

# Integración de "triz and qfd" para un diseño innovador en cad de un prototipo de arado reversible por gravedad de bajo costo

## Integration of "triz and qfd" for an innovative cad design of a low-cost reversible gravity plow prototype

RECIBIDO: 10 DE AGOSTO DE 2022 | REVISADO: 12 DE OCTUBRE DE 2022 | ACEPTADO: 2 DE DICIEMBRE DE 2022

ALEXIS ENRIQUE RUBIO VALLE<sup>1\*</sup>  
JESÚS ABEL MEJÍA MARCACUZCO<sup>2</sup>  
ELISEO BENJAMÍN BARRIGA GAMARRA<sup>3\*</sup>  
CARLOS JAVIER SALAS PEÑA<sup>4\*</sup>  
MARILYN AURORA BUENDÍA MOLINA<sup>5</sup>

### ABSTRACT

Worldwide there are different designs of plows, however, these have their drive-in hydraulic systems raising the cost of production. The objective of this research was to design and optimize a prototype in CAD systems of a low-cost reversible gravity plow with three plowing discs that can be used by a low-power tractor (50 to 75 Hp). The design emphasizes the conceptual innovation and dimensioning of a novel system of mechanisms that, together, is capable of reversing the plow discs only with the action of gravity and the inertial masses that are produced when lifting the plow. For this innovative design, is incorporated the concepts of "Theory for Solving Inventive Problems" (Tieoriya Riesheniya Izobrietatielskij Zadach) (TRIZ) and "Quality Function Deployment" (QFD). For the dimensioning of the design, the moments of work in which the plow supports the greatest stress are considered: at the beginning of the plowing work and the lifting of the plow by the three-point hitch. Finally, extended reality technologies were used to create a virtual prototype that allows significant savings of time and money through the Solid Works program. The results indicate that the prototype is functional and reduces production and maintenance costs due to the simplicity of its components.

**Keywords:** Design; Optimization; reversible plow; agricultural machines; design methodology.

### RESUMEN

A nivel mundial existen diferentes diseños de arados; sin embargo, estos tienen su accionar en sistemas hidráulicos elevando el costo de la producción. El objetivo de esta investigación fue diseñar y optimizar un prototipo, en sistemas CAD, de un arado reversible por gravedad de bajo costo con tres discos de aradura que pueda ser usado por un tractor de baja potencia, (50 a 75 Hp). En el diseño se enfatiza la innovación conceptual y dimensionamiento de un novedoso sistema de mecanismos que, en conjunto, es capaz de revertir los discos de aradura solo con la acción de la gravedad y las inerciales de masa que se producen al levantar el arado. Para este diseño innovador se incorpora los conceptos de la Teoría para Resolver Problemas de Inventiva (Tieoriya Riesheniya Izobrietatielskij Zadach) (TRIZ) y el Despliegue de la Función de Calidad (Quality Function Deployment) (QFD). Para el dimensionamiento del diseño se toma en cuenta los instantes de trabajo en que el arado soporta el mayor estrés: al inicio del trabajo de aradura y el levantamiento del arado por el enganche de tres puntos. Finalmente se usó tecnologías de realidad extendida, para crear un prototipo virtual que permite un ahorro significativo de tiempo y dinero, a través del programa Solid Works. Los resultados indican que el prototipo es funcional y disminuyen los costos de producción y mantenimiento, por la simplicidad de sus componentes.

**Palabras clave:** Diseño; optimización; arado reversible; máquinas agrícolas; metodología de diseño.

<sup>1\*</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.  
arubiov@lamolina.edu.pe  
<https://orcid.org/0000-0002-4430-8694>

<sup>2</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.  
jabel@lamolina.edu.pe  
<https://orcid.org/0000-0002-9070-3898>  
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56896087200>

<sup>3</sup> Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.  
bbarrig@pucp.edu.pe  
<https://orcid.org/0000-0002-7781-6177>  
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57192093893>

<sup>4</sup> Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.  
carlo.salas@pucp.edu.pe  
<https://orcid.org/0000-0003-3510-2261>

<sup>5</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.  
<https://orcid.org/0000-0003-2896-0778>

## Introducción

El crecimiento de la agricultura peruana en los últimos diez años ha sido sorprendente debido a las agroexportaciones peruanas que, se multiplicaron por 12 en los últimos 20 años. Pasando de 634 millones en el 2001 a 7 mil 500 millones de dólares en el 2020 (IPE, 2021), pero no ha sido homogéneo porque la productividad en la costa creció en 7,2 %, en la sierra 0.2 % y en la selva retrocedió a -0.2% (BM, 2018). Los niveles de ingreso en los hogares de agricultores se estancaron y las tasas de pobreza son muy altas. Los pequeños agricultores, con menos de 5 hectáreas, ocupan el 16.5 % de la extensión agrícola, pero son el 79.5 % de los productores agropecuarios (INEI, 2014), los mismos que, debido a las tasas de pobreza y poca extensión agrícola, desarrollan una agricultura de baja tecnología. Siendo necesario plantear una estrategia gradual para brindar apoyo, escalonado y efectivo, a este grupo de agricultores, con el fin de mejorar sus niveles de productividad y competitividad (BM, 2018). La incorporación de estos factores contextuales en las decisiones de diseño es importante para obtener resultados exitosos en el implemento final diseñado (Burlison et al., 2022).

El objetivo del estudio fue diseñar un arado de tecnología intermedia, de fácil uso, mantenimiento y reemplazo de sus elementos de desgaste, asegurando costos bajos y larga vida útil. Incidiendo en una estrategia gradual (BM, 2018), se llegó a diseñar una maquinaria agrícola que tenga relación directa con las labores primarias de cultivo, siendo estas labores la que más energía consume (Val et al., 1985). Mirabito et al. (2022) señalan se debe considerar lo complejo del proceso y tomar en cuenta los factores que afectan altamente los diseños (fluidez de ideas, oportunidad y orden), además de minimizar los errores a través de una metodología sistemática, *Engineering design – a systematic approach* (Pahl et al., 2007) y para precisar los parámetros de diseño se usó el enfoque de "TRIZ and QFD" (Mayda y Borklu, 2013). Finalmente, se desarrolló el prototipo en base a tecnología de realidad extendida a través de la aplicación de Sistemas CAD.

## Método

### Materiales

Como base para el análisis de los mecanismos investigados se usó dos arados en desuso encontrados en el Fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), uno de ellos es de tres discos, reversible por al accionar de una palanca por parte del tractorista; el segundo es un arado de 4 discos y es reversible por el accionar del sistema hidráulico del tractor. Para las pruebas de campo en aradura se usaron dos tractores: un tractor John Deere 1040 con código de fabricación 104SA y serie 554965 de 50 HP de potencia neta a la barra de tiro (Tractorista.es, 2020) y un tractor New Holland con código de fabricación TD5.80d con 80 hp de potencia a la barra de tiro (LECTURA specs, 2022). Se usaron dos arados de discos, el primero fue marca OMB, Modelo de fabricación AR4 OMB de reversión por el sistema hidráulico del tractor y un arado FIANSA (Fabrica de Implementos Agrícolas Nacionales S. A., 1980), de tres discos con sistema de reversión por accionamiento de palanca. Para las pruebas de resistencia del suelo se usó además del sistema tractor - arado descrito, un dinamómetro o indicador de carga digital "Dinafor LLX2 0.5"(Tractel, 2022) colocado en uno de los enganches de tres puntos entre el tractor y el arado para determinar la fuerza de tiro necesaria al realizar el corte y levantamiento del suelo. Los sistemas CAD se usó para el desarrollo del prototipo, El hardware consistió en dos computadoras preparadas para trabajos de diseño en 3D, con tarjetas gráficas NVIDIA 2 GB (NVIDIA GeForce, 2020). El Software se trabajó con el programa Solid Works 2018 x64 edition SP5 (Dassault Systemes, 2021). Adicionalmente, para el desarrollo del documento se utilizó los programas de Word, Exel y Visio; mientras que, para procesar las figuras se usó el programa Corel DRAW Graphics Suite 13.

