

**UNIVERSIDAD MAYOR REAL Y PONTIFICIA DE SAN
FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
MECA-ELECTRÓNICAS**

INGENIERIA ELÉCTRICA



GRADUACIÓN MODALIDAD DIPLOMADO

**INVESTIGACIÓN PARA EL DISEÑO DE UNA MÁQUINA
GRANULADORA DE FERTILIZANTES DE CLORURO DE POTASIO**

POSTULANTE: Alexander Vela Cruz

“Trabajo presentado para obtener el título de licenciado en Ingeniería Eléctrica, otorgado, por la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca”

SUCRE – BOLIVIA

2024

CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo, como uno de los requisitos previos para la obtención del título de licenciado en Ingeniería eléctrica y habiendo aprobado el diplomado de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca en "Diseño mecánico CAM CAD CAE CNC", autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad para que se haga de este Trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca los derechos de publicación de este Trabajo o parte de él, conservando mis derechos de autor por un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.

Alexander Vela Cruz

Sucre, agosto 2024

DEDICATORIA

A mi padre que supo formarme con buenos hábitos y valores lo cual me ayudo a seguir adelante en los momentos difíciles.

A mi madre que con su amor y consejo me dio el impulso para enfrentar la vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme dado la sabiduría y la virtud para culminar esta etapa de mi vida.

De igual forma a mi familia por brindarme todo su apoyo y su cariño en todo momento.

A mi novia por la confianza y el apoyo incondicional brindado en el trayecto de mi vida, demostrándome su amor y cariño, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

RESUMEN

Se describe la investigación para el diseño de una máquina granuladora de cloruro de potasio (KCl), utilizada como fertilizante por sus beneficios en la agricultura, mejorando la asimilación del nitrógeno en las plantas y optimizando el uso del agua. El cloruro de potasio, extraído de la silvinita, una sal que precipita naturalmente durante el proceso de evaporación de salmueras en el salar de Uyuni, es la materia prima empleada.

El objetivo principal de esta investigación es diseñar una máquina granuladora de fertilizantes de cloruro de potasio, mediante un proceso de aglomeración por crecimiento/caída sin fuerzas externas. La capacidad y dimensiones de la máquina están diseñadas para satisfacer la demanda de pequeños y medianos agricultores, así como para ofrecer sus productos a otros agricultores.

Para obtener los resultados de capacidad, dimensiones y especificaciones técnicas, se utilizaron herramientas de diseño CAD. El estudio del diseño detallado de la máquina granuladora permite transformar fertilizantes en polvo en fertilizantes granulados. Se diseñaron, modelaron y ensamblaron los principales elementos mecánicos que componen la máquina.

La máquina cuenta con un disco granulador de 100 cm de diámetro, capaz de producir hasta 300 kg/h de gránulos, con un diámetro máximo de 20 mm. Permite ajustar el tamaño de los gránulos cambiando el ángulo de inclinación del disco y su velocidad de rotación, la cual se regula mediante un variador de frecuencia que controla un motor de 2 HP. Estructuralmente, la máquina tiene una estructura superior que soporta el disco granulador y el sistema de potencia, y una estructura móvil para variar el ángulo de inclinación del disco entre 40° y 55°. La estructura inferior soporta la estructura superior. Además, cuenta con dos rascadores para limpiar las partículas adheridas al disco y un dosificador para humedecer la mezcla, que utiliza una bomba con una altura de presión de 5 m y un caudal máximo de 800 L/h

INDICE TEMÁTICO

CAPITULO I.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2.1 Formulación del Problema.....	5
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.3.1 Justificación técnica.....	5
1.3.2 Justificación Económica.....	6
1.3.3 JUSTIFICACION SOCIAL.....	7
1.4 METODOLOGIA	8
1.4.1 Métodos.....	8
1.4.2 Técnicas e Instrumentos.....	9
1.5 OBJETIVOS	10
1.5.1 Objetivo General.....	10
1.5.2 Objetivos Específicos	10
CAPITULO II.....	11
2 DESARROLLO	11
2.1 MARCO CONTEXTUAL	11
2.2 MARCO TEORICO	12
2.2.1 Formación del granulo	12
2.2.2 Consistencia del granulo de cloruro de potasio.....	13
2.2.3 Métodos de Granulación.....	14
2.2.3.1 Aglomeración de crecimiento/caída	14
2.2.3.2 Aglomeración por presión	15
2.2.4 Equipos utilizados para la granulación por crecimiento/caída	15
2.2.5 Matriz de selección	19
2.2.6 Principios Físicos.....	21
2.3 INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS	22
2.3.1 Características y propiedades del cloruro de potasio.....	23
2.3.2 Propiedades del granulado de cloruro de potasio	24
2.3.3 Cantidad y tipo de aglomerante	26
2.3.4 Ajustes de la humedad de trabajo.....	26
2.3.5 Características técnicas de la máquina granuladora de fertilizantes de KCl.....	27
2.4 ANALISIS DE LA INFORMACIÓN| .....	28

2.4.1	Análisis de la capacidad de la máquina granuladora de fertilizantes para cubrir las demandas de pequeños y medianos productores agrícolas	29
2.4.2	Tomando en cuenta las ventajas.....	30
2.5	CONSIDERACIONES DE DISEÑO	31
2.5.1	Factores que influyen en el rendimiento de la máquina granuladora.....	31
2.5.2	Elementos del equipo	32
2.5.2.1	Motorreductor	32
2.5.2.2	Disco granulador	33
2.5.2.3	Eje motriz	34
2.5.2.4	Estructura de la máquina	34
2.5.2.5	Selección y configuración de la bomba de agua para el proceso de granulación	35
2.5.2.6	Sistema de control.....	36
2.5.2.7	Esquema de conexión	37
2.5.3	DETERMINACIÓN DE PARAMETROS DE DISEÑO.....	37
2.5.3.1	Capacidad máxima de la máquina granular de fertilizantes de KCl.....	38
2.5.3.2	Parámetros del diseño de la maquina.....	38
2.5.3.3	Velocidad crítica	40
2.5.3.4	Diagrama de fuerza del disco granulador	41
2.5.3.5	Peso del disco granulador	43
2.5.3.6	Diseño del eje.....	44
2.5.3.7	Fuerzas que intervienen en la estructura	44
2.5.3.8	Diseño de la estructura de soporte	45
CAPITULO III	.....	46
3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
3.1	CONCLUSIONES	46
3.2	RECOMENDACIONES.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	48
ANEXOS	.....	48

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Cloruro de potasio, estándar fino	3
Figura 2-2: Formación del granulo	13
Figura 2-3: Granulador de tambor rotativo GL-1240	16

Figura 2-4: Granulador de dientes agitado	16
Figura 2-5: Roto Granulad	17
Figura 2-6: Granulador de lecho fluido	18
Figura 2-7: Disco granulador	19
Figura 2-8: Evaluación Técnica-Económica	21
Figura 2-9: Cloruro de potasio estándar fino y granulado.....	24
Figura 2-10: Inclinación del disco	25
Figura 2-11: Descripción cualitativa del flujo del disco granulador	25
Figura 2-12: Características de la maquina.....	28
Figura 2-13: Conexión del circuito para el control de un motor trifásico.....	37
Figura 2-14: Capacidad vs diámetro del disco	39
Figura 2-15: potencia instalada vs el diámetro del disco.....	40
Figura 2-16: Estructura superior con sus componentes montados	42
Figura 2-17: Disco granulador montado en el eje.....	42
Figura 2-18: Diagrama de cuerpo libre	43
Figura 2-19: Fuerzas sobre la estructura.....	45
Figura D-20: Granulador EMCC	59
Figura D-21: Granulador de shunxin	59
Figura F-22: Motorreductor Trifásico 2 hp 1.5 kW	62
Figura H-23: Bomba de agua d1/2" 12vdc 5m 800l/h.....	63
Figura I-24: Variador de frecuencia VFD GD350A-1R5G/2R2P-4	64
Figura J-26: Rodamiento de bolas SKF_SYK 40 TR.....	66

INDICE TABLAS

Tabla 2-1: Valor técnico (Xi).....	20
Tabla 2-2: Valor económico (Yi).....	20
Tabla 2-3: Características de una gama de discos inclinados	41
Tabla A-4: Características técnicas	56
Tabla C-5: Costo de materiales	58
Tabla D-6: Comparación de costos con el mercado	59
Tabla F-7: Propiedades del granulo de KCl	61
Tabla G-8: Relación del motorreductor de 2 hp, 1.5 kW	62

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de monografía se centra en la investigación del diseño de una máquina granuladora de fertilizantes de cloruro de potasio. El cloruro de potasio es un nutriente esencial que desempeña funciones cruciales en el desarrollo de los cultivos, promoviendo la fotosíntesis, mejorando la asimilación de nitrógeno en las plantas y aumentando la eficiencia en el uso del agua.

La agricultura es la que más utiliza el potasio, consumiendo cerca del 95% de toda la producción en el mundo. El cloruro de potasio KCl, más conocido como “muriato de potasio”, es el fertilizante potásico más conocido y utilizado en el mundo y el Canadá tiene más del 90% de producción industrial del mundo. El uso directo de muriato de potasio en tierras de cultivo tiene un efecto fertilizante que ayudan a mantener en equilibrio correcto los niveles de agua, que también es llamado electrolito, especialmente adecuado para cultivos de arroz, trigo, algodón, maíz, sorgo, etc. Sin embargo, alrededor del 5% del cloruro de potasio producido se utiliza en la industria química para producir químicos de uso industrial.

Para producir este fertilizante, la materia prima de cloruro de potasio es extraído de la planta industrial YLB del salar de Uyuni. En el estudio del diseño de la máquina granuladora de cloruro de potasio con un rendimiento máximo de 300 kg/h, la capacidad de producción se ha seleccionado cuidadosamente para satisfacer las demandas de pequeños y medianos productores agrícolas, se busca optimizar el proceso de granulación, también mejorar la eficiencia operativa, la calidad del producto final y la rentabilidad de la producción de fertilizantes. El problema del cloruro de potasio en estado estándar fino (polvo), tiene propiedades inadecuadas para ser utilizados como material fertilizante en los campos de cultivo.

