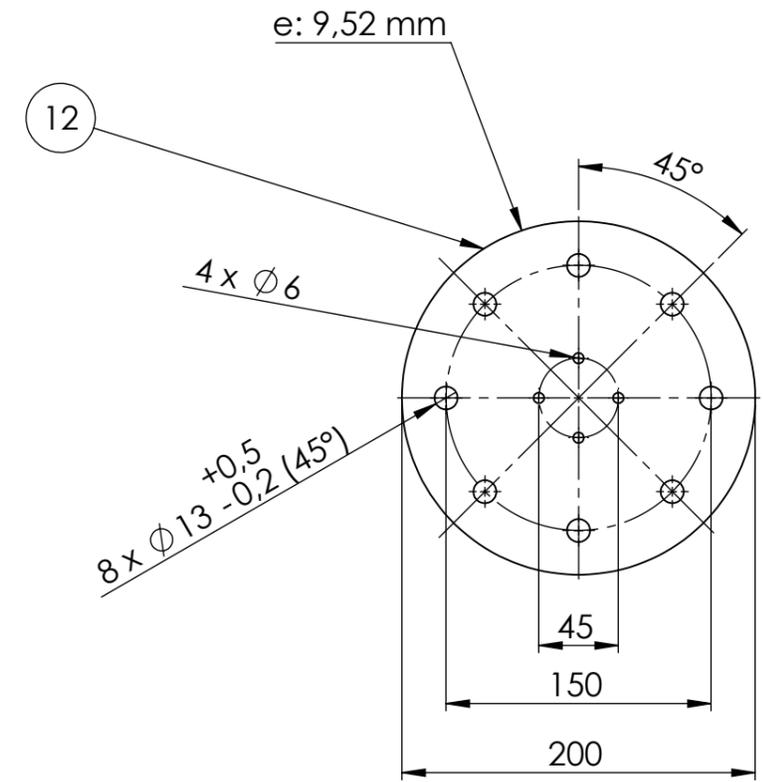
10	Plato Contenedor de Semillas	SAE-1020	1	
9	Bandeja Superior de Celda	SAE-1020	1	
8	Bandeja Inferior de Celda	SAE-1020	1	
POS.	DESCRIPCIÓN	MATERIALES	CANTIDAD	
	Nombre	Fecha		
	Dibujó	Basaez, Pablo		01/06/2021
	Revisó	Ramoska, Leandro		01/06/2021
	Aprobó	Campos, Damián		07/06/2021
	Escala: 1: 5	Título:		
		<b>Bandejas Superior e Inferior de Celdas y Plato Contenedor de Semillas</b>		
	Formato: A3			
		N° Plano: 04	Pág.1/1	