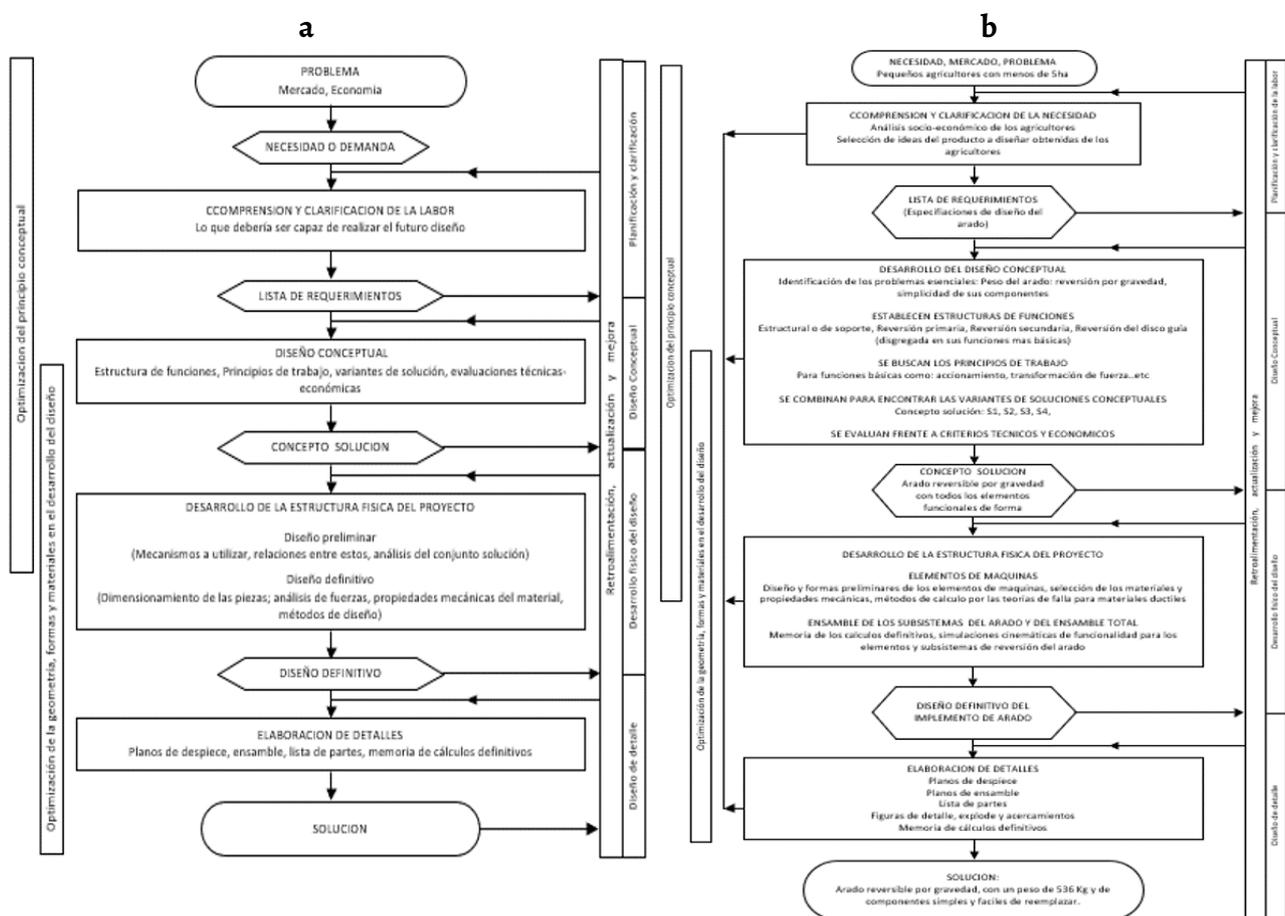
### Método

*La metodología de diseño empleada es la propuesta por Pahl and Beitz en el libro "Ingeniería de diseño - Una aproximación sistemática", con la incorporación de innovación conceptual "TRIZ and QFD" de Mayda and Borklu. El proceso consta de siete pasos (Pahl et al., 2007):* 1, Identificar los problemas esenciales partiendo de una lista de requerimientos, los cuales son representados por funciones. 2, Definir la función general y luego dividirla en subfunciones. En consecuencia, se establece una estructura de función, que representa el flujo funcional del sistema (Mayda y Borklu, 2013). 3, Buscar principios

de funcionamiento, llamados también principios de trabajo, que cumplan las funciones establecidas. 4, Combinar Los principios de funcionamiento dentro de las estructuras de trabajo para ilustrar la estructura básica del sistema (Mayda y Borklu, 2013). 5, Seleccionar las combinaciones adecuadas utilizando una tabla de selección llamada matriz morfológica. 6, Confirmar las variantes de solución. 7, Evaluar Las variantes de solución en tablas de evaluación conteniendo criterios técnicos y económicos. Como resultado se obtiene una solución de principio o un concepto. El método o procedimiento realizado se resume en la Figura 1.

Para el dimensionamiento de los elementos de máquinas, se usó el método de Mohr al análisis tridimensional de esfuerzos, ajustando los cálculos con las teorías de falla para materiales Dúctiles, considerando que los elementos estructurales del arado son hechos de acero ASTM A36.

**Figura 1**  
Metodología empleada (Pahl et al., 2007); a. Diagrama teórico, b. Diagrama aplicado al diseño del arado.



## DESARROLLO DEL DISEÑO

### Lista de requerimientos

El arado diseñado cumple con las siguientes exigencias: del suelo, realiza corte, levante y volteo del suelo y es reversible para evitar producir desniveles en el terreno, además de ser capaz de trabajar en un suelo con un máximo de pedregosidad del 10 %, humedad relativa de 20 % y una pendiente máxima de 15 %, generando

líneas de aradura rectas, estables, sin ondulaciones ni crestas. Respecto de las propiedades de la máquina, el peso del implemento deberá ser menor a 600 kg de modo que la potencia requerida del tractor a la barra de tiro sea de 50 a 75 Hp, asegurando que el sistema tractor-arado esté al alcance de los pequeños agricultores. Finalmente,

es necesario que el acoplamiento del arado al tractor sea hecho por una sola persona, el tractorista.

Posteriormente, se estableció los grados de importancia de los requerimientos, incorporando los factores contextuales en las decisiones de diseño (Burleson et al., 2022), precisándolos mediante la incorporación sistemática de TRIZ y QFD (Mayda y Borklu, 2013), en el enfoque de diseño conceptual de Pahl y Beitz (Pahl et al., 2007).

En la Tabla 1 se calcula la importancia absoluta y relativa de los parámetros de diseño utilizando las siguientes fórmulas:

$$\text{Importancia absoluta } W_{TP}(j) = \sum_{i=1}^n W_{Gi} \cdot F_{ij}$$

$$\text{Importancia relativa } R_j = \frac{W_{TP}(j)}{\sum_{i=1}^n W_{TP}(j)} \cdot 100$$

Donde  $W_{TP}(j)$  es la importancia absoluta de un parámetro de diseño,  $W_{Gi}$  es la importancia relativa de la necesidad de un cliente,  $n$  es el número total de necesidades del cliente y  $F_{ij}$  es el grado de correlación entre una necesidad del cliente y un parámetro de diseño,  $A=9$ ,  $B=5$ ,  $C=3$  o  $D=1$  (Mayda y Borklu, 2013). Los resultados indican que el parámetro más importante es el de "Diseño simple", seguido por "Peso del arado" y finalmente la "Confiability". Adicionalmente, se indican las contradicciones en la parte superior en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Aplicación de HOQ para el arado reversible por gravedad.*



	Importancia relativa	F = A, B, C, D A = 9; B = 5; C = 3; D = 1	PARÁMETROS DE DISEÑO	Capacidad	Peso	Diseño simple	Ergonomía	Fuerza Humana	Seguridad	Confiability	Dimensiones
Necesidad No	Wch	Necesidades del cliente (Lista de requerimientos)									
N 1	1	Realiza corte, levante y volteo de la tierra		C	B						C
N 2	1	Reversible (Reversion independiente del tractor)				A			B	B	
N 3	0.9	Ligero (Menos de 600 Kg de peso bruto)			A	C					C
N 4	0.9	Facil manejo y manipulacion (Solo un tractorista)				D	A			B	C
N 5	0.6	"Lineas de aradura rectas estables (Sin ondulaciones horizontales ni crestas verticales)"			B					A	B
N 6	1	Potencia del tractor (55 a 65 HP de potencia)		B	A	B					B
N 7	0.8	Baja tecnologia (En reparacion y mantenimiento)			D	A	B	A	B	B	
N 8	0.7	Bajo costo			B	A					C
		Importancia absoluta $W_{TP}(j)$		8	29.4	31.1	12.1	7.2	9	18.9	18.5
		Importancia relativa (%) $R_j$		5.96	21.91	23.17	9.02	5.37	6.71	14.08	13.79
		Valores Normalizados (0...1)		0.060	0.219	0.232	0.090	0.054	0.067	0.141	0.138

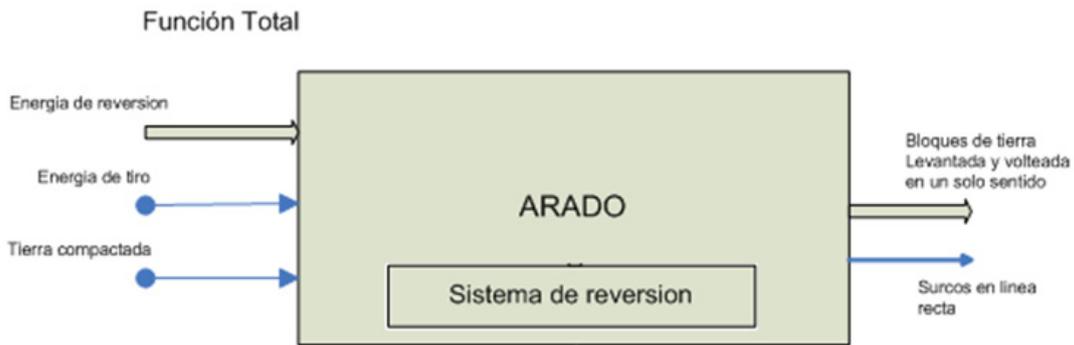
Fuente: Mayda y Borklu (2013)

**Búsqueda de funciones, subfunciones y principios de funcionamiento o principios de trabajo**

El análisis de funcionalidad del implemento se realizó en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en áreas destinadas a experimentación agrícola para distintos cultivos y tipos de suelos. Con

base a estas observaciones y análisis de los modelos usados en las pruebas, se obtuvo el siguiente esquema global de funciones (Figura 2).