El estudio planteado del diseño contribuye al avance tecnológico y a la innovación en el campo de la maquinaria para la producción de fertilizantes. La implementación de esta tecnología no solo beneficiará a los productores locales, sino que también contribuirá al desarrollo sostenible del sector agrícola boliviano.

1.1 ANTECEDENTES

Los expertos agrónomos manifiestan que la superficie cultivable de Bolivia es de casi un millón de hectáreas. y se conoce que el consumo de fertilizantes en general es extremadamente bajo y alcanza apenas a 8 kg por hectárea; esto significa que en la mayor parte del territorio nacional arable no se utiliza fertilizantes. Esto se debe a que son importados y caros, en Bolivia el precio de una bolsa de 50 kg de fertilizante granulado de cloruro de potasio es de Bs 350 (\$US 50), esto corresponde a \$US 1.000/TM, un precio altamente prohibitivo para el agricultor boliviano. (Escalera, 2015)¹

Según los datos proporcionados por YLB, en Bolivia se tiene la planta industrial con una capacidad de 350000 toneladas/año de cloruro de potasio de grado estándar, con el cual pretende ser parte del mercado tanto interno como externo de dicho fertilizante, La Planta Industrial de Cloruro de Potasio opera entre el 15 y un 25% de su capacidad a causa de la falta de materia prima, entre ellos agua, informó la presidenta (YLB). (Yacimientos de Litios Bolivianos , 2024)²

En el último año, YLB incrementó la producción, debido al requerimiento en el sector del agro. Los niveles de producción aumentaron hasta 85.046 toneladas métricas, de ese total, Brasil demandó el 40%, Chile el 27%, Bolivia el 25% y otros mercados en menor porcentaje. De ese volumen, 21.261 toneladas de materia prima estándar fino (polvo) fueron para el mercado interno. (Agencia Boliviana de Información , 2024)³

En el mercado interno existen algunos potenciales consumidores que exigen un material granulado o paletizado, es por esto que YLB intentó granular su material estándar sin éxito en horno rotatorio. El cloruro de potasio es un fertilizante que se

utiliza en diferentes cultivos, coadyuva a su crecimiento con nutrientes para aumentar el rendimiento y asegura la calidad de los cultivos. (Calderon, 2023)⁴



Figura 1-1: Cloruro de potasio, estándar fino
Fuente: (Yacimientos de Litio Bolivianos, 2023)⁵

Los agricultores antiguos a menudo mezclaban con fertilizantes y otros materiales para mejorar la fertilidad de sus tierras. Aunque esta práctica no implicaba la tecnología de granulación moderna, sentó las bases para el concepto de la utilización de materiales concentrados para mejorar la calidad del suelo.

En el siglo XIX la Revolución Industrial, se produjo avances significativos en la fabricación de fertilizantes. En esta época, se empezaron a utilizar técnicas rudimentarias de granulación, como la compactación y el prensado, para producir fertilizantes en forma de gránulos más manejables y fáciles de aplicar en el campo, a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, se introdujeron técnicas de granulación en húmedo, que implicaban la formación de gránulos a partir de una mezcla de fertilizantes en estado líquido o semilíquido. Esta técnica permitió la producción de gránulos más uniformes y de mayor calidad a medida que avanzaba el siglo XX, se desarrollaron máquinas especializadas para la granulación de fertilizantes en húmedo, como los granuladores de tambor y los granuladores de plato. Estos equipos permitieron una producción más eficiente y controlada de gránulos de fertilizantes. Estas innovaciones permitieron una mayor flexibilidad en el diseño y la producción de gránulos de fertilizantes, así como mejoras en la

eficiencia y la sostenibilidad de los procesos de granulación. (Centro Internacional de desarrollo de fertilizantes, 1967)⁶

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La disponibilidad y oferta en el mercado del cloruro de potasio producido en nuestro país para los pequeños y medianos agricultores es un factor crucial para el desarrollo agrícola sostenible.

El problema que están atravesando los agricultores es que el cloruro de potasio granulado no está disponible en el mercado ni al alcance de ellos, lo que obliga a su importación, a pesar de que el país cuenta con la materia prima necesaria. Se puede utilizar el fertilizante de cloruro de potasio extraído de la planta industrial YLB del salar de Uyuni. Por lo tanto, se realizó un proceso intermedio donde el fertilizante debe ser granulado.

La causa que origina el problema es la falta de tecnología en el país para el pequeño y mediano productor agrícola de granular el producto estándar. Al no contar con la tecnología suficiente, se exporta el cloruro de potasio fuera del país y lo recibe devuelta en forma de gránulos, por lo tanto, se tiene una dependencia tecnológica. Por todo lo expresado anteriormente, es necesario diseñar una maquina granuladora que contribuya a satisfacer la demanda del fertilizante en forma de granulo.

Un elemento principal es la materia prima (cloruro de potasio), que se extrae de la silvinita, una de las sales fuente de potasio que precipita naturalmente durante el proceso de evaporación de salmueras en el salar de Uyuni. La operación más importante para que los productores puedan utilizar este fertilizante es que debe estar en forma de granulado. A través de este proceso, los ingredientes activos se convierten en gránulos que son fáciles de manipular, almacenar y aplicar en el campo. La eficiencia y la calidad de estos gránulos tienen un impacto directo en la productividad agrícola.

Este diseño debe tener en cuenta los requisitos específicos de la industria agrícola, debe satisfacer las características y requerimientos específicos de la misma.

Básicamente se pretende desarrollar o dar una solución innovadora y efectiva que contribuya mejorar la producción de fertilizantes granulados, para que estas puedan ser aplicadas directamente en los terrenos de cultivo.

1.2.1 Formulación del Problema

¿Será posible solucionar la demanda creciente e incrementar la producción de nuestros agricultores mediante la investigación para el diseño de una máquina granuladora de fertilizantes de cloruro de potasio que sea sustentable, técnica y económicamente factible?

1.3 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de una máquina para granular fertilizantes en polvo de cloruro de potasio es crucial para satisfacer las necesidades de los pequeños y medianos productores agrícolas y asegurar la producción de cultivos.

El estudio del diseño de una máquina específicamente adaptada para este tipo de fertilizantes granulados ofrecerá una solución al problema de la importación del producto, haciéndolo disponible y accesible para los pequeños y medianos agricultores. Se espera que esta iniciativa contribuya significativamente a cubrir la demanda de fertilizantes.

1.3.1 Justificación técnica

Este proyecto se basa en la necesidad de investigar el diseño de una máquina granuladora de cloruro de potasio que el desarrollo e investigación del proyecto representa un avance significativo para transformar nuestros recursos naturales que exportamos como materia prima y a veces importamos como un producto transformado en la aplicación de tecnologías en la producción de fertilizantes que

puedan ser utilizados directamente por los agricultores. El diseño permite una dosificación precisa de los ingredientes, una distribución uniforme de los gránulos y un control óptimo de los parámetros del proceso como la humedad. Un granulador especialmente diseñado para KCl garantiza una producción continua de gránulos de alta calidad y minimiza la necesidad de ajustes y cambios durante el proceso de producción.

- **Innovación Tecnológica:** Se pretende dar una solución tecnológica para la granulación de fertilizantes de KCl que proviene de la planta industrial (YLB) de la localidad Llipi del salar de Uyuni en su forma estándar (polvo) y aprovechando los aglomerantes naturales de nuestro país, que beneficiara a la agricultura y al medio ambiente.
- **Adaptación a las Tendencias del Mercado:** El diseño de una máquina granuladora de fertilizantes de cloruro de potasio cubrirá la demanda en los costos el cual se alinea con las tendencias actuales del mercado agrícola, donde existe una creciente demanda de fertilizantes de alta calidad y tecnología avanzada.
- **Fomento a la investigación y el desarrollo:** El impulso hacia la investigación y el desarrollo se hace evidente en el diseño de un granulador de cloruro de potasio (KCl) especializado, demandando un compromiso en los campos de la agronomía y la tecnología de procesos.

1.3.2 Justificación Económica

La máquina propuesta promete generar importantes beneficios económicos para los pequeños y medianos productores. Estos beneficios se basan en su capacidad para reducir costos, aumentar la eficiencia y la productividad, mejorar la calidad del producto y fortalecer la competitividad en el mercado agrícola. Esta inversión

estratégica tiene el potencial de generar retornos considerables a largo plazo. Este impacto positivo se fundamenta en varios factores clave:

- **Mayor eficiencia y productividad:** Un granulador de fertilizantes especial puede aumentar la producción, permitiendo una mayor producción en menos tiempo. Esto no sólo mejora la eficiencia operativa, sino que también aumenta la capacidad de responder a la demanda del mercado y aprovechar las oportunidades comerciales.
- **Accesibilidad a Fertilizantes de Alta Calidad:** La disponibilidad de fertilizantes en gránulos de alta calidad a precios competitivos fortalece la competitividad del sector agrícola. Esto permite a los agricultores acceder a insumos clave para el crecimiento de sus cultivos, lo que se traduce en una mejora general en la calidad y cantidad de los productos agrícolas.
- **Reducción de costo a los agricultores:** La capacidad de producir fertilizantes granulados permite a los agricultores agregar valor a su materia prima básica, como el cloruro de potasio. Esta transformación les brinda la posibilidad de obtener precios más económicos para sus insumos, lo que reduce sus costos operativos y aumenta su rentabilidad.

1.3.3 JUSTIFICACION SOCIAL

la investigación para el diseño de una máquina granuladora de fertilizantes de cloruro de potasio permiten:

- **Mejorar la Seguridad Alimentaria:** la investigación para el diseño de una máquina granuladora eficiente y especializada contribuye a mejorar la producción y la calidad de los cultivos. Al proporcionar fertilizantes de cloruro de potasio de alta calidad, la máquina ayuda a los agricultores a obtener rendimientos más abundantes, lo que a su vez garantiza un suministro estable de alimentos para la población.

- **Desarrollo Rural Sostenible:** La implementación de tecnología agrícola avanzada en zonas rurales donde se lleva a cabo la producción agrícola puede impulsar el desarrollo económico y social.
- **Generación de empleos:** El diseño de una máquina granuladora específica para el cloruro de potasio tiene el potencial de generar oportunidades de empleo en el sector agrícola y en la construcción de la máquina por parte de los metalmecánicos. Los agricultores podrán adquirir la materia prima en polvo y granularla según sus necesidades específicas, lo que podría impulsar la creación de empleo en la producción.