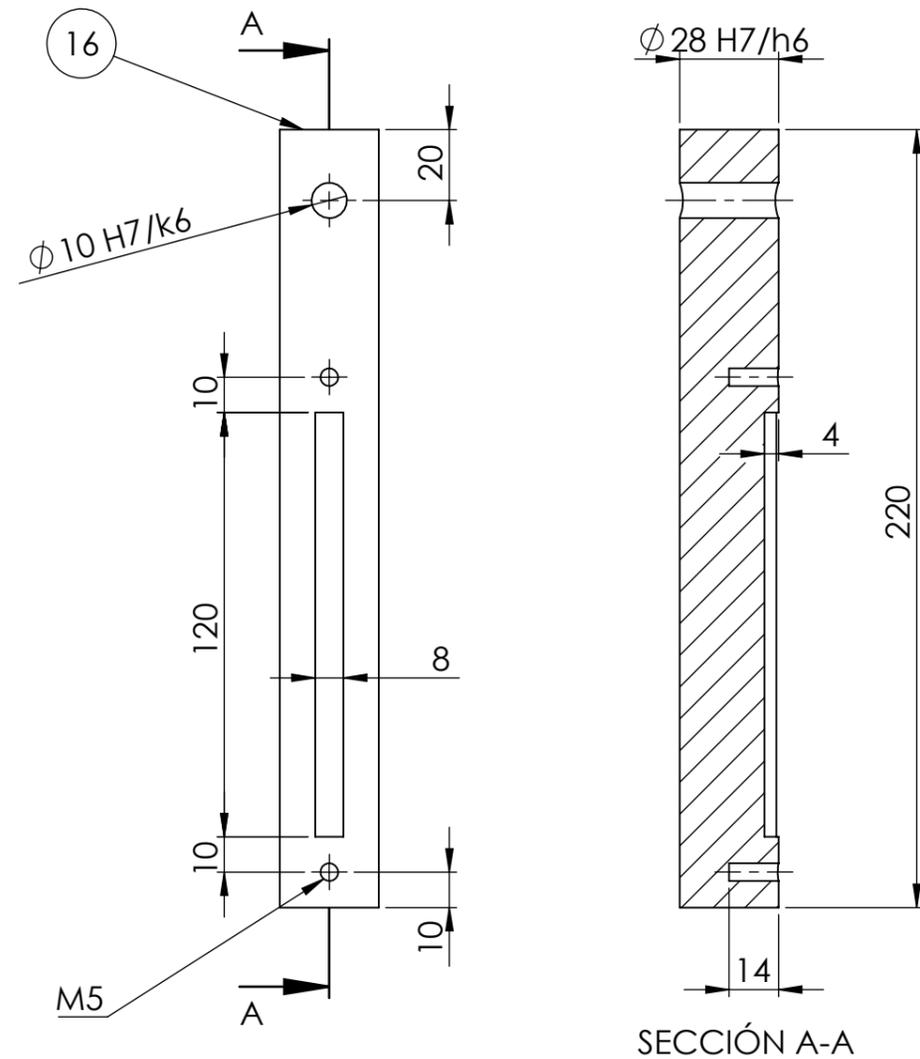
ESCALA 1 : 5



ESCALA 1 : 2

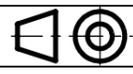


ESCALA 1 : 5

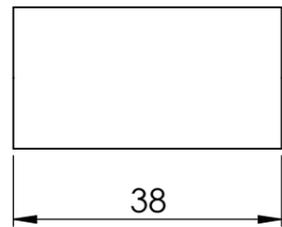
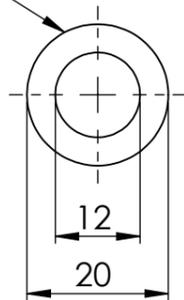


ESCALA 1 : 2

POS.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
15	Buje del Eje de Rotación	SAE-1020	2
16	Eje de Movimiento Rotacional	SAE-1020	1
12	Plato Superior del Eje de Rotación	SAE-1020	1
11	Plato Flotante Eje de Rotación	SAE-1020	1