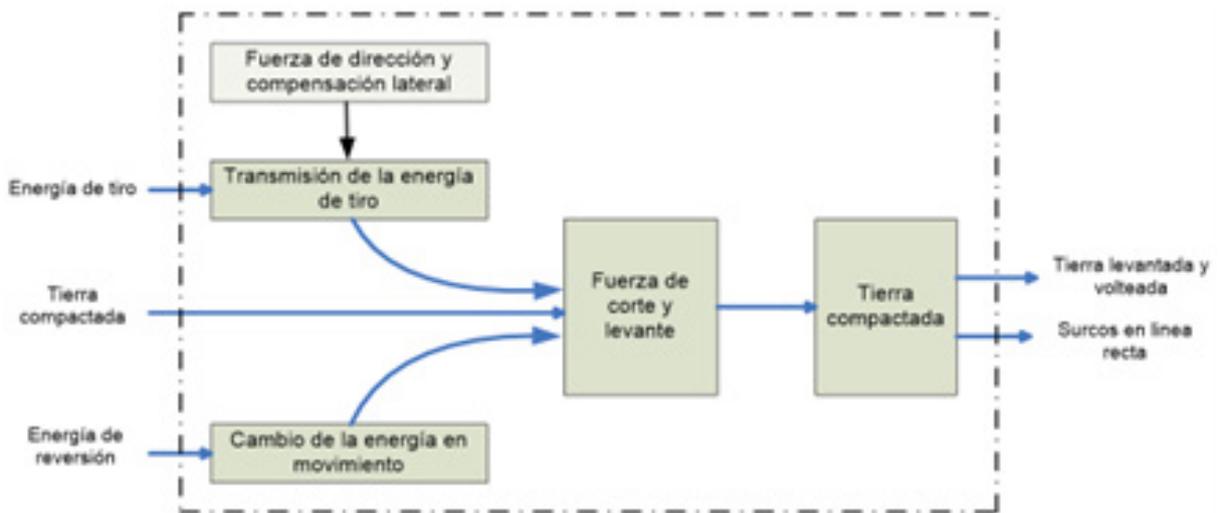
**Figura 2**  
Función total, mostrando los Inputs y los outputs en el implemento.



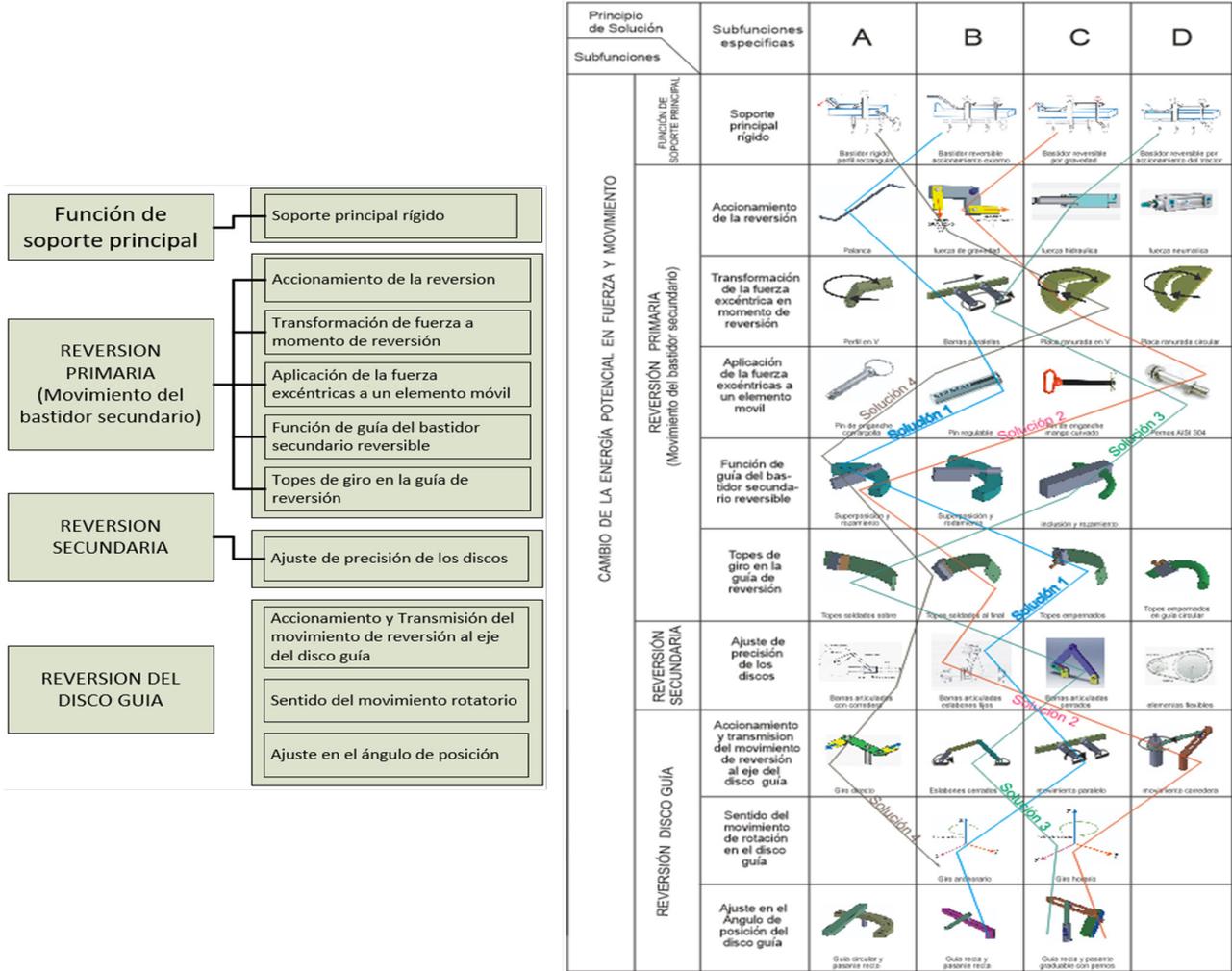
Se realizó actividades de trabajo del modelo de arado enfocados en la transformación de la energía entrante al sistema, el cual transforma el suelo compactado en tierra levantada y volteada en una sola dirección

y en línea recta. El modelo funcional óptimo para el diseño requerido comprende la siguiente estructura de funciones disgregada (Figura 3).

**Figura 3**  
Subfunciones disgregadas de la función principal del implemento.



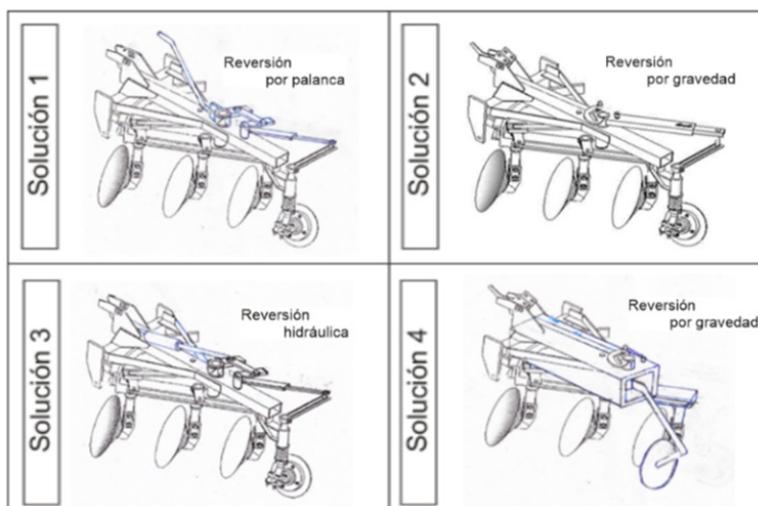
**Figura 4**  
Matriz Morfológica para la búsqueda de los principios de trabajo.



Se encontró cuatro funciones principales; la función de soporte principal, la función de reversión primaria, la función de reversión secundaria y la reversión del disco guía (Figura 4). Cada función se desgrega en funciones básicas, para las cuales se propusieron cuatro principios de trabajo. Para la función de soporte principal rígido se encontró cuatro tipos de bastidores que cumplen con los requerimientos, la función de reversión primaria se desgregó en cinco funciones básicas, planteando cuatro principios de trabajo por cada una de estas y finalmente la función de reversión del disco guía se desgregó en

tres funciones elementales (Ciavola et al., 2015), para los cuales, de la misma forma, se establecen cuatro principios de trabajo, posteriormente se realizó cuatro posibles combinaciones por cada función elemental, este proceso se representa por las líneas definidas con colores; Solución 1 (línea azul), Solución 2 (Línea naranja), Solución 3 (Línea verde), y Solución 4 (línea marrón) respectivamente. (Proceso representado en la figura 4). Como resultado se obtuvieron cuatro posibles conceptos solución. Los cuales se presentan en la figura 5.

**Figura 5**  
Variantes en los conceptos solución.



## Evaluación

Se determinaron nueve parámetros para la evaluación técnica y ocho parámetros para la evaluación económica, se asignaron los valores de ponderación que asocian los valores con la importancia que le dan los clientes, se calculó el Puntaje máximo y Valor teórico de las variantes de solución, a través de las siguientes fórmulas (Normas VDI 2225 - Parte 3) (SCRIBD, 2020) y se estableció el orden de prioridad de cada propuesta de solución.

$$\text{Puntaje máximo} \quad \sum_{i=1}^{i=n} G_i P_i$$

$$\text{Valor teórico} \quad \frac{\left( \sum_{i=1}^{i=n} G_i P_i \right)_{\text{Sol}(j)}}{\left( \sum_{i=1}^{i=n} G_i P_i \right)_{\text{Sol}(\text{ideal})}}$$

## Evaluación técnica

En la Evaluación Técnica, se utilizó los criterios de las normas VDI 2225 (SCRIBD, 2020) para la asignación de valores y la ponderación en los criterios de evaluación seleccionados, dando prioridad a los parámetros obtenidos de la evaluación de las necesidades. La variante S2 tiene el valor más alto para los parámetros de diseño establecidos en grados de importancia representados por sus ponderaciones (Tabla 2a). El requisito del peso se cumplió básicamente al utilizar solo tres discos de aradura, la simplicidad en sus componentes y un sistema de reversión que se basa en la fuerza de gravedad y el movimiento, sin necesitar sistemas adicionales como hidráulicos o neumáticos.