1.4 METODOLOGIA

El tipo de metodología de investigación utilizada en el desarrollo de la monografía fue; la investigación metódica, la investigación aplicada y la investigación y exposición descriptiva.

La investigación para el diseño de una máquina granuladora de fertilizantes de cloruro de potasio seguirá un enfoque de investigación metódica, comenzando con la identificación de los requisitos funcionales y técnicos del equipo. Se llevará a cabo un análisis detallado de los elementos clave de la máquina, así como de los factores más influyentes en el diseño. Se desarrollarán modelos utilizando software CAD para modelar el diseño. Además, se realizará un análisis de costos y viabilidad para la implementación.

1.4.1 Métodos

El presente estudio aplicará una investigación metódica para abordar el problema planteado:

- **Identificación de Requisitos:** Se realizará una evaluación detallada de los requisitos funcionales y técnicos necesarios para la máquina

granuladora. Esto involucrará el análisis de las necesidades actuales en nuestro medio y las especificaciones técnicas requeridas para una producción eficiente y que cubra las necesidades.

- **Análisis de Sistemas Existentes:** Se llevará a cabo un estudio comparativo de la tecnología existente para la granulación, para identificar la tecnología que mejor se adecue a los requerimientos de nuestro medio.
- **Diseño y modelado de la máquina:** Se diseñará una máquina granuladora de disco, utilizando software CAD (Diseño Asistido por Computadora). (autodesk, s.f.)⁷
- **Modelado de la máquina:** Se estudiará el modelado de una máquina granuladora de disco, utilizando software CAD (Diseño Asistido por Computadora). (autodesk, s.f.)⁷
- **Análisis de factibilidad técnico y económica:** Se realizará un análisis técnico y económica de implementación de la máquina granuladora.

1.4.2 Técnicas e Instrumentos

- **Software CAD:** Para la investigación del diseño y desarrollo de la máquina granuladora de cloruro de potasio, se empleará software CAD avanzado (Inventor). Esta herramienta posibilitará una modelización precisa y ofrecerá la capacidad de realizar ajustes antes de proceder a la fabricación física del equipo.
- **Evaluación de costos:** Se emplearán herramientas de análisis financiero para determinar la rentabilidad y el costo de la máquina.

Cada uno de estos métodos, técnicas e instrumentos será importante para el desarrollo exitoso del proyecto, asegurando que la operación de granulación del cloruro de potasio sea técnicamente viable y eficiente, sino también económicamente rentable y socialmente beneficiosa.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Desarrollar la investigación para el diseño de una máquina granuladora de fertilizantes de cloruro de potasio.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Analizar los métodos y tecnologías que existen actualmente para la granulación de fertilizantes de cloruro de potasio en el medio agrícola.
- Determinar los requerimientos y exigencias de los pequeños y medianos agricultores.
- Seleccionar la máquina óptima para la granulación del fertilizante de cloruro de potasio, de acuerdo con las necesidades específicas de los pequeños y medianos agricultores.
- Modelar el Diseño una máquina granuladora de fertilizantes de cloruro de potasio, adaptado a las características de producción de nuestro medio utilizando software de diseño avanzado(CAD).
- Evaluar el costo para determinar si es factible la implementación de esta máquina granuladora, asegurando que su costo de producción sea competitivo o inferior a las alternativas del exterior.

2 DESARROLLO

2.1 MARCO CONTEXTUAL

El presente estudio pretende contribuir a satisfacer la demanda del mercado agrícola de los pequeño y mediano agricultor, en lo referente a obtener el producto granulado de fertilizante de cloruro de potasio.

La planta industrial de cloruro de potasio actualmente comercializa el fertilizante en su forma estándar fino (polvo) por tonelada. El presente proyecto pretende diseñar una máquina que permita a los productores agrícolas adquirir la materia prima o el fertilizante en polvo y realizar la granulación según sus requerimientos y necesidades específicas.

El cloruro de potasio es un agrofertilizante que se aplica en los cultivos de papa, soya, maíz, trigo, caña de azúcar, remolacha azucarera y en la mayoría de frutales y hortalizas. Los beneficios principales del uso son aumentar el rendimiento, asegurar la calidad de sus frutos y mejorar la resistencia a las enfermedades, de acuerdo con los datos de YLB. (abi.bo, 2024)⁸

(Karla Calderón)⁹, presidenta de Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB), reveló que el cloruro de potasio, un fertilizante obtenido de la salmuera por la estatal, experimentó una "altísima" demanda tanto dentro como fuera del país durante el año 2023. El cloruro de potasio, es un derivado de los salares, que generó una demanda altísima en el último trimestre de 2023, lo que llevó a incrementar su producción.

Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB) aumentó la producción de este compuesto a 85.046 toneladas métricas debido al creciente requerimiento en el sector agrícola.

De ese total, Brasil representó el 40%, Chile el 27%, Bolivia el 25%, y otros mercados una proporción menor. (abi.bo, 2024)¹⁰

Según la presidenta de YLB, la Planta Industrial de Cloruro de Potasio en Bolivia opera entre el 30% y el 40% de su capacidad debido a la escasez de materia prima, incluida el agua. Las piscinas instaladas actualmente no suministran la cantidad necesaria de materia prima para producir el fertilizante. (abi.bo, 2024)¹⁰

Un estudio del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras de Bolivia indica que el consumo promedio de KCl en el país debería ser alrededor de 200 kg por hectárea por año. (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, 2023)¹¹

2.2 MARCO TEORICO

2.2.1 Formación del granulo

Es el proceso de crecimiento de tamaño de partícula y comúnmente se refiere a la mejora de un material fino en partículas mayores tales como gránulos.

Si bien existen varias técnicas de aglomeración, todas son incluidas bajo una de dos categorías principales: aglomeración con y sin presión. Las tecnologías de la aglomeración con presión emplean fuerza mecánica externa para obtener un material bajo una determinada forma. Las tecnologías de aglomeración sin presión emplean el efecto de crecimiento por rodadura de las partículas para así llegar a un material esférico llamado granulo. (Jim Litster, 1992)¹²

El crecimiento del material por aglomeración en disco granulador está marcado por tres etapas bien definidas:

- **Primera etapa formación de núcleos:** Debido a la búsqueda natural de la reducción de la energía superficial de las partículas, las colisiones entre ellas y la presencia de humedad hacen un ambiente propicio para que se genere aglomeración dichas partículas en pequeños núcleos.

- **Segunda etapa o etapa de transición:** Los núcleos comienzan a densificarse en su interior y expulsan parte del agua hacia su superficie generando una capa bastante húmeda y plástica que le permitirá atrapar a partículas más pequeñas.
- **Tercera etapa también llamada de crecimiento:** Los gránulos compuestos por una zona interior densamente empaquetada y rodeada por una capa más húmeda crecen fundamentalmente de las siguientes formas distintas:
 - Asimilando pequeñas partículas que proceden del material de aporte. Este proceso hace que el material crezca por la formación de sucesivas capas concéntricas.
 - Mediante la unión de granos ya formados, llamado crecimiento por asimilación.
 - Mediante la incorporación de fragmentos de bolas rotas y crecimiento por capas.
 - Incorporación del material fino que procede de bolas débiles que se han disgregado por abrasión, por el efecto de la rodadura. (Jim Litster, 1992)¹²



Figura 2-2: Formación del granulo
Fuente: (CHT, s.f.)¹³

2.2.2 Consistencia del granulo de cloruro de potasio

Los fertilizantes una vez empacados suelen requerir de un intenso manipuleo en operaciones de transporte y almacenamiento. Desde el momento en que un bulto de abono sale de la fábrica hasta cuando es aplicado en el predio o parcela del

agricultor, el recorrido suele ser de miles de kilómetros, en medios de transporte diversos y bajo condiciones adversas. En estas circunstancias, el deterioro físico del abono puede ser acentuado. Las partículas o gránulos se rompen o desmoronan, produciendo una alta proporción de finos o de material polvoso indeseable, ya que genera compactación del producto. Estos problemas pueden evitarse, cuando los fertilizantes cuyos gránulos tienen un buen nivel de consistencia. (Ronald Quispe, 2014)¹⁴

2.2.3 Métodos de Granulación

El proceso de granulación se puede realizar por dos métodos: aglomeración de crecimiento/caída (sin fuerzas externas) y aglomeración por presión (fuerzas externas bajas, medias y altas). (Fayed y Otten, 1997)¹⁵

El tipo de granulación que se escoja depende de la aplicación que se le dará al producto. Entre las limitaciones que pueden influir en la elección del equipo de granulación se incluyen:

- La forma de alimentación del ingrediente activo (polvo seco, masa fundida, lechada, solución), la necesidad de un proceso seco para materiales sensibles a la humedad, robustez del proceso, necesidad de cerramiento debido a problemas de polvo y humo, escala de operación deseada, tipos específicos de equipos. (Jim Litster, 1992)¹²

2.2.3.1 Aglomeración de crecimiento/caída

Este método de aglomeración es similar al de la aglomeración natural. Debido a que las partículas pueden llegar a ser más grandes, la adhesión entre partículas se mejora con la adición de aglutinantes (principalmente agua y otros líquidos) y con aumento en la colisión entre partículas. Estas condiciones se pueden obtener en discos inclinados, tambores giratorios, cualquier tipo de mezcladores de polvo y lechos fluidizados. (M. Fayed, 1997)¹⁵

2.2.3.2 Aglomeración por presión

Este método de aglomeración permite obtener aglomerados de forma y tamaño relativamente uniformes, al trabajar a presión baja a media la mezcla debe estar formada todavía por partículas finas y aglutinantes, esta masa se extrae a través de orificios en pantallas de diferentes formas o troqueles perforados. La aglomeración y la conformación se producen por la presión que empuja el material a través de los orificios y por las fuerzas de fricción durante el paso. (M Fayed, 1997)¹⁵

2.2.4 Equipos utilizados para la granulación por crecimiento/caída

Se describirá cada máquina de granulación de fertilizantes de cloruro de potasio, empleados para el proceso de granulación por crecimiento/caída:

- **Granulador de tambor rotativo:** Los granuladores de tambor rotatorio fluidizado (en inglés “Fluidized Drum Granulators”, FDG’s) se trata de un diseño relativamente nuevo de un dispositivo utilizado para producir fertilizante. Se fabrican combinando dos tipos de granuladores tradicionales: granuladores de lecho fluidizado y granuladores de tambor giratorio. El FDG es un tambor giratorio basculante. Hay poca investigación sobre estos ensamblajes en la literatura existente. Para promover un funcionamiento más eficiente de estas unidades en el contexto de las prácticas industriales modernas, este modelo está diseñado para la producción de gránulos de nitrato de potasio. (Rojas Ardiles, s.f.)¹⁶

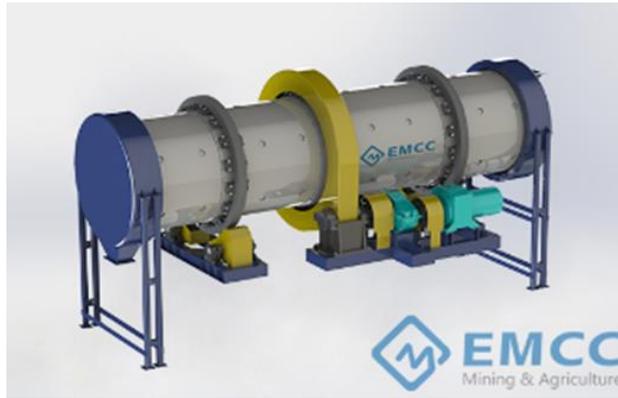


Figura 2-3: Granulador de tambor rotativo GL-1240
Fuente: (EMCC, s.f.)¹⁷

- **Granulador de dientes agitado:** El granulador de herramienta mezcladora de alta velocidad es un producto cuidadosamente diseñado que se puede utilizar para una variedad de materiales. La fuerza mecánica generada por la rotación a alta velocidad interactúa con la fuerza aerodinámica resultante para completar continuamente varios procesos de materiales en polvo en la máquina, como mezcla, granulación, compresión, etc. Las partículas resultantes tienen una esfericidad de 0,7 o más. El tamaño de partícula es de 0,3 a 3,0 mm y el índice de granulación es $\geq 80\%$. Además, el tamaño de las partículas también se puede controlar controlando el contenido de humedad del material y la velocidad del husillo. En general, cuanto menor es el contenido de humedad, mayor es la velocidad de rotación y más pequeñas las partículas, y viceversa. (SUNUP, s.f.)¹⁸



Figura 2-4: Granulador de dientes agitado
Fuente: (SUNUP, s.f.)¹⁸

- **Roto granulador:** El granulador rotativo es adecuado para mezclar polvo y granular polvo en industrias farmacéutica, química, alimentaria y otras. El proceso de trabajo completo incluye mezcla y granulación. El material en polvo se introduce en el crisol de material a través de la tolva cónica y se hace girar en el crisol mientras se agita con una paleta agitadora antes de cerrar la tolva. Al mismo tiempo, todo el material se mueve hacia la pared cónica y poco a poco va tomando la forma de un granulo. (Zhejiang Jiangnan , s.f.)¹⁹

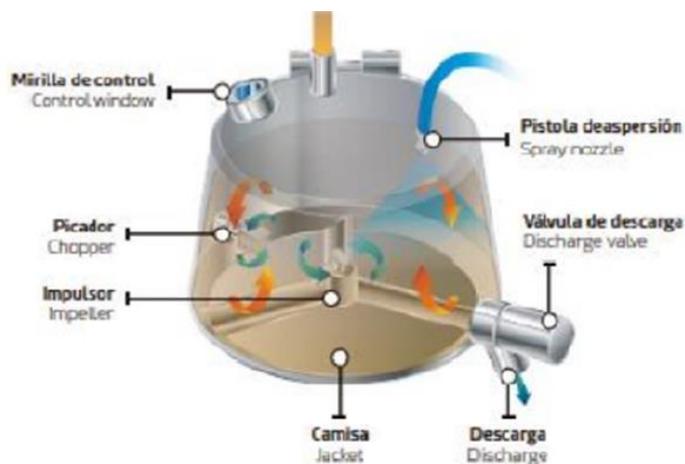


Figura 2-5: Roto Granulad
Fuente: (MIC High Shear Mixer LATAM, s.f.)²⁰

- **Granulador de lecho fluidizado:** El granulador de lecho fluidizado puede mezclar, granular y secar. Por lo tanto, se utiliza ampliamente para secar, granular y recubrir en diversas industrias. Se utiliza especialmente para secar materiales en polvo o granulares en la industria farmacéutica para la producción de gránulos para tabletas, gránulos y gránulos para cápsulas. También se puede utilizar para granulación de café, leche en polvo, jugos, especias y otros ingredientes de la industria alimentaria. Además, también se puede utilizar para pesticidas, semillas, fertilizantes, pigmentos, colorantes, etc. El granulador de lecho fluidizado es seguro de usar gracias al filtro de tela antiestático. Los orificios de alivio de presión garantizan la seguridad del operador en caso de explosión. El material en polvo se

precalienta mediante un calentador de aire limpio en el tanque de materia prima (capa fibrosa). La solución que contiene el aglutinante se pulveriza y se inyecta en el recipiente. Debido al secado continuo del aire caliente, la humedad contenida en las partículas se evapora y se endurece. Este proceso se repite continuamente y finalmente se forman partículas porosas homogéneas perfectas. (zhejiang Jiangnan, s.f.)²¹



Figura 2-6: Granulador de lecho fluido
Fuente: (Zhejiang Jiangnan , s.f.)²¹

- **Granulador de disco rotativo:** El granulador de disco rotativo es un aglomerador por vía húmeda, consiste básicamente en un cilindro recto descubierto que gira sobre su eje de simetría con una inclinación dada respecto de la horizontal. Este ángulo es variable como también puede serlo la velocidad de rotación. En él se alimenta la carga y se humedece mediante rociadores en forma de “spray”. Los rascadores que posee, se utilizan para evitar la acumulación de material en el disco y para controlar el patrón de flujo del material.

Cuando los gránulos alcanzan el tamaño deseado se descargan por la parte inferior. Cuando se forman los gránulos, existe una segregación que, debido a la diferencia de las densidades aparentes de los gránulos, aquellos con mayor tamaño tienden a acumularse en la parte superior del flujo lo que permite controlar la salida de los mismos cuando alcancen el tamaño deseado. Existen estudios que muestran que conforme se incrementa la velocidad de rotación, la resistencia de los

gránulos aumenta mientras que el tamaño de partícula se reduce, si se continúa aumentando la velocidad se puede alcanzar la velocidad crítica de giro que es el momento en el que las fuerzas centrípetas no son capaces de evitar que el material se adhiera a la periférica del disco haciendo que no se muestre un flujo de cascada ni caída en las partículas. (Pandey P.)²²



Figura 2-7: Disco granulador
Fuente: (Pandey P.)²²

2.2.5 Matriz de selección

La evaluación técnico-económica para las cinco alternativas de solución se realizó mediante el método de evaluación de proyectos según VDI 2225. (norma VDI 2225, s.f.)²³

Solución 1: Maquina Granulador de tambor rotativo

Solución 2: Maquina Granulador de dientes agitado

Solución 3: Roto granulador

Solución 4: Granulador de lecho fluidizado

Solución 5: Granulador de disco rotativo

Tabla 2-1: Valor técnico (Xi)

Valor técnico														
p: Puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según norma VDI 2225) 0=No satisface, 1=Aceptable a las justas, 2=Suficiente, 3=Bien, 4=Muy bien (ideal) g: Peso ponderado en función de la importancia de los criterios de evaluación. Criterios de evaluación para maquinas en fase de conceptos o proyectos														
Variantes de Concepto			Solución (S1)		Solución (S2)		Solución (S3)		Solución (S4)		Solución (S5)		Solución Ideal	
N°	Criterios de Evaluación	g	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	Función	4	4	16	4	16	3	12	4	16	4	16	4	16
2	Forma	4	1	4	3	12	1	4	1	4	2	8	4	16
3	Diseño	4	2	8	2	8	2	8	2	8	3	12	4	16
4	Seguridad	3	4	12	4	12	2	6	4	12	3	9	4	12
5	Energía	4	1	4	1	4	3	12	3	12	4	16	4	16
6	Ergonomía	2	3	6	2	4	3	6	3	6	4	8	4	8
7	Materiales	3	2	6	3	9	3	9	2	6	4	12	4	12
8	Fabricación	4	2	8	2	8	2	8	2	8	4	16	4	16
9	Montaje	3	2	6	2	6	3	9	3	9	4	12	4	12
10	Mantenimiento	4	2	8	2	8	3	12	3	12	3	12	4	16
Sumatoria		35	23	74	25	87	25	86	27	93	35	121	40	140
Valor Técnico			0.529		0.621		0.614		0.664		0.864		1	

Fuente: Elaboración a base de la Investigación de máquinas granuladoras.

El valor económico de la misma manera se evalúa en función de diversos criterios y con la misma escala de puntuación.

Tabla 2-2: Valor económico (Yi)

Valor Económico														
p: Puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según norma VDI 2225) 0=No satisface, 1=Aceptable a las justas, 2=Suficiente, 3=Bien, 4=Muy bien (ideal) g: Peso ponderado en función de la importancia de los criterios de evaluación. Criterios de evaluación para maquinas en fase de conceptos o proyectos														
Variantes de Concepto			Solución (S1)		Solución (S2)		Solución (S3)		Solución (S4)		Solución (S5)		Solución Ideal	
N°	Criterios de Evaluación	g	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	Costo de fabricación	4	1	4	1	4	3	12	2	8	4	16	4	16
2	Costo de mantenimiento	3	2	6	2	6	2	6	2	6	3	9	4	12
3	Costo de montaje	2	1	2	3	6	2	4	2	4	4	8	4	8
Sumatoria		9	4	12	6	16	7	22	6	18	11	33	12	36
Valor Técnico			0.333		0.444		0.611		0.5		0.927		1	

Fuente: Elaboración a base de la Investigación de máquinas granuladora.

Al graficar los valores obtenidos en las Tablas 2-1 y 2-2 para los ejes X e Y, se obtiene la Figura 2-8. En esta figura, la línea azul muestra que el concepto S5 es la solución más óptima, ya que está más cerca de la línea media y se aproxima más a la Solución Ideal.