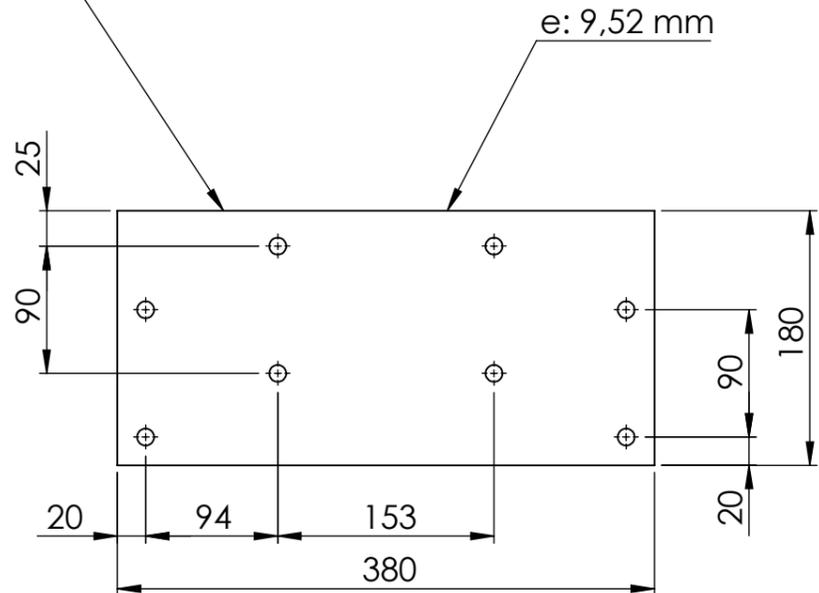
Terminación:		Nombre	Fecha	
Torneado Ra 6,3 ✓	Dibujó	Basaez, Pablo	01/06/2021	
	Revisó	Ramoska, Leandro	01/06/2021	
	Aprobó	Campos, Damián	07/06/2021	
		Título: <b>Plato Superior y Flotante, Eje de Rotación y Buje del Eje</b>		N° Plano: 05
Formato: A3				

17



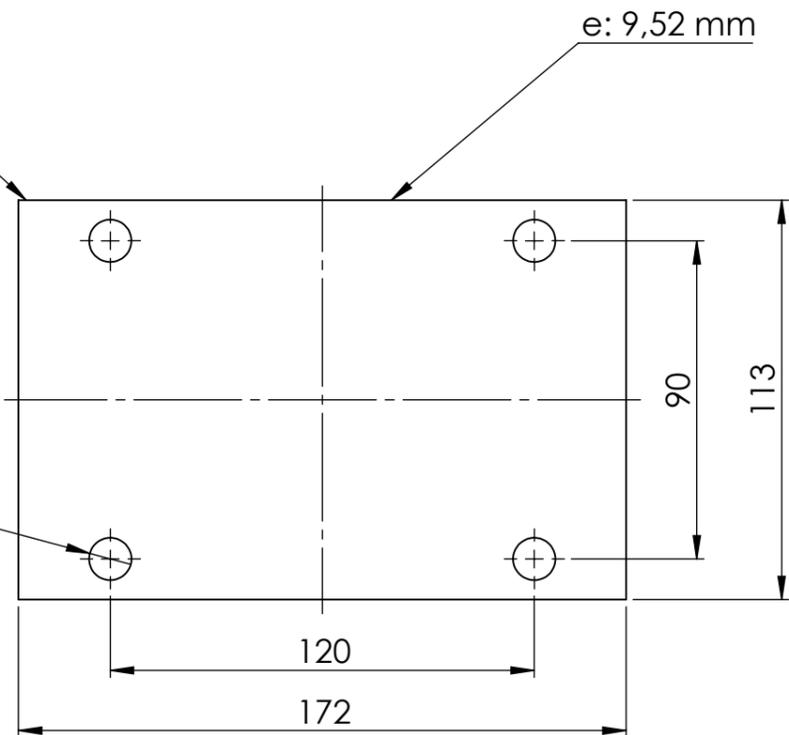
ESCALA 1 : 1

27



ESCALA 1 : 5

18



ESCALA 1 : 2

27	Placa Soporte Frontal	SAE-1020	1
18	Placa Soporte	SAE-1020	2
17	Buje para Placa Soporte y Bastidor	SAE-1020	8
POS.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD

	Nombre	Fecha		
	Dibujó	Basaez, Pablo		01/06/2021
	Revisó	Ramoska, Leandro		01/06/2021
	Aprobó	Campos, Damián		07/06/2021
	Título:			
	Placas Soporte, Bujes de Placa Soporte y Bastidor			
	Formato: A3	N° Plano: 06	Pág. 1/1	