## Evaluación económica

Para la Evaluación Económica, se emplearon las normas VDI 2225 (SCRIBD, 2020) para la asignación de valores y la ponderación en los criterios de evaluación, dando prioridad a los parámetros como la facilidad para la adquisición de materiales, la manufactura de estos materiales en talleres artesanales, el mantenimiento y finalmente la facilidad del montaje al tractor por un solo tractorista (Tabla 2b).

**Tabla 2**

Evaluación del proyecto: a. Evaluación técnica, b. Evaluación económica

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DE PROYECTOS												
a: Valor técnico												
Proyecto: DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ARADO REVERSIBLE POR GRAVEDAD												
P: Puntaje de 0 - 4 : Escala de valores según VDI 2225 o: No satisfice 1: Limite de aceptacion 2: Aceptable 3: Aceptable 4: Muy bueno (Ideal) G: Peso ponderado en funcion a los criterios de evaluacion												
CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA DISEÑOS EN FACE DE CONCEPTOS O PROYECTOS EVALUACION TÉCNICA												
VARIANTES DE CONCEPTOS SOLUCIÓN			"Solucion 1 S1"		"Solucion 2 S2"		"Solucion 3 S3"		"Solucion 4 S1"		"SOLUCION IDEAL"	
	CRITERIOS DE EVALUACION	G	P	GP	P	GP	P	GP	P	GP	P	GP
1	Buen uso de la fuerza o energia	3	2	6	3	9	1	3	3	9	4	12
2	Estabilidad	2	2	4	2	4	2	4	1	2	4	8
3	Rigidez	2	2	4	2	4	2	4	1	2	4	8
4	"Manipulacion (Enganche y desenganche)"	2	3	6	3	6	1	2	3	6	4	8
5	Compatibilidad	2	2	4	3	6	3	6	2	4	4	8
6	Facilidad de manejo	2	1	2	3	6	2	4	3	6	4	8
7	Confiabilidad del diseño	2	2	4	2	4	1	2	3	6	4	8
8	Mantenimiento	3	2	6	2	6	1	3	2	6	4	12
9	Seguridad	1	2	2	2	2	3	3	2	2	4	4
	PUNTAJE MÁXIMO ΣP o ΣPG			38		47		31		43		76
	Valor tecnico Xi			0.5		0.62		0.41		0.57		1
	ORDEN			3		1		4		2		
$x_i = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n)}{n \cdot P_{max}} = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n)}{(P)} = \frac{P}{P_{max}} = \leq 1$ $x_i = \frac{G_1 P_1 + G_2 P_2 + G_3 P_3 + \dots + G_n P_n}{(G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n) \cdot P_{max}} \leq 1$												

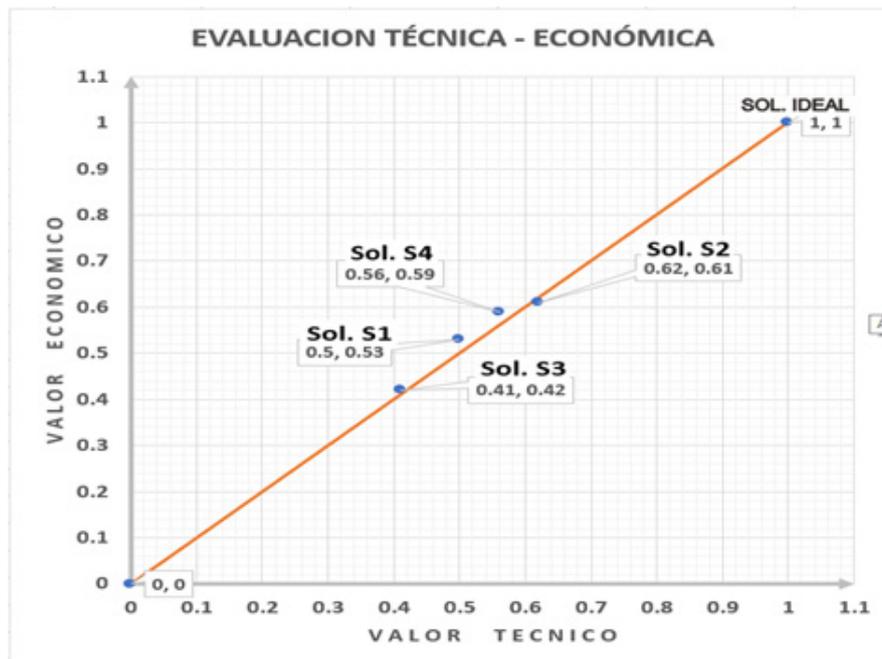
DISEÑO MECANICO - EVALUACION DE PROYECTOS												
b: Valor económico												
Proyecto: DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ARADO REVERSIBLE POR GRAVEDAD												
P: Puntaje de 0 - 4 : Escala de valores según VDI 2225 o: No satisface 1: Limite de aceptacion 2: Aceptable 3: Aceptable 4: Muy bueno (Ideal) G: Peso ponderado en funcion a los criterios de evaluacion												
CRITERIOS DE EVALUACION PARA DISEÑOS EN FACE DE CONCEPTOS O PROYECTOS EVALUACION ECONOMICA												
VARIANTES DE CONCEPTOS SOLUCION			"Solucion 1 S1"		"Solucion 2 S2"		"Solucion 3 S3"		"Solucion 4 S1"		"SOLUCION IDEAL"	
	CRITERIOS DE EVALUACION	G	P	GP	P	GP	P	GP	P	GP	P	GP
1	Numero de piezas	2	2	4	1	2	1	2	3	6	4	8
2	"Facil adquisicion (Materiales de fabricacion)"	3	2	6	2	6	1	3	2	6	4	12
3	Productividad	3	1	3	3	9	3	9	2	6	4	12
4	Numero de operarios	3	3	9	3	9	3	9	3	9	4	12
5	Costo de la tecnologia	2	2	4	2	4	1	2	2	4	4	8
6	Facilidad de montaje	3	2	6	3	9	2	6	2	6	4	12
7	mantenimiento	3	2	6	2	6	1	3	2	6	4	12
8	"Posibilidad de manufactura (talleres propios)"	3	3	9	3	9	1	3	3	9	4	12
	PUNTAJE MAXIMO ΣP o ΣPG			47		54		37		52		88
	Valor tecnico Xi			0.53		0.61		0.42		0.59		1
	ORDEN			3		1		4		2		
$x_i = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n)}{n \cdot P_{\max}} = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n)}{n} \cdot \frac{1}{P_{\max}} = \leq 1$ $x_i = \frac{G_1 P_1 + G_2 P_2 + G_3 P_3 + \dots + G_n P_n}{(G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n) \cdot P_{\max}} \leq 1$												

La tabla 2b presenta la evaluación económica que permitió establecer a la variante de solución S2 como la mejor propuesta de solución desde el punto de vista económico, debido principalmente a la simplicidad del diseño y la elección de materiales estandarizados de fácil acceso en el mercado peruano.

### Evaluación Técnico – Económica

La evaluación Técnico - Económica, contrasta el "Valor teórico Xi" de la evaluación técnica con el "Valor teórico Xi" de la evaluación económica generando un par ordenado (Xi (TÉCNICO), Xi (ECONÓMICO)) para cada solución, el cual se grafica y se contrasta con una solución idealizada de par ordenado (1,1), para el proyecto desarrollado, la variante de solución que se aproxima más a la solución idealizada es la propuesta del modelo de solución 2 (Sol. S2) (Figura 6), la cual se utilizó para el desarrollo del proyecto.

**Figura 6**  
Gráfico de evaluación Técnica - Económica del proyecto.

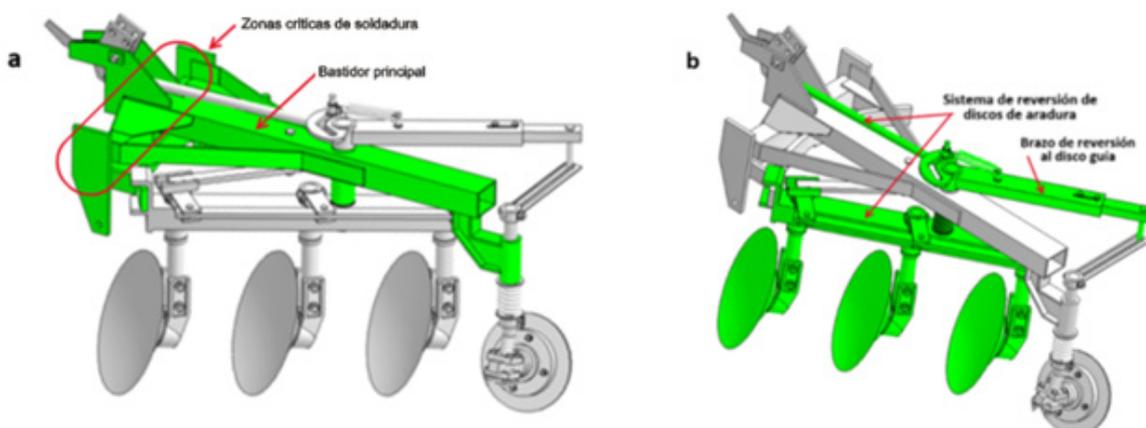


### Dimensionamiento de los elementos de máquinas

Para el dimensionamiento de los elementos del implemento se analizó el proceso de trabajo del arado y se encontró dos instantes de tiempo en el que se intensifican las fuerzas externas sobre el implemento: 1, Durante el levante del implemento por el tractor, al final de la línea de aradura (Fuerzas del peso del arado y de las inercias por la acción del levante); y, 2, Durante el trabajo de aradura (Fuerzas de resistencias del suelo).