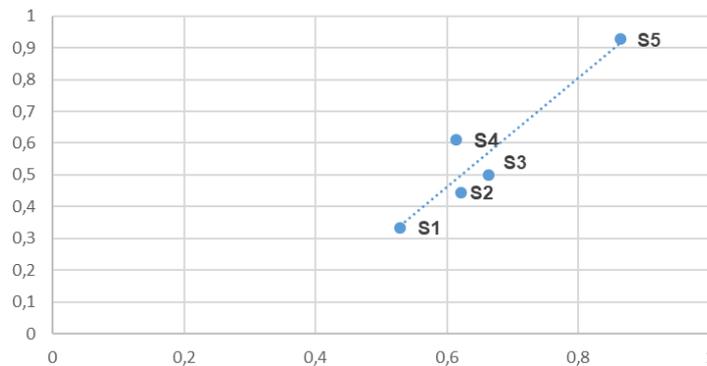


Figura 2-8: Evaluación Técnica-Económica
Fuente: Elaboración propia.

2.2.6 Principios Físicos

Durante el movimiento regular y estable de los gránulos estos van aumentando de tamaño, cuando la velocidad de rotación del disco es menor se forman gránulos de mayor tamaño, debido a que la velocidad es insuficiente para lanzarlos del plato, por otra parte, cuando la velocidad es excesiva los gránulos pueden llegar a mantenerse en la parte superior sin rodar por acción de la fuerza centrífuga. (Pandey, 2012)²²

Una partícula en un disco está sujeta a fuerzas: Fuerzas de fricción, fuerza de centrífuga y fuerza gravitacional (que se contrarresta mediante una reacción normal). Varias fuerzas que actúan en diferentes direcciones son los siguientes:

Reacción normal: N

Fuerza de fricción: f

Fuerza centrífuga: $m\omega^2 R$

Fuerza gravitacional: $[mg.\cos\theta \hat{j})+mg.\sin\theta. \hat{i}]$

Estas fuerzas al equilibrarse se reducen a la siguiente ecuación:

$$N = (mg.\cos^2 \theta + \mu \omega^2 mR + mg.\cos\theta - m\omega^2 R.\cos\theta) / (\mu^2 + \cos^2 \theta)$$

Donde:

N=Reacción normal

m=masa de la bola formada

R=radio del disco

θ =Angulo de inclinación del disco

g= aceleración debido a la gravedad (9.81m/s)

μ = coeficiente de fricción

ω =velocidad angular del disco

Para que un granulo sea expulsado del disco, esta fuerza neta debe ser mayor que su componente de gravedad, es decir, $N > mg.\cos \theta$.

Esta ecuación muestra que a medida que aumenta el tamaño de las partículas, la fuerza requerida para expulsar es mayor. (Pandey, 2012)²²

2.3 INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS

Cuando se habla de cuánto siembra un agricultor en Bolivia, se hace referencia a los productores que durante las campañas de verano e invierno cosechan una variedad de productos. A estos productores se los puede clasificar en tres grandes categorías: pequeños, que siembran entre 1 y 49 hectáreas; medianos, que cultivan entre 50 y 200 hectáreas; y grandes, que trabajan en superficies de 200 o más hectáreas. (upsasantacruzbolivia, s.f.)²³

- Debe satisfacer la dosificación y aplicación del producto en promedios.
 - **Hortalizas de fruto:** de 80 a 150 kg/ha en la línea del cultivo y debajo de la semilla o planta, en siembra o trasplante.
 - **Cultivos anuales:** de 80 a 150 kg/ha, teniendo en cuenta el punto anterior.
 - **Frutales:** de 100 a 200 kg/ha según la edad de las plantas, al comienzo de la primavera, sobre la proyección de la copa del árbol. (Productos y servicios agro., s.f.)²⁴

- Se debe obtener gránulos de alta capacidad de resistir procesos de deterioro, manipuleo y almacenamiento.
- El tamaño máximo de los gránulos debe ser menor a 20 mm y el tamaño mínimo debe ser mayor a 4 mm. El porcentaje de gránulos que esté fuera del rango de 4 a 20 mm no debe superar el 10% del peso total, según la norma para fertilizantes.
- Se debe utilizar como materia prima el cloruro de potasio en polvo.

2.3.1 Características y propiedades del cloruro de potasio

El cloruro de potasio (KCl) con 95% de pureza, es obtenido a partir de la salmuera del salar de Uyuni, con la tecnología canadiense se aplica en las menas de silvinita del salar de Uyuni, esta tecnología involucra conducir el proceso de flotación en presencia de un óxido de amina como espumante promotor en medio acuoso de la salmuera, donde las partículas sólidas de Silvita (KCl) se separan eficientemente de las partículas de halita (NaCl). (Escalera, 2015)¹

El cloruro potásico es el fertilizante de mayor concentración de potasio del mercado. Por lo que una misma cantidad de producto, su aporte de potasio es mayor y de menor costo que el de cualquiera otra fuente. (Escalera, 2015)¹

El precio del tamaño granular (grueso) es mucho mayor que el precio de los tamaños estándar y fino, la figura 2-8 muestra la oferta de productos de potasio granulado y estándar en el mercado internacional. (Alibaba.com)²⁵



Figura 2-9: Cloruro de potasio estándar fino y granulado
Fuente: (YLB, 2023)²⁶

2.3.2 Propiedades del granulado de cloruro de potasio

Los granulados se forman mediante la aglomeración de un concentrado de cloruro de potasio estándar fino y un aglutinante. El proceso de granulación de cloruro de potasio consta de tres pasos principales: preparación mezcla de material, proceso de formación de granulación y proceso de endurecimiento. (Pietsch, 1997)²⁷
 Información técnica y requerimiento para el granulo, Anexo E. Tabla E-5

- **Angulo de reposo de materiales granulados:** Una propiedad importante de los materiales en la carga es el ángulo de reposo. Los valores típicos son: 35–38° para coque, 29–33° para sinterización y 25–26° para granulo. Durante el proceso de granulado este parámetro es importante debido a que determina la distribución del apilamiento dentro del disco granulador y junto con el ángulo de inclinación del disco y la altura del borde determinan el momento en el que un granulo abandona el disco. (Pietsch, 1997)²⁷

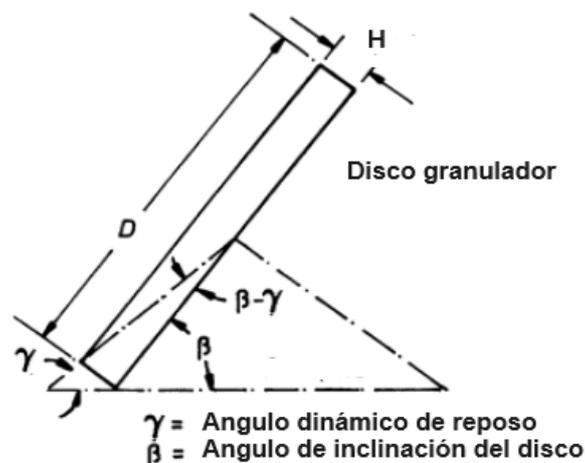


Figura 2-10: Inclinación del disco
Fuente:(W.Pietsch, 1997)²⁷

La inclinación del disco está relacionada con el ángulo dinámico de reposo específico del material como se ve en la Figura 2-9. Este ángulo determina el apilamiento de los gránulos y para que un granulo completamente formado salga del disco, el diámetro alcanzado por el mismo y las fuerzas que se generan en la rotación deben permitirle superar este ángulo. La inclinación es una variable importante, pues si el ángulo es demasiado empinado, los gránulos ya no se elevarían por fricción. El ángulo de inclinación para altas tasas de producción con un diámetro mínimo de 6 mm varía entre 45-48°.(W.Pietsch, 1997)²⁷

La velocidad de giro del disco incide en las propiedades del granulo y para favorecer el proceso de granulación se busca alcanzar un tipo de flujo de cascada, el cual, depende de la velocidad de giro del disco y de sus características geométricas del disco tales como su diámetro y su inclinación. Si la velocidad es muy reducida, el material se mantiene oscilando (fig. 10 A), a mayor velocidad se puede tener en efecto de rodadura (fig. 10 B) pero no se obtiene la colisión entre partículas por caída que se desea. Incrementando la velocidad se llega a alcanzar un flujo de cascada (fig. 10 C) presentando buena rodadura además de importantes colisiones entre gránulos lo que le confiere resistencia, sin embargo, si se continúa aumentando la velocidad se puede alcanzar la velocidad crítica de giro que es el momento en el que las fuerzas no son capaces de evitar que el material se adhiera a la periférica del disco haciendo que no se muestre rodadura ni caída en las partículas (fig.10 D).(W.Pietsch, 1997)²⁷

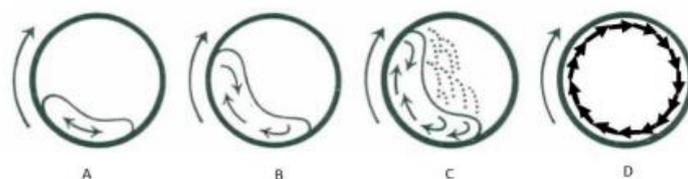


Figura 2-11: Descripción cualitativa del flujo del disco granulador
Fuente: (W.Pietsch, 1997)²⁷

2.3.3 Cantidad y tipo de aglomerante

La cantidad de aglomerante es el aditivo añadido al sistema para facilitar la paletización y conferir resistencia mecánica al material, están presentes tanto en forma sólida como en solución. Cuando es sólido, se refiere a la relación másica del aglomerante respecto al estándar de KCl a paletizar, en solución o suspensión, es la relación másica del aglomerante como soluto respecto a la cantidad de agua de disolución. (Yacimientos de Litios Bolivianos)⁵

- Se presenta los rangos de trabajo de los siguientes aglomerantes:
 - Almidon de maíz (3%, 7%)
 - Almidon de yuca (3%, 7%)
 - Arcilla illitica (5%, 7%)
 - Bentonita sódica (5%, 6%, 7%)
 - Fosfato Diamónico (3%, 7%)

2.3.4 Ajustes de la humedad de trabajo

Se determina la cantidad de agua necesaria para formar gránulos en el disco de granulación, la cantidad total de agua depende del tipo de fertilizante utilizado y se establece cualitativamente, teniendo en cuenta como factor orientativo la consistencia del granulado.