8

7

6

5

4

3

2

1

F

E

D

C

B

A

F

E

D

C

B

A

8

7

6

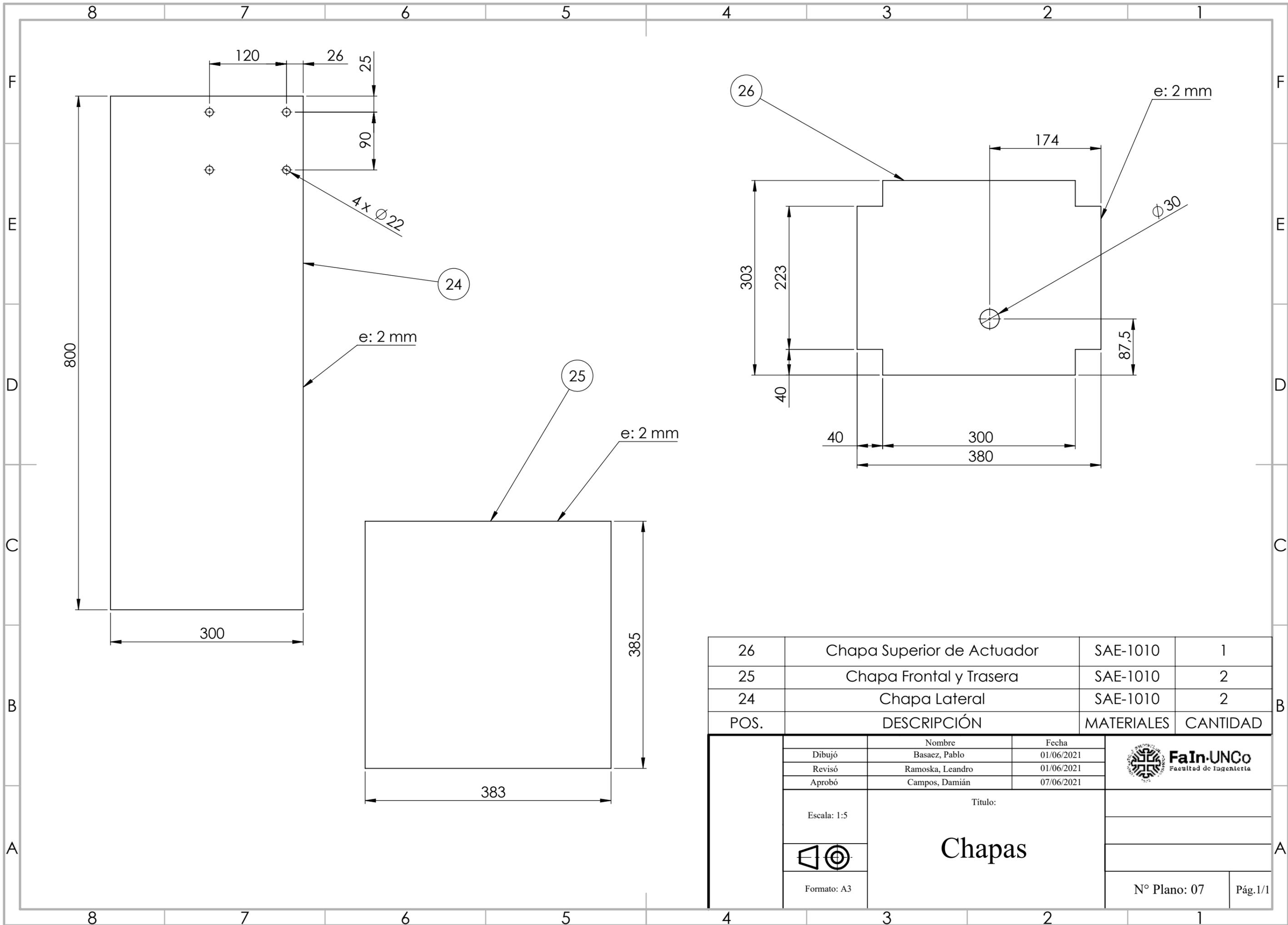
5

4

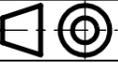
3

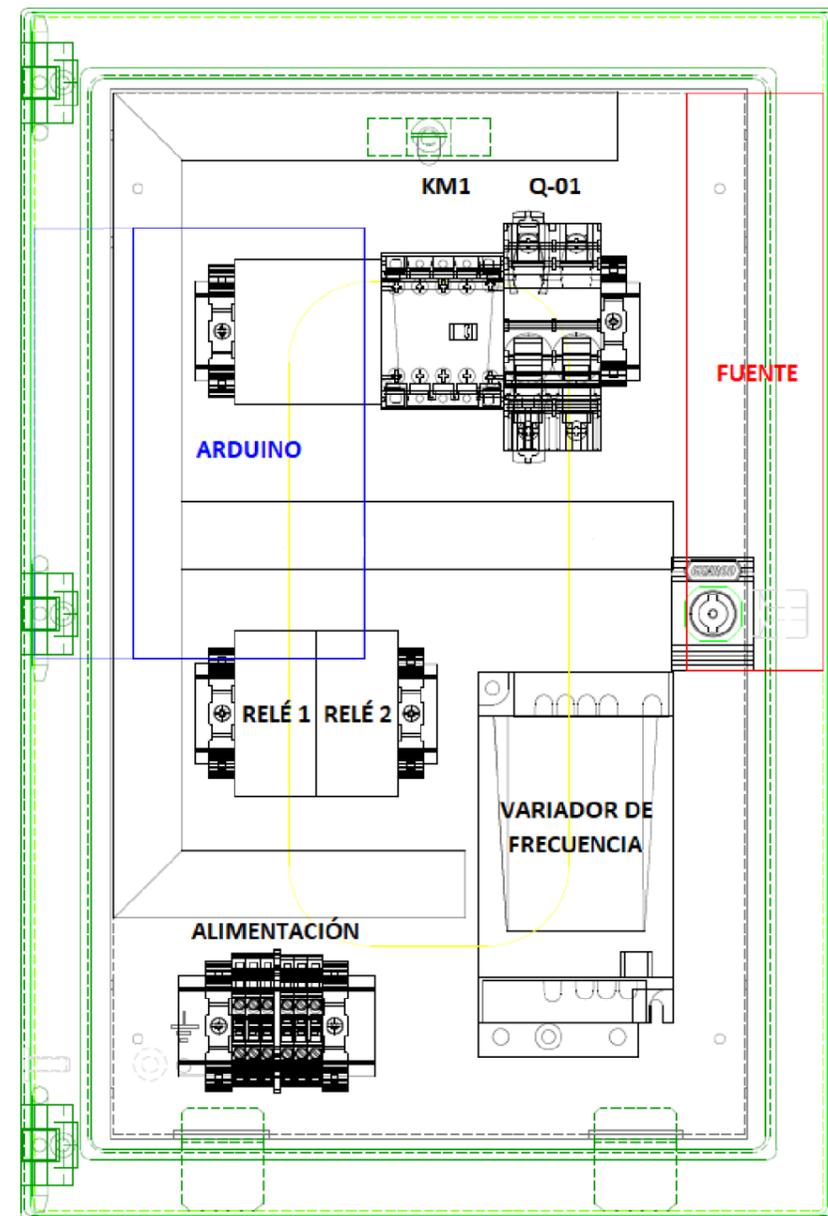
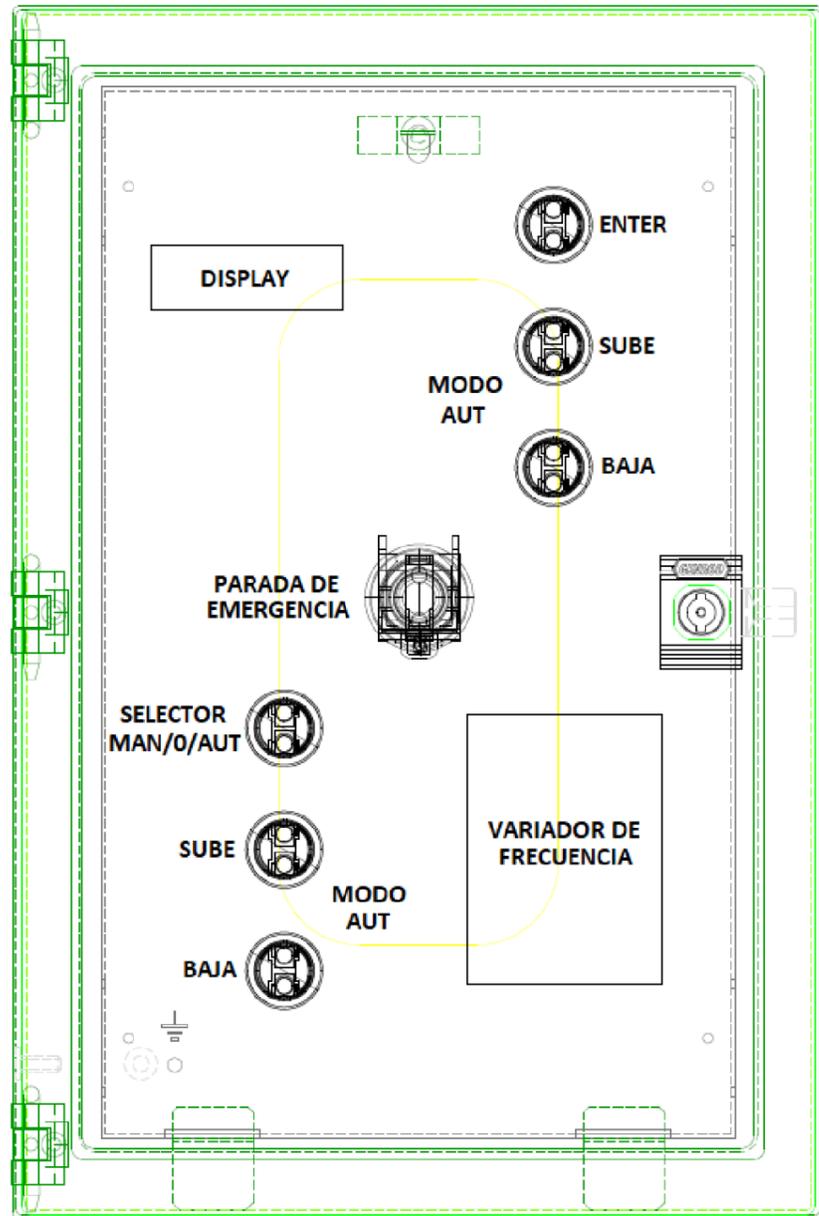
2

1



26	Chapa Superior de Actuador	SAE-1010	1
25	Chapa Frontal y Trasera	SAE-1010	2
24	Chapa Lateral	SAE-1010	2
POS.	DESCRIPCIÓN	MATERIALES	CANTIDAD

Escala: 1:5  Formato: A3	Nombre	Fecha	 <b>FaIn-UNCo</b> Facultad de Ingeniería	
	Dibujó	Basaez, Pablo		01/06/2021
	Revisó	Ramoska, Leandro		01/06/2021
	Aprobó	Campos, Damián		07/06/2021
Título:				
<b>Chapas</b>				
		N° Plano: 07	Pág. 1/1	



	Nombre	Fecha	 Universidad Nacional del Comahue Facultad de Ingeniería Departamento de Mecánica Aplicada
	Dibujó	01/06/2021	
	Revisó	01/06/2021	
	Aprobó	07/06/2021	
	Título:		
	<b>Tablero Eléctrico</b>		
	Formato: A3		N° Plano: 08      Pág. 1/1