Durante el levante del implemento, el arado experimenta fuerzas de gravedad producidas por el peso y fuerzas inerciales producidas por el movimiento de levantamiento en el plano vertical, los cuales deben ser soportados por el bastidor principal, con base en los datos disponibles, esta estructura se diseñó utilizando los métodos de falla para materiales dúctiles, analizados en el punto de fluencia del material, produciéndose la elección del perfil estructural que lo compone y la soldadura producida en las uniones más críticas (Figura 7a).

**Figura 7**  
a. Bastidor rígido y zonas críticas de soldadura, b. Elementos móviles accionados por la reversión



El levantamiento del arado produce la reversión, de los discos de aradura, y del disco guía, por lo que se consideró este instante de accionamiento para el diseño de los elementos que conforman estos sistemas móviles (Figura 7b). Este diseño se realizó utilizando conceptos de rigidez, valores de fluencia y criterios de falla para el bastidor secundario, el concepto de pandeo para elementos esbeltos (Rodríguez, 2001) y cinemática del cuerpo rígido para el análisis de los elementos en movimiento. Al inicio del trabajo de aradura, el suelo ejerce fuerzas de resistencia al corte y levante

del mismo, en la dirección del ángulo de ataque de los discos respecto del suelo. Se encontró los componentes de estas fuerzas en la dirección de avance del tractor y transversal al mismo, las cuales sirvieron para el diseño de los elementos de máquinas comprometidos con estas fuerzas (Rubio, 2019). Se realizaron pruebas en el campo de la UNALM para distintos suelos a una profundidad de corte promedio de 25 cm y un ancho de corte de 90 cm para un arado de tres discos, con el fin de encontrar los valores promedio de resistencia del suelo a la acción del arado (Tabla 3) (Rubio, 2019).

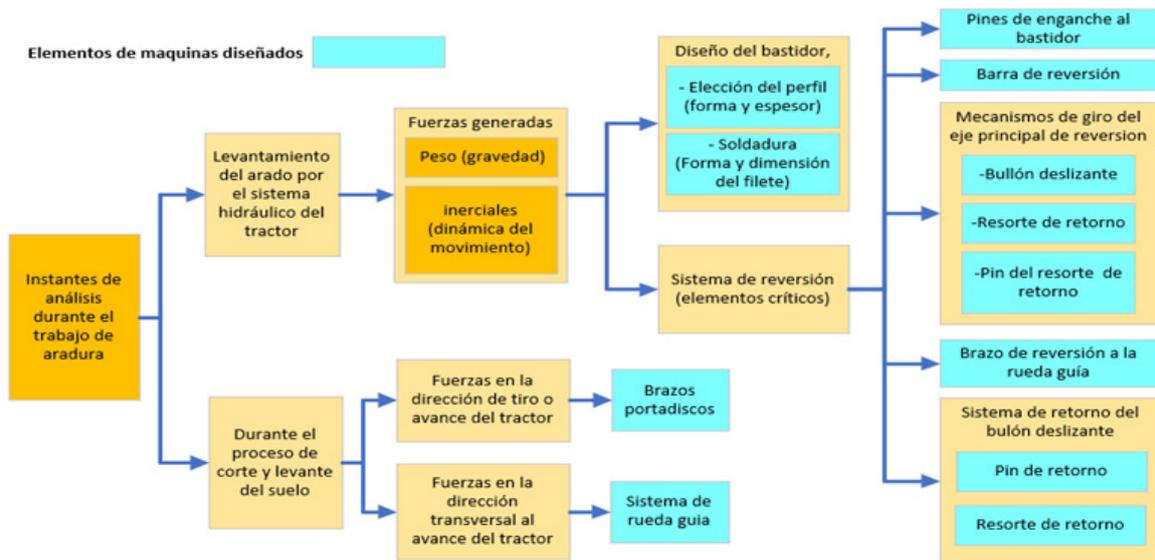
**Tabla 3**  
Valores promedio de resistencia por tipo de suelo.

TIPO DE SUELO DE CULTIVO	RESISTENCIA DEL SUELO AL ESFUERZO CORTANTE (Kg/dm <sup>2</sup> )
Arenoso 89%	14 - 18
Arenoso 78% - Arcilloso 19%	20 - 24
Arenoso 61% - Arcilloso 35%	30 - 45
Arenoso 38% - Arcilloso 53%	50 - 65
Arcilloso 76%	72 - 88
Arcilloso pesado 88%	144 - 176
<p>*Los valores se obtuvieron de pruebas hechas en los suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina y sus institutos regionales de costa y sierra.            *Los valores son referenciales calculados directamente de las fuerzas de tiro obtenidos en un dinamometro,(Tractel, 2022), instalado entre el tractor y el arado, con un porcentaje de humedad relativa del suelo de 11.35%.</p>	

De los datos obtenidos en el análisis de funciones y los dos instantes críticos de trabajo, se calcularon las fuerzas críticas, las mismas que dan origen a los esfuerzos críticos principales a través de la teoría de Mohr, valores de fluencia y la aplicación de los criterios de falla respectivos (Beer et al., 2009; Rubio, 2019). Para cada elemento de análisis, se aplicó las ecuaciones

fundamentales de la resistencia de materiales y se encontró el dimensionamiento mínimo de espesor de los elementos de máquinas diseñados (Rodríguez, 2001; Rubio, 2019). Este esquema de análisis y la derivación de los elementos según las fuerzas de origen se ve en la figura 8.

**Figura 8**  
Relación entre los instantes de trabajo, las fuerzas generadas y los elementos diseñados.



## RESULTADOS

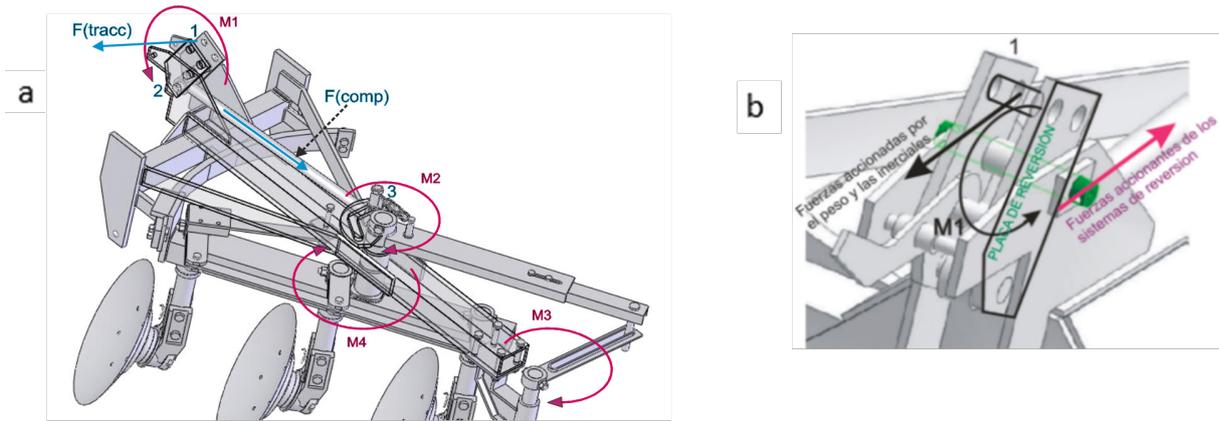
### a. Descripción del nuevo modelo de reversión

Durante el levantamiento del arado se generan fuerzas, las mismas que son usadas para el diseño de los bastidores primario y secundario, se selecciona el perfil estructural además de la forma y dimensión de la soldadura, esta acción de levantamiento produce la reversión de los discos, lo cual es usado para el diseño de los pines de enganche, la barra de reversión, los mecanismos de giro en el eje principal conformados básicamente del bulón deslizando, el resorte de retorno y el pin del resorte de retorno; adicionalmente se diseña el brazo de reversión de la rueda guía y el sistema de retorno del bulón deslizando conformado por el pin de retorno y el resorte de retorno (Rubio, 2019). Durante el proceso de trabajo del arado se generan fuerzas distintas, las mismas que fueron usadas para el diseño de los brazos portadiscos y el sistema de rueda guía, toda esta secuencia se observa en la figura 8, estando de color celeste los elementos de máquina diseñados como consecuencia de cada acción en el proceso de trabajo (Rubio, 2019).

La fuerza de tracción con la que se produce el levante del implemento actúa como fuerza excéntrica sobre el extremo superior de la placa (1), provocando un momento de rotación  $M_1$ , respecto a su eje de soporte como se aprecia en la figura 9a y 9b. En el extremo inferior de dicha placa va enganchada la barra de reversión (2) al cual, como efecto de esta rotación, se le aplica una fuerza de compresión ( $F_{comp}$ ) la cual es transmitida a un pin deslizando enganchada en el siguiente extremo de la barra (3); este pin se encuentra ubicado en el extremo de una ranura hecha sobre una placa soldada alrededor del eje principal, por lo que la fuerza aplicada a este pin produce una fuerza excéntrica en la placa principal de reversión, generando un momento de rotación  $M_2$ , alrededor del eje principal de reversión como se ve en la figura 9a. Al girar el eje central de reversión produce simultáneamente tres momentos de giro; en la parte superior del bastidor principal se produce la rotación del brazo superior de reversión  $M_3$ , el cual es responsable de la reversión del disco guía.