En virtud de que la materia prima utilizada era un material seco, se llevó a cabo un balance para agregar la cantidad adecuada de agua con el fin de alcanzar el valor con el que el producto sale del proceso de centrifugado, aunque este valor es variable, se considera como constante el 9%. (W.Pietsch, 1997)²⁷

El balance de agua para alcanzar un material con 9% de humedad es el siguiente:

$$M_0 + m_{H_2O} = M_1$$

$$M_0 \cdot X_0 + m_{H_2O} = M_1 \cdot X_1$$

Donde:

M_0 : Masa del material inicial

X_0 : fracción másica de agua inicial

m_{H_2O} : cantidad de agua necesaria

M_1 : masa del material final

X_1 : fracción másica de agua final (0.09)

Por lo que se obtiene: $m_{H_2O} = \frac{M_1(0.09 - X_0)}{1 - X_0}$

Para la producción de una hectárea de fruta, se necesitan 200 kg de fertilizante de cloruro de potasio en forma granulada. YLB proporciona este fertilizante en una forma estándar fina, adecuada para ser granulada en una máquina granuladora de disco. Para el proceso de granulación, el material inicial debe tener un contenido de humedad del 9% y un aglomerante compuesto por aproximadamente un 3% de almidón de maíz. Se requieren aproximadamente 12,4 litros de agua.

El agua se aplicará continuamente a través de una boquilla rociadora controlada con un temporizador durante una hora para garantizar una distribución uniforme durante el proceso de fabricación del gránulo. Las cantidades precisas requeridas dependen de varios factores, incluidas las propiedades específicas de las materias primas y las características deseadas del producto final. Sin embargo, es necesario una cantidad adecuada de agua para asegurar una mezcla adecuada y la formación de gránulos uniformes.

2.3.5 Características técnicas de la máquina granuladora de fertilizantes de KCl

El estudio planteado sobre el diseño de una máquina granuladora de fertilizantes de cloruro de potasio, con una capacidad máxima de producción 300 kg/h que tiene como objetivo satisfacer las necesidades y requerimientos de un pequeño y mediano productor.

Las características técnicas de la máquina se detallan en Anexo A, Tabla A-2.

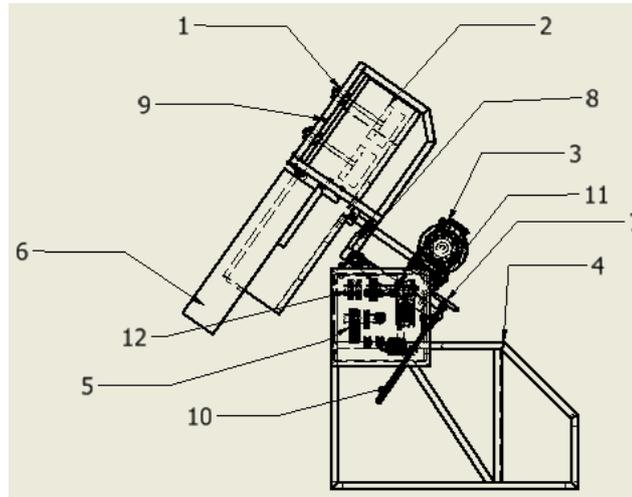


Figura 2-12: Características de la maquina
Fuente: Elaboración propia

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 1. Rascadores | 7. Manija husillo |
| 2. Disco granulador | 8. Rodamiento de bolas |
| 3. Motor | 9. Bomba de agua |
| 4. Estructura | 10. Guía de husillo |
| 5. Caja de distribución | 11. Caja reductora |
| 6. Tolva de descarga | 12. Eje motriz |

2.4 ANALISIS DE LA INFORMACIÓN

En el presente estudio de diseño de una máquina granuladora de fertilizantes de cloruro de potasio, que permite obtener gránulos de KCl, que tenga un rendimiento aceptable por los pequeños y medianos agricultores y sea capaz de satisfacer sus necesidades y exigencias en el campo a aplicar.

2.4.1 Análisis de la capacidad de la máquina granuladora de fertilizantes para cubrir las demandas de pequeños y medianos productores agrícolas

Este análisis evalúa la capacidad de la máquina granuladora de fertilizantes propuesta, con una capacidad de producción de 300 kg/hora, para cubrir las demandas de pequeños y medianos productores agrícolas, considerando las necesidades específicas de fertilización para hortalizas, frutas y cultivos anuales. (YPF, s.f.)²⁶

➤ **Pequeño productor (50 ha):**

- **Hortalizas de fruto:**

- Requerimiento total: 7.500 kg (150 kg/ha * 50 ha)
- Tiempo de trabajo para cubrir la demanda: 25 horas
(7.500 kg / 300 kg/hora)

- **Cultivos anuales:**

- Requerimiento total: 7.500 kg (150 kg/ha * 50 ha)
- Tiempo de trabajo: 25 horas (7.500 kg / 300 kg/hora)

- **Frutales:**

- Requerimiento total: 10.000 kg (200 kg/ha * 50 ha)
- Tiempo de trabajo para cubrir la demanda: 33.3 horas
(10.000 kg / 300 kg/hora)

➤ **Mediano productor (200 ha):**

- **Hortalizas de fruto:**

- Requerimiento total: 30.000 kg (150 kg/ha * 200 ha)
- Tiempo de trabajo para cubrir la demanda: 100 horas

(30.000 kg / 300 kg/hora)

- **Cultivos anuales:**

- Requerimiento total: 300.000 kg (150 kg/ha * 200 ha)

- Tiempo de trabajo para cubrir la demanda: 100 horas

(30.000 kg / 300 kg/hora)

- **Frutales:**

- Requerimiento total: 40.000 kg (200 kg/ha * 200 ha)

- Tiempo de trabajo para cubrir la demanda: 133.3 horas

(40.000 kg / 300 kg/hora)

2.4.2 Tomando en cuenta las ventajas

La investigación para el diseño de una máquina granuladora de fertilizantes de cloruro de potasio frente a otras máquinas de granulación, depende de varios factores y consideraciones:

- **Control preciso del tamaño del granulo:** Los discos granuladores ofrecen un control excepcional sobre el tamaño de las partículas producidas. Esto es vital para productos como el cloruro de potasio, donde el tamaño de partícula puede influir en la velocidad de disolución y la eficacia del fertilizante.(Srinivasan Shanmugam , 2015)²⁷
- **Uniformidad de las partículas:** La uniformidad en el tamaño de las partículas es importante para garantizar la calidad del producto final y su desempeño en aplicaciones específicas. Los discos granuladores tienden a producir partículas más uniformes en comparación con otras máquinas de granulación. (Jim Litster, 2004)¹²
- **Estabilidad del KCl:** Puede ser sensible a la humedad y el calor. El disco granulador permite la formación de gránulos sin utilizar soluciones líquidas, lo que es beneficioso para compuestos inestables en

presencia de humedad. Además, al no requerir secado, se minimiza el riesgo de degradación del KCl durante el proceso.(GEA, s.f.)²⁸

- **Eficiencia energética:** Dependiendo de las condiciones específicas del proceso, ofrecido por los discos granuladores puede resultar en un consumo de energía reducido, pueden ser más eficientes en términos de consumo de energía en comparación con otras máquinas de granulación. (C.E.Capes, 1980)²⁹

2.5 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Para lograr uno de los objetivos propuestos, se realizará el estudio de diseño de una máquina granuladora de fertilizantes de cloruro de potasio, bajo las siguientes consideraciones:

- La máquina granuladora tiene una capacidad máxima de producción de 300 kg/h.
- Utiliza energía eléctrica como fuente de alimentación.
- Los materiales de diseño utilizados en su construcción están disponibles en el mercado
- La máquina ofrece comodidad y facilidad de uso para el operador, con baja probabilidad de causar daño a los operadores
- La forma óptima de su plato permite una utilización eficiente del espacio designado para la granulación.
- Los procedimientos de mantenimiento son rápidos y sencillos.

2.5.1 Factores que influyen en el rendimiento de la máquina granuladora

- **El ángulo de inclinación influye:** En la formación de los gránulos, en mayor ángulo se forma los gránulos más pequeños, sin embargo, si se eleva demasiado la inclinación del disco, el flujo de material dentro del disco pierde su característica en forma de cascada y mucho material

sale del disco sin haber formado los gránulos. Las partículas tardan un tiempo determinado en alcanzar un tamaño determinado, llamado tiempo de residencia, que dependerá del ángulo del material y de la inclinación del disco. Dado que el ángulo de reposo es una propiedad del material, el equipo debe permitir variar la inclinación del disco según la preferencia del investigador para lograr el tamaño de partícula granulado adecuado. (C. E. Capes, 1980)²⁹

- **La velocidad de rotación:** También influye en la formación de gránulos cuanto más rápido gira el disco, más pequeños son los gránulos. Sin embargo, la formación de los gránulos es muy sensible a la velocidad de rotación, ya que el flujo en cascada buscado por la resolución del tamaño tiende a desaparecer al aumentar la velocidad. También a velocidad muy baja, el material tiende a oscilar en la zona de alimentación sin presentar un flujo de cascada. (C. E. Capes, 1980)²⁹
- **Tiempo adecuado para formarse el granulo en el plato:** También influye cuando más rápido ingresa el agua o el tiempo insuficiente del proceso, los gránulos no llegan a formarse adecuadamente o no llegan a alcanzar un tamaño adecuado o si alcanzan un tamaño bueno no tienen una buena consistencia. (Apaza, 2019)³⁰

2.5.2 Elementos del equipo

2.5.2.1 Motorreductor

Es una unidad compacta y homogénea formada por reductor y un motor la idea de agregar un motor aun reductor se remonta a la patente en Bruchsal del ingeniero de diseño y emprendedor.(Obermoser, 1928)³¹

El papel principal en un motorreductor lo desempeña el reductor y sus fases, los pares. Estas características transmiten la fuerza del motor del eje de entrada al eje de salida. Por lo tanto, el reductor funciona como un variador de velocidad y par.

En la mayor parte de aplicaciones, el reductor reduce la velocidad de giro transmitiendo simultáneamente pares significativamente más altos que los que el motor eléctrico por sí solo podría suministrar. Teniendo eso en cuenta, el diseño del reductor determina si un motorreductor es adecuado para cargas ligeras, medias o pesadas y para tiempos de corta o larga duración.(Obermoser, 1928)³¹

En Anexo F, Tabla F-6 se selecciona un motorreductor de lentax modelo KL2. Con un motor de 1.5 kW, 380 V, 50 Hz, 1410 rpm. Con una velocidad de salida aprox. 21 (rpm).(Lentax, 2018)³²

2.5.2.2 Disco granulador

El disco granulador es uno de los elementos más importantes del equipo, donde se lleva el proceso de granulación, se presenta al disco con diámetro D y H la altura del borde. Rota mediante un motorreductor trifásico de 2 HP controlado por un variador de frecuencia. La velocidad de operación del disco se ajustará según el criterio del laboratorista. Variando la frecuencia se podrá analizar el efecto de la velocidad de giro sobre tamaño del producto y su distribución estocástica

La máquina de granulación de disco junto a su soporte está compuesta por un dosificador de agua que humedece mediante rociadores en forma de spray, los rascadores que pose se utilizan para evitar la acumulación de material en el disco para controlar el padrón de flujo del material y cada uno interviene en el proceso de granulación y su funcionamiento están íntimamente relacionados entre sí. (C.E. Capes, 1980).²⁹

El disco utiliza un material de acero carbono en el espaldar del plato y anillo del disco. El protector de mano del disco es de acero carbono 3147x20x3mm y la aleta del disco de un acero carbono 40x20x2mm.

2.5.2.3 Eje motriz

El eje motriz tendrá que soportar los esfuerzos del diseño, siendo considerado la parte más crítica del diseño del equipo en general. Esto se debe a que funciona como el elemento de transmisión de potencia desde el motorreductor hacia el disco y, a su vez, soporta tanto el peso del material a granular (W_p) como el peso del disco (W_d) durante el proceso de granulación.

- **En el diseño se utilizará un material de alta calidad:** acero al carbono SAE 1035, resistente al agua, cuya resistencia al desgaste y capacidad de endurecimiento se incrementan mediante la adición de una pequeña cantidad de cromo. Este acero es más resistente que los aceros bajos en carbono, lo que es fundamental para ciertas propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, tenacidad, resistencia a la fatiga y alargamiento. El acero SAE 1035 adquiere dureza frente al templado y, aunque presenta dificultad para ser soldado, puede ser soldado tomando precauciones especiales para evitar fisuras debido al rápido calentamiento y enfriamiento. Además, tiene mejores propiedades mecánicas que el acero de bajo carbono y es apto para la transmisión de potencia. (materiales.gelsonluz, s.f.)³³

2.5.2.4 Estructura de la máquina

La máquina propuesta tendrá dos estructuras una superior y una inferior, teniendo en consideración que cada componente tiene un peso definido que se aplican en diferentes lugares de la estructura.

En el estudio del diseño de la máquina granuladora se utilizará, el acero que contiene un porcentaje de carbono y le brinda propiedades mecánicas. Como parte de su composición química también suele contener manganeso, silicio y cobre, en menor medida. También presenta otros elementos como el azufre, fósforo, oxígeno e hidrógeno, pero se consideran impurezas porque no son fáciles de excluir. (aceromafe, s.f.)³⁴

- En el estudio del diseño se utilizará como material el acero carbono ISO 10799-2. Por ser económico y de fácil acceso en el mercado. la estructura es calculada por software y depende del material asignado.
 - El semisuave contiene un 0.3% y 0.4% de carbono, se utiliza para piezas de maquinarias resistentes y tenaces.
 - El semiduro tiene entre un 0.4% y 0.5% de carbono, es utilizado para cilindros de motores de explosión y transmisores.
 - El duro contiene un 0.5% y 0.6% de carbono, es ideal para piezas regularmente cargadas de espesores no muy elevados.
 - El muy duro tiene entre 0.6% y 0.8% de carbono, se utilizan para piezas de maquinarias como tornillos y destornilladores.
 - El extraduro tiene un porcentaje mayor al 0.8% de carbono, es para herramientas manuales, perforadoras y cinceles.(aceromafe, s.f.)³⁵

2.5.2.5 Selección y configuración de la bomba de agua para el proceso de granulación

Se selecciona una bomba de agua de 800 l/h DC 5-12 V G1/2 para el dosificador del humectante. Esta bomba puede ser fácilmente controlada mediante un temporizador eléctrico, que recibe su fuente de alimentación a través de la energía. La energía promueve la habilitación o desactivación de la bomba. La programación del tiempo, en la mayoría de los casos, se realiza de forma manual, y los modelos pueden tener botones o perillas para este fin. Esto permite producir diferentes caudales para la granulación. Las características del dosificador se detallan en Anexo G. (Naylamp, s.f.)³⁶

En el proceso de granulación de mezclas con aglomerante, se requiere la adición de una cierta cantidad de agua para iniciar la granulación. La cantidad de agua a agregar depende del porcentaje de humedad necesario para el tipo específico de granulado que se busca producir. El sistema encargado de añadir el agua a la mezcla, compuesto por cloruro de potasio y almidón de maíz, consta

principalmente de una boquilla y una bomba de agua. Además, es esencial que el sistema cuente con una válvula reguladora de presión y un temporizador.(Apaza, 2019)³⁰

La ubicación estratégica de la boquilla en este proceso es crucial para garantizar una humectación efectiva. Esta ubicación suele determinarse experimentalmente, considerando factores como el área cubierta por el agua pulverizada, el sentido de giro del disco y la posición de los rascadores. Por lo general, se recomienda colocar las boquillas cerca de los rascadores para optimizar la distribución del agua. La elección adecuada del diámetro de la boquilla dependerá del tamaño del disco utilizado en el proceso.

La potencia requerida para la bomba está directamente relacionada con el caudal necesario del agua, que debe ser ajustado según el porcentaje de humedad deseado en el granulado final. (Pandey P. , 2012).²²

2.5.2.6 Sistema de control

- Selección del variador de frecuencia: Un variador de frecuencia por definición es un regulador industrial que se encuentra entre la alimentación energética y el motor. La energía de la red pasa por el variador y regula la energía antes de que ésta llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del procedimiento. El modelo implementado en el diseño GD350A-1R5G/2R2P-4 es un variador de frecuencia “VFD” con una potencia 1,5 kW ~ 2 hp del motor trifásico, que es una herramienta esencial en muchas operaciones industriales, Permite variar la velocidad del motor, con protección de sobrecarga, previniendo el deterioro y evitando paradas inesperadas que provocan tiempos de improductividad.(FMZ, s.f.)³⁷
- Especificaciones técnicas del variador de frecuencia se detalla ANEXO H.

2.5.2.7 Esquema de conexión

El variador de frecuencia para poder controlar el motor debe ser conectado según el tipo de motor adquirido, es este caso se emplea un motor trifásico, para un correcto funcionamiento es necesario realizar las conexiones como se muestra en la figura 2-11, para el disco granulador se empleará el variador de frecuencia, contactor trifásico, relé térmico y potenciómetro.

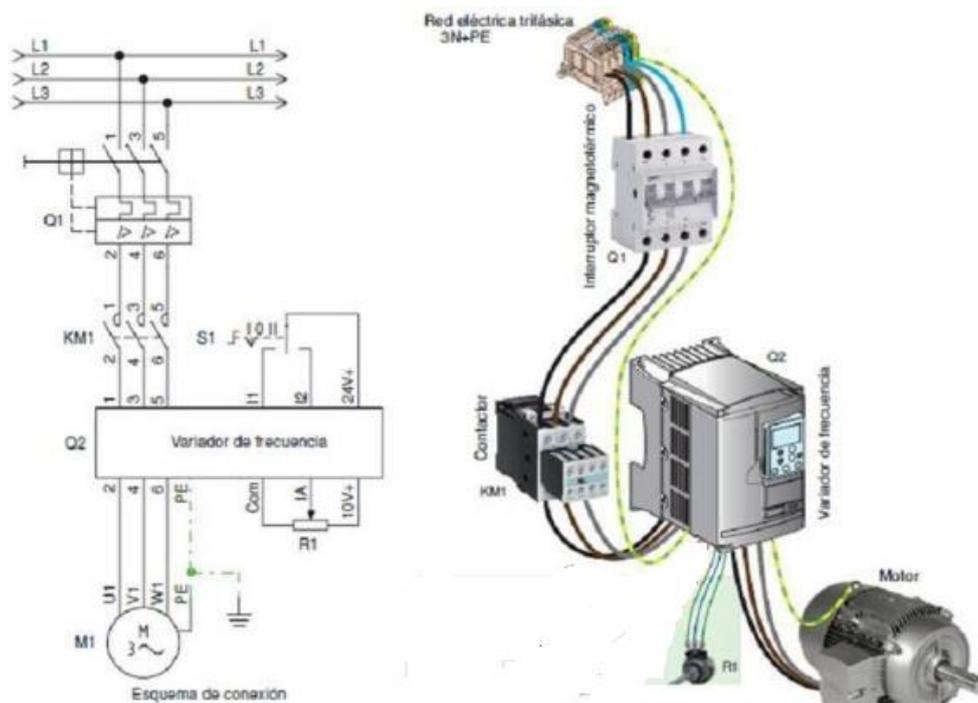


Figura 2-13: Conexión del circuito para el control de un motor trifásico.
Fuente: (Linkedin, s.f.)³⁸

2.5.3 DETERMINACIÓN DE PARAMETROS DE DISEÑO

Para la investigación del diseño de una máquina granuladora de fertilizantes de KCl es preciso contar con algunos datos de partida, tales como:

- Capacidad máxima de la máquina granuladora de fertilizantes de KCl.
- Determinar la relación entre la capacidad y la potencia con las dimensiones del disco.

Por otro lado, en el estudio del diseño se manejan muchas variables desconocidas, es necesario realizar algunas consideraciones iniciales de diseño que nos permita determinar valores adecuados de estas variables para obtener un diseño adecuado y óptimo para la granulación.

2.5.3.1 Capacidad máxima de la máquina granular de fertilizantes de KCl

Para determinar la demanda de fertilizante de KCl en nuestro medio, es necesario saber la cantidad de fertilizante a ser utilizado en una hectárea de cultivo:

- **Hortalizas de fruto:** De 80 a 150 kg/ha.
- **Cultivos anuales:** De 80 a 150 kg/ha.
- **Frutales:** De 100 a 200 kg/ha.