**Figura 9**

a. Fuerzas y momentos en los mecanismos de reversión, generados en el instante del levantamiento del arado por el enganche de tres puntos, b. Acercamiento de la figura "a" en el enganche de tres puntos.

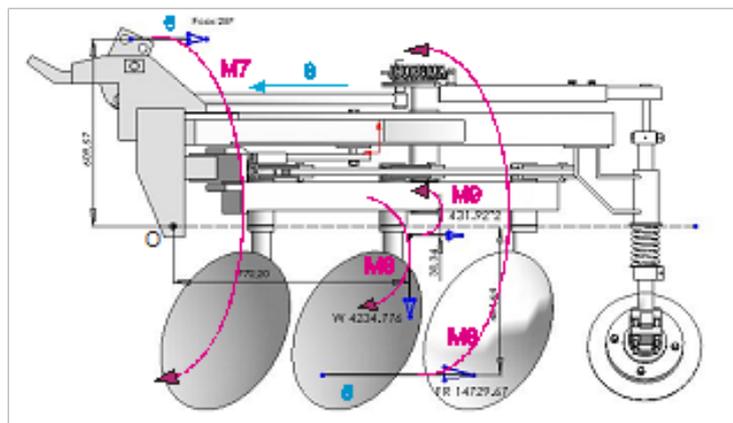


En la parte inferior del bastidor principal se produce la rotación del bastidor secundario (M4), responsable de la reversión de los discos de aradura, como se muestran en la figura 9a. Simultáneamente se realiza el giro en el sistema de barras articuladas responsable de ajustar el ángulo de precisión, para la posición final de los discos. Una vez culminado el proceso de levantamiento del implemento, el tractor realiza el volteo de la máquina, colocándose nuevamente en la línea de aradura, para su posición de trabajo. En el instante en que el arado empieza a realizar la acción de corte y volteo, el suelo produce fuerzas de resistencia

sobre los discos (5), mostradas en la figura 10, los cuales producen un momento  $M_6$  respecto del punto O (Puntos de enganche inferior), este momento genera sobre la placa de reversión una fuerza inversa a la anterior (6), el cual produce un momento de rotación inverso  $M_7$  y aplica una fuerza de tracción sobre la barra de reversión (8), la cual jala al pin deslizante de su posición anterior y junto con el resorte de enclenchamiento, coloca al pin en su posición inicial (Figura 10). De esta manera, se coloca al arado listo para iniciar otro proceso de reversión en el momento del levante (Rubio, 2019).

**Figura 10**

Fuerzas y momentos en los mecanismos del arado, generados en el instante del inicio del trabajo de aradura.



## b Descripción de los elementos de máquinas (materiales y costos), subensambles y prototipo total diseñado

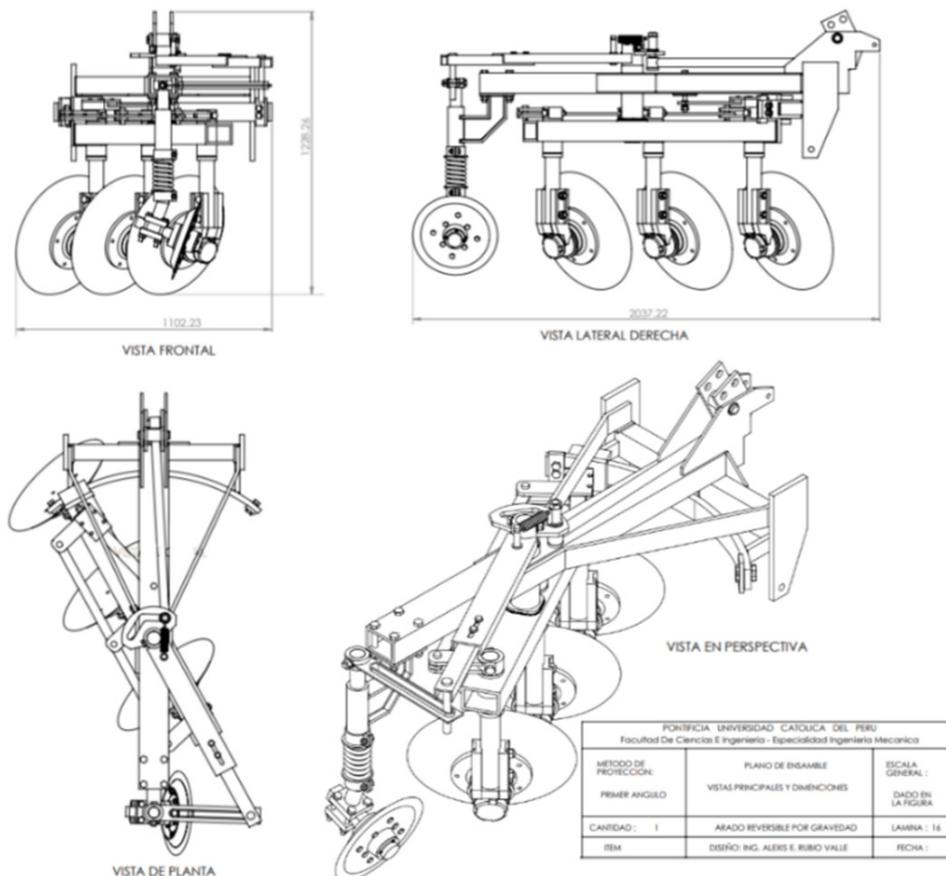
Las evaluaciones dieron como resultado que los criterios más importantes fueron, la funcionalidad, el peso y los costos. Utilizando sistemas CAD de simulación en diseño mecánico (*Solid Works*) (Dassault Systemes, 2021), se calculó el peso bruto del implemento de 563 Kg aproximadamente y dimensiones de 1.23 m de alto, 1.10 m de ancho y 2.04 m de largo (Figura 11). Aprovechándose la totalidad del peso del implemento en la penetración corte y volteo de los terrenos de cultivo, se utilizó para su fabricación, materiales nacionales y perfiles estructurales de uso común en el mercado peruano (ángulos, barras, platinas, canales y planchas) fabricadas bajo normas técnicas de ingeniería. El resultado para los dos bastidores (Bastidor principal rígido y Bastidor secundario móvil) es un diseño en base a dos perfiles estructural en “C” unidos en forma

de cajón. El Bastidor principal rígido (Tabla 4) contiene al enganche de tres puntos con el que se une al tractor. Este bastidor principal soporta, a través del eje central, al bastidor secundario (Tabla 5) y al sistema de reversión por gravedad, permitiéndole a los discos revertir su posición lateral (Tabla 6). Adicionalmente, en la parte posterior sostiene y dirige la posición de la rueda guía (Tabla 7).

Los resultados presentan los planos principales en la figura 11 en sus diferentes vistas, además de presentar los detalles de los subensambles (Costos de materiales y geometría) en las siguientes tablas: Tabla 4; Ensamble del bastidor principal rígido, Tabla 5; Ensamble del bastidor secundario móvil, Tabla 6; Ensamble de los brazos portadiscos y discos de aradura, Tabla 7; Ensamble de la rueda guía y la Tabla 8 que presentan el resumen de los costos totales por cada subensamblé mencionado y el costo total del arado reversible por gravedad en dólares americanos.

**Figura 11**

*Planos principales: vistas frontal, lateral, planta y perspectiva del arado diseñado.*

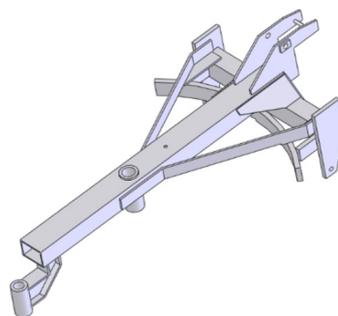


## Ensamble del bastidor principal rígido

**Tabla 4**

Elementos que componen el bastidor principal, características físicas, costo por cada elemento, y costo total del ensamble .

item	Nombre de la pieza	Características de la pieza			"Material en m <sup>2</sup> "	"Peso teorico mat x m <sup>2</sup> "	"Peso material Pieza x l.f."	"Costo (\$) por Kg mat"	"Costo de la pieza material en \$"	factor de costeo	Costo total pieza en \$
		Espesor	ancho	largo							
8	Placa de enganche Superior (2)	1/2"	272.32	415	0.113	94.2	11.710	0.94	11.05	2	22.10
3	platina de recubrimiento trasero	3/8"	144	310	0.045	70.65	3.469	1.20	4.18	1.5	6.27
4	placa enganche inferior, izquierda	1/2"	155	420	0.065	94.2	6.746	0.94	6.34	1	6.34
	placa enganche inferior, derecha	1/2"	155	420	0.065	94.2	6.746	0.94	6.34	1	6.34
2	transversal	5/16"	170	750	0.128	62.8	8.808	1.00	8.84	7	61.87
1	Pieza principal	5/16"	220	1520	0.334	62.8	23.100	1.00	23.18	7	162.27
5	Sujecion arco centro	3/4"	48	55	0.003	149.15	0.433	1.24	0.54	1.5	0.81
7	Arco guia	1"	80	1050	0.084	196.25	18.134	1.15	20.80	3	62.39
6	Soporte Arco guia, izquierda	3/4"	141	55	0.008	149.15	1.272	1.24	1.58	1.5	2.37
	Soporte Arco guia, derecha	3/4"	141	55	0.008	149.15	1.272	1.24	1.58	1.5	2.37
80	Tubo proteccion del eje principal rev	3 1/2"		0.232		25	5.800	15	95.7	3.5	124.06
9	Platina de refuerzo	5/8"	76	1067	0.081	125.6	11.204	1.09	12.21	2	24.42
	Platina de refuerzo	5/8"	76	1067	0.081	125.6	11.204	1.09	12.21	2	24.42
	Tapa lateral de refuerzo	1/2"	128	300	0.038	94.2	3.979	0.94	3.75	1.5	5.63
10	Asiento de platina de soporte	1/4"	25	75	0.002	137.9	0.284	1.27	0.36	1.5	0.54
	Asiento de platina de soporte	1/4"	25	75	0.002	137.9	0.284	1.27	0.36	1.5	0.54
	total costo despiece										512.74
	Costo varillas de soldadura										87.04
	Costo total despiece										599.77
	factor de costeo (mano de obra y costos indirectos)										2
	Costo total ensamble										1199.55

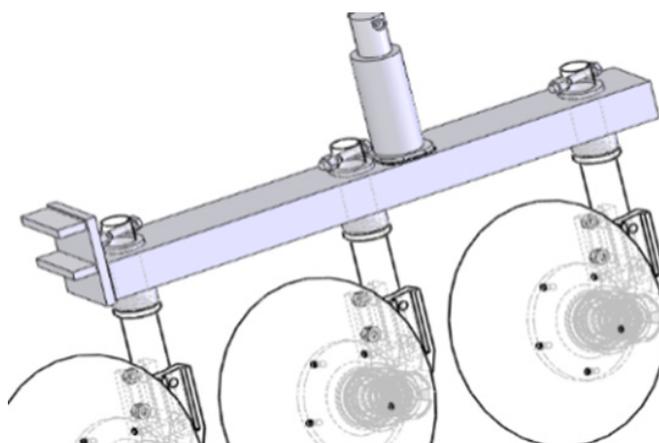


## Ensamble del bastidor secundario móvil

**Tabla 5**

*Bastidor secundario móvil, características físicas, costo por cada elemento, y costo total del ensamble.*

item	Nombre de la pieza	Características de la pieza			"Material en m <sup>2</sup> "	"Peso teórico mat x m <sup>2</sup> "	"Peso material Pieza x l.l"	"Costo (\$) por Kg mat"	"Costo de la pieza material en \$"	factor de costeo	Costo total pieza en \$
		Espesor	ancho	largo							
73	Soporte F superior	3/4"	60	130	0.0078	149.15	1.28	1.24	1.59	1.5	2.38
74	Soporte F inferior	3/4"	60	130	0.0078	149.15	1.28	1.24	1.59	1.5	2.38
72	Soporte F base	3/4"	140	213	0.02982	149.15	4.45	1.24	5.52	1.5	8.28
71	Pieza principal Bastidor secundario	3/8"	220	1185	0.2607	70.65	18.42	1.20	22.18	7	155.24
75	tubos de refuerzo para los brazos (3)	3 1/2"		0.15		25	3.75	3.70	13.89	10.5	145.83
76	proteccion del bastidor secundario	1/2"	110	110	0.0121	94.2	1.14	0.94	1.08	1.5	1.61
77	eje de reversion principal	2 1/2"		0.432		25	10.8	5.56	60	3.5	210.00
	total costo despiece										525.73
	Costo varillas de soldadura										43.52
	Costo total despiece										569.25
	factor de costeo (mano de obra y costos indirectos)										1.50
	Costo total ensamble										853.87

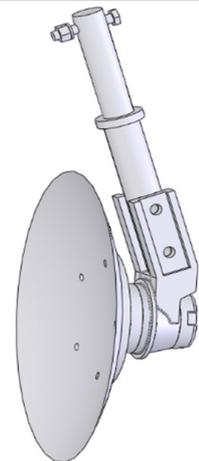


## Ensamble de los brazos portadiscos y discos se aradura

**Tabla 6**

Brazos portadiscos, muñón de sujeción y discos de aradura, características, costo por cada elemento, y costo total del ensamble.

item	Nombre de la pieza	Características de la pieza			"Peso teorico mat x m <sup>2</sup> "	"Peso material Pieza x l."	"Costo (\$) por Kg mat"	"Costo de la pieza material en \$"	factor de costeo	Costo total pieza en \$
		Espesor	ancho	largo						
131	Eje portadiscos	85		527	18.06	10.93	3.70	109.28	3.5	141.66
128	Barra de sujecion del muñon 1	32	118	257		7.608	3.70	28.18	3.5	98.62
129	Barra de sujecion del muñon 2	32	118	257		7.608	3.70	28.18	3.5	98.62
120	Muñon de discos							28.84	2.5	72.11
121	Pista 1 rodamiento							2	1	2
122	Pista 2 rodamiento							2	1	2
124	Rodamiento 1							12	1	12
119	Rodamiento 2							12	1	12
125	Tuerca de sujecion total					0.326	3.70	1.21	3.5	4.23
126	Tapa total del muñon							7.93	2	15.86
117	2° agarre del disco					10.34	3.70	38.29	2	76.58
118	Anillo de retencion de aceite					0.32	3.70	1.18	2	2.36
123	Arandela de rodamiento							2	1	2
127	Anillo exterior del muñon					0.27	3.70	1.01	2	2.02
130	Barra de rigidez central de sujecion					1.30	3.70	4.83	2	9.66
132	disco de arado							56.5	1	56.5
	total costo despiece									608.24
	Costo varillas de soldadura									8
	Costo total ensamble									616.24
	Costo total ensamble (3 discos)									1848.72

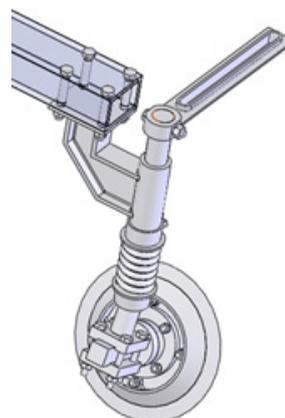


## Ensamble de la rueda guía

**Tabla 7**

Estructura de sujeción y el disco guía, características, costo por cada elemento, y costo total del ensamble.

item	Nombre de la pieza	Características de la pieza			"Material en m <sup>2</sup> "	"Peso teorico mat x m <sup>2</sup> "	"Peso material Pieza x 1.1"	"Costo (\$) por Kg mat"	"Costo de la pieza material en \$"	factor de costeo	"costo total pieza en \$"
		Espesor	ancho	largo							
95	Eje disco guia	50		605		16	9.68	10	96.8	3.5	125.5
96	Placa de agarre inferior	100	100	25	0.0025	196.25	0.540	1.15	0.621	2	1.241
97	Placa de agarre superior	100	100	25	0.0025	196.25	0.540	1.15	0.621	2	1.241
98	Muñon de rueda								24.44	3.5	85.56
99	Pista 2 rueda guia								2	1	2
100	Rodamiento 2 guia								9.26	1	9.26
101	Pista 1 rueda guia								2	1	2
102	Rodamiento 1 guia								9.26	1	9.26
105	Tapa conjunto Rueda Guia								6.11	2	12.22
106	Eje conjunto rueda guia	25	25	166		6.25	1.663	10	16.625	3.5	21.6
107	Rosca de sujecion eje rueda guia										7
108	Tapa 2 conjunto Rueda Guia								7.667	2	15.3
109	Anillo de fijacion rueda guia						3.8544	10	38.544	2	77.1
110	Disco Rueda guia								55.926	2	111.9
111	Contrapeso rueda guia						4.548	10	16.84	2	33.69
	total costo despiece										514.84
	Costo varillas de soldadura										5
	Costo total despiece										519.84
	factor de costeo (mano de obra y costos indirectos)										1.85
	Costo total ensamble										961.7

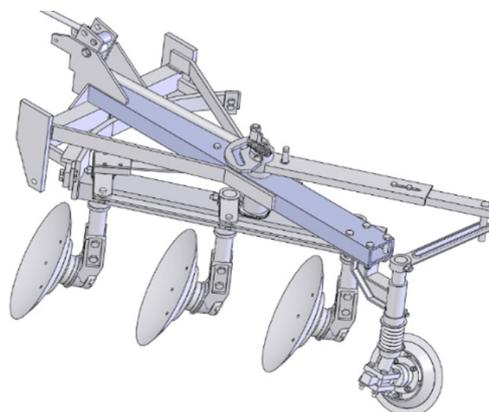


## Costo total del arado de discos reversible por gravedad

**Tabla 8**

Costos totales por cada subensamble y el costo total del arado reversible por gravedad en dólares americanos.

Item	SUB EMSAMBLES PARCIALES	COSTO
1	ENSAMBLE PRINCIPAL	1754.60
2	SUJECION DISCO DE DIRECCION	208.79
3	BASTIDOR SECUNDARIO	853.87
4	BRASITO DE REVERSION	48.00
5	BRAZO DE REVERSION SUPERIOR	140.61
6	GUIA DE REVERSION DEL DISCO GUIA	50.87
7	BRAZO REGULABLE PARA LA GUIA	38.69
8	REVERSION SUPERIOR TRES PUNTOS	39.20
9	BARRA DE REVERSION SUPERIOR	176.32
10	ENSAMBLE DEL DISCO GUIA	1053.58
11	ENSAMBLE DE LOS ANTEDISCOS (3 discos)	1232.44
	TOTAL	5596.96
	FACTOR DE COSTEO	1.10
	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>6156.661241</b>



### Discusión

Está claro que uno de los requerimientos más importantes, es diseñar un arado con tecnología intermedia a partir de las variantes de diseño; siendo las soluciones 1, 2 y 4 las que cumplen a cabalidad este requerimiento, la soluciones que presentan una mayor rigidez en su estructura principal son los conceptos de solución 1 y 2, por lo que se descarta la variante de solución 4. En la solución 1 los sistemas de reversión del arado se producen por acción de la fuerza humana aplicada a una palanca, y en la solución 2 se produce por la acción de la gravedad. El sistema por palanca contiene elementos sencillos en el mecanismo de reversión primaria debido a que la fuerza humana es controlable, pero tiene el problema que el tractorista debe girar casi

180° sobre sí mismo para aplicar la fuerza de reversión, lo que lo hace ineficiente. En la variante de solución 2 la reversión se produce por efecto de la gravedad e inerciales, esto hace que los elementos de reversión primaria sean más rígidos y robustos, pero el diseño es más eficiente al revertirse de forma automática. Las diferencias se aprecian en la matriz morfológica (figura 4) (función de "Transformación de la fuerza excéntrica en momento de reversión), para la solución 1 (Palanca) se escogió elementos de perfil estructural, mientras que en la misma función para la solución 2 se escogió un elemento mecanizado con guía de movimiento en V, de mayor masa y resistencia. Del mismo modo, para la función de "Topes de giro en la guía de reversión"; para la

solución 1 se escogió topes empernados mientras que en la solución 2 se escogió soldadura de 5 mm de cordón, lo que hace de la solución 2 un diseño mucho más rígido y óptimo para absorber los esfuerzos de movimiento.

En la Tabla 9 se presenta la tabla de comparación de costos para la implementación de un prototipo; para ello, se usó datos técnicos obtenidos de cotizaciones

por parte de la empresa IPESA, la cual es proveedor de la marca John Deere (Suarez, 2022) y la cotización obtenida de la empresa ORBES AGRICOLA (Campos, 2022) para el costo de arados similares en el mercado peruano, observándose que el arado diseñado cuesta aproximadamente mil dólares más que el arado hecho en forma artesanal pero casi \$3300 menos que el costo de un arado John Deere de características similares.

**Tabla 9**

*Tabla comparativa de los costos de venta en el mercado peruano de arados de discos reversibles frente a lo que costaría producir el arado diseñado, en dólares americanos.*

Características Generales	John Deere	Orbes	Diseño
Características de diseño	Alta tecnología	Artesanal	tecnología intermedia
Modelo	635	ARBH 03x28	no especificado
Version	Reversion hidraulica	Reversion hidraulica	Reversion por gravedad
N° de discos	3	3	3
Diametro de los discos	28"x 6.09 mm.	28"x6 mm.	28"x6 mm.
Ancho total de trabajo	762 mm.	896 mm.	852 mm.
Profundidad de trabajo	356 mm.	300 mm.	343 mm.
Peso aproximado	550 Kg.	600 Kg.	563 Kg.
Potencia del tractor	64 - 75 Hp.	80 a mas Hp.	55 - 75 Hp.
Precio de venta total	9,440.00 \$.	5,100.00 \$.	6,156.00 \$.
Estructura	No especificada	Acero estructural A-36	Acero estructural A-36
Enganche	No especificada	"Acero bonificado de alta resistencia"	"Acero bonificado de alta resistencia"

## Conclusiones

El diseño de un prototipo en sistemas CAD de un arado reversible por gravedad es de bajo costo (\$ 6156.00) y de alta calidad. Fue de gran importancia el tomar en cuenta los conceptos de TRIZ y QFD utilizados para optimizar la funcionalidad tanto a nivel elemental, subensambles y finalmente en el ensamble total del implemento.

La aplicación de sistemas CAD permiten optimizar aún más el diseño en su etapa final, haciendo simulaciones de movimiento para el nuevo modelo de reversión por gravedad al cual fue necesario realizarle un análisis cinemático para sus componentes móviles, con el fin de detectar cualquier conflicto e interferencia entre ellos, de este modo, se reduce enormemente los costos de fabricar un prototipo físico, adicionalmente los sistemas CAD dan la facilidad de realizar un análisis

de sensibilidad en función a la simplicidad de sus componentes asegurando bajos costos de producción y facilidad de mantenimiento. Se sugiere utilizar la metodología aplicada en el presente estudio por ser robusta y entendible al diseño de cualquier otro implemento agrícola, abaratando costos y poniendo al alcance de los agricultores de bajos recursos implementos de calidad.

## Contribuciones de los autores

Concepción y diseño del estudio, preparación y ejecución, recopilación, análisis e interpretación de datos, redacción del artículo, revisión crítica y supervisión del contenido intelectual.

## Fuentes de Financiamiento

Universidad Nacional Agraria La Molina, UNALM  
Pontificia Universidad Católica del Perú, PUCP  
Financiamiento propio

## Referencias

- Beer, F., Johnston, R., Dewolf, J., y Mazurek, D. (2009). *Mecánica de Materiales*, Traducido por Murrieta, J., y Editado por Mc Graw-Hill Companies/ Interamericana Editores, 5ta ed (2009), pp. 423-529, Mc Graw-Hill.
- Burleson, G., Herrera, S., Toyama, K., y Sienko, K. (2022). Incorporating Contextual Factors into Engineering Design Processes: An Analysis of Novice Practice, *Journal of Mechanical Design*, ASME, Digital collection, *J. Mech. Des.* 1-41. <https://doi.org/10.1115/1.4055780>
- Campos, A. (2022). Cotización Fundación para el Desarrollo Agrario, correo electrónico del 11 de agosto a Alexis Rubio Valle.
- Ciavola, T., Wu, Ch., y Gershenson, J. (2015). Integrating Function- and Affordance- Based Design Representations. *Journal of Mechanical Design*, 137 (5), 10. <https://doi.org/10.1115/1.4051683>
- Dassault Systemes. (2021). Solid Works, version 2013x64, <https://www.solidworks.com/es>
- EN 993-1-4. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-4: General rules - Supplementary rules for stainless steels. Brussels: European Committee for Standardization; 2006.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2014). IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Características Socioeconómicas del Productor Agropecuario en el Perú. pp. 17-19, [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1177/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1177/libro.pdf)
- LECTURA specs. (2022). En colaboración con Potencia, Tractor New Holland TD5.80, Ficha técnica y especificaciones 2018-2022, <https://www.lectura-specs.es/es/modelo/maquinaria-agricola/tractores-traccion-4-ruedas-new-holland/td5-80-11708194>
- Mayda, M., y Borklu, H. (2013). Development of an innovative conceptual design process by using Pahl and Beitz's systematic design, TRIZ and QFD, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 8 (3), 265-277.
- Mirabito, Y., y Goucher-Lambert, K. (2022). Factors Impacting Highly Innovative Designs: Idea Fluency, Timing, and Order, *Journal of Mechanical Design*, ASME, Digital collection, 144 (1), 9. <https://doi.org/10.1115/1.4051683>
- NVIDIA GeForce GT 630 (kepler), (2020), Graphics Card, 2.048 GB, <https://www.nvidia.com/es-la/drivers/geforce-gt-630/#pdpContent=2>
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., y Grote, K. (2007). *Engineering design – a systematic approach*, Translated and Edited by Wallace, K., Blessing, L., 3rd ed, pp. 125-436, Springer-Verlag, London
- Rodríguez, J. (2001). Resistencia de materiales 2A, Editado por Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2001, pp., (1-1) - (2-5), (6-1) - (6-33), Peru
- Rubio, A. (2019). Diseño y optimización de un arado reversible por gravedad. [Tesis de maestría en Ingeniería Mecánica con mención en Diseño de Maquinas, Lima, 2019, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13441>
- SCRIBD. (2020). Metodología VDI, Verein Deutscher Ingenieure, (Ingles: Asociacion de Ingenieros Alemanes), Metodología de Diseño en Ingeniería - descripción completa, pp. 12, Alemania 2010. <https://es.scribd.com/document/454144727/METODOLOGIA-VDI>
- SolidServicios CAD/CAM/CAE. (2018). Solid Works 2018 x64 edition, <https://solidservicios.com/servicios/guias-y-doc-informativos/>
- Suarez, E. (2022). IPESA, [esuarez@ipesa.com.pe](mailto:esuarez@ipesa.com.pe), 2022 COTIZACION ARADO 635, correo electrónico del 10 de agosto a Alexis Rubio Valle
- Tractorista.es. (2020). Tractor John Deere 1040, ficha técnica y especificaciones, 1980-1987, <https://www.tractorista.es/tractores/john-deere/john-deere-1040/>
- Tractel, Productos y servicios, Indicados de carga digital DinaforTM LLX2, [https://www-tractel-com.translate.google/global/product/dynafor-tm-llx2-digital-load-indicator/5806?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=es&\\_x\\_tr\\_hl=es&\\_x\\_tr\\_pto=#](https://www-tractel-com.translate.google/global/product/dynafor-tm-llx2-digital-load-indicator/5806?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=#), [https://www.tractel.com/PIM/Manuals/MC/Dynafor/LLX2/LLX2\\_131965%2062%20ind%2005%2002-20.pdf](https://www.tractel.com/PIM/Manuals/MC/Dynafor/LLX2/LLX2_131965%2062%20ind%2005%2002-20.pdf)

Val, L., Ruiz, M., y Nieto, B. (1985). El consumo de energía en las labores agrícolas: un aspecto que merece ser estudiado a fondo, 1985, pp. 3, [https://oa.upm.es/16010/1/02\\_017.pdf](https://oa.upm.es/16010/1/02_017.pdf)