(YPF, s.f.)²⁶

Tomando en cuenta los siguientes datos de (YPF, s.f.) se realizara una investigación del diseño de una máquina granuladora de KCl de 300 kg/h para satisfacer la demanda de un pequeño y mediano productor, el rendimiento de la máquina puede cubrir las necesidades de una hectárea de terreno en una hora, dependiendo del análisis de suelo para realizar una dosificación correcta del producto.

2.5.3.2 Parámetros del diseño de la maquina

(W.Pietsch)²⁷ para determinar la relación entre la capacidad y la potencia con las dimensiones del disco se ha estudiado el sellado de aglomeradores de discos inclinados y ofrece las siguientes relaciones para el diseño de una máquina granuladora de disco en unidades de diámetro D en metros, el consumo de energía y la capacidad están relacionados con el volumen, lo que permite mayores rendimientos, donde la capacidad se define con el área del disco.

En figura: 2-12 y 2-13 la capacidad y la potencia instalada, respectivamente se muestra en función del diámetro para máquinas de disco ofrecidas por varios fabricantes norteamericanos.

- Los datos de capacidad en la figura 2-26 oscilan entre:

$$Q=0.3D^2 \text{ Mg/h a } Q=1.2D^2 \text{ Mg/h,}$$

- Los datos de potencia instalada en la figura 2-27 oscilan entre:

$$P=0.6D^2 \text{ kW a } P=2.3D^2 \text{ kW.}$$

- El borde del disco (H) en metros:

$$H \cong 0.25 D$$

Estas variaciones bastante amplias en los requisitos de capacidad y potencia pueden ser explicados por variaciones en la velocidad, los datos citados por los fabricantes son en general más conservadores. (C.E. Capes, 1980)²⁹

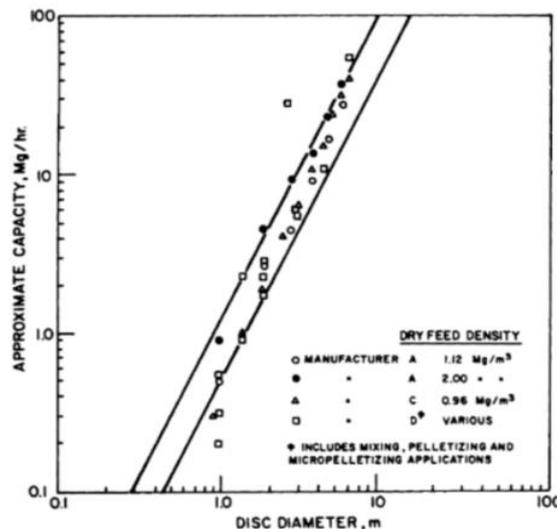


Figura 2-14: Capacidad vs diámetro del disco
Fuente: (C.E. Capes, 1980)²⁹

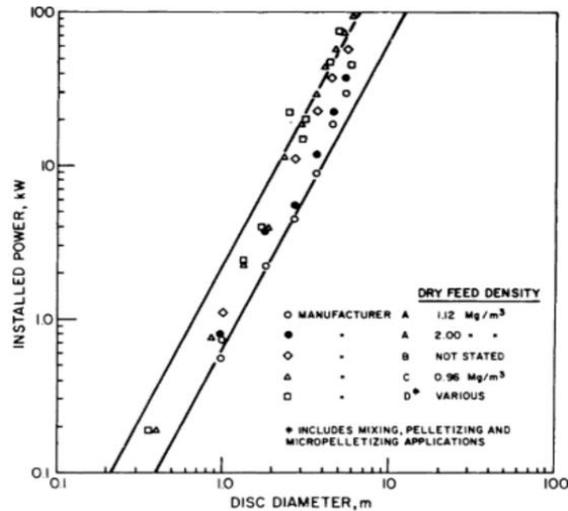


Figura 2-15: potencia instalada vs el diámetro del disco.
Fuente: (C.E. Capes, 1980)²⁹

(C.E.Capes, 1980)²⁹ nos permiten obtener valores empíricos o semi- empíricos de estudios de diseño previo, para el diseño de la máquina consideraremos 1 metro como valor del diámetro del disco granulador de KCl:

- **La altura del borde o profundidad del plato:** $H \cong 0.25.D$
 $H=0.25 \times 100 \text{cm} = 25 \text{ cm}$
- **Capacidad:** $Q=0.3D^2 \text{ Mg/h}$
 $Q=0.3 \times 1^2 \text{ Mg/h} = 0.3 \text{ Mg/h} = 300 \text{ Kg/h.}$
- **Potencia para el equipo:** $P=1.1D^2$
 $1.1 \times 1^2 = 1.1 \text{ kW.}$
 Redondeando a un valor estándar para la potencia del motor en Hp quedaría: 2 hp; 1.5 kW.

2.5.3.3 Velocidad crítica

La velocidad de rotación de los discos inclinados normalmente se considera en relación con la velocidad crítica, esto se define como la velocidad a la que un granulo se mantiene estacionario en el borde del disco solo por las fuerzas centrípetas, la velocidad crítica se puede calcular:

$$N_c = 42.3 \sqrt{\frac{\sin \beta}{D}}$$

Los discos suelen operar entre 50% y 75% de la velocidad crítica (N_c) en rpm, para ángulos β entre 45° y 55°. (C.E.Capes, 1980)²⁹

Para la investigación del diseño de la máquina granuladora, la mayoría de los fabricantes proporcionan información sobre dimensiones, capacidad y potencia instalada para su gama de aglomeradores de discos. Uno de estos conjuntos de datos se proporciona en la tabla.

Tabla 2-3: Características de una gama de discos inclinados

Modelo	Diámetro del disco (mm)	Altura de arista (mm)	Velocidad giratoria (r/min)	Potencia del motor (kw)	Capacidad (t/h)	Modelo de reductor (kw)	Dimensiones (mm)
TDYZ-500	500	200	32	0,55	0,02-0,05	BWYO-43-0,55	650*600*800
TDYZ-600	600	280	33,5	0,75	0,05-0,1	BWYO-43-0,55	800*700*950
TDYZ-800	800	200	21	1,5	0,1-0,2	XWD4-71-1,5	900*1000*1100
TDYZ-1000	1000	250	21	1,5	0,2-0,3	XWD4-71-1,5	1200*950*1300
TDYZ-1200	1200	250	21	1,5	0,3-0,5	XWD4-71-1,5	1200*1470*1700
TDYZ-1500	1500	300	21	3	0,5-0,8	XWD5-71-3	1760*1500*1950
TDYZ-1800	1800	300	21	3	0,8-1,2	XWD5-71-3	2060*1700*2130
TDYZ-2000	2000	350	21	4	1,2-1,5	XWD5-71-4	2260*1650*2250
TDYZ-2500	2500	450	14	7,5	1,5-2,0	ZQ350	2900*2000*2750
TDYZ-2800	2800	450	14	11	2-3	ZQ350	3200*2200*3000
TDYZ-3000	3000	450	14	11	2-4	ZQ350	3400*2400*3100
TDYZ-3600	3600	450	13	18,5	4-6	ZQ400	4100*2900*3800

Fuente: (EMCC, s.f.)¹⁷

2.5.3.4 Diagrama de fuerza del disco granulador

Cabe mencionar que el accionamiento de disco granulador será por medio de un motorreductor eléctrico el cual tendrá una velocidad directamente controlada por un variador de frecuencia. En la Figura 2-14 se observa cómo están montados los componentes sobre la estructura superior, donde se puede apreciar que el peso de toda la estructura esta soportada por los rodamientos (R1 y R2) los cuales se encuentran montados sobre la estructura inferior.(Jim Litster, 1992)¹²

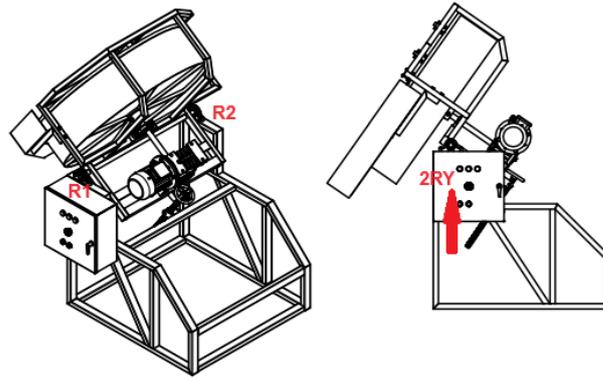


Figura 2-16: Estructura superior con sus componentes montados
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 2-15 se observa con más detalle la unión entre el disco granulador y el eje, el cual está unida por una brida.

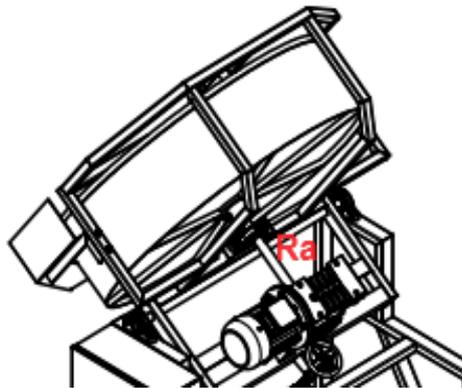


Figura 2-17: Disco granulador montado en el eje
Fuente: Elaboración Propia

La Figura 2-16 muestra el diagrama de cuerpo libre del conjunto Disco-Masa de la materia a granular. En este diagrama, el peso de la masa excéntrica se muestra en relación con el centro de masa del disco, ya que la masa asume esta configuración durante la rotación del disco en equilibrio.

Según (Jim Litster, 1992)¹² el valor operativo del ángulo de inclinación óptimo, varía entre $\beta = 45^\circ - 55^\circ$, mientras que el ángulo de retroceso dinámico del granulo, está entre $\alpha = 30^\circ - 40^\circ$.

En la imagen sólo están aislados el disco y el eje del granulador (Fig. 2-16).

En el diagrama de cuerpo libre: peso del disco (W_{disc}), el peso de la materia a granular (W_p) y peso del eje (W_{eje}) en el siguiente orden. Estas fuerzas están apoyadas por fuerzas de reacción del rodamiento (R_a). (Jim Litster, 1992)¹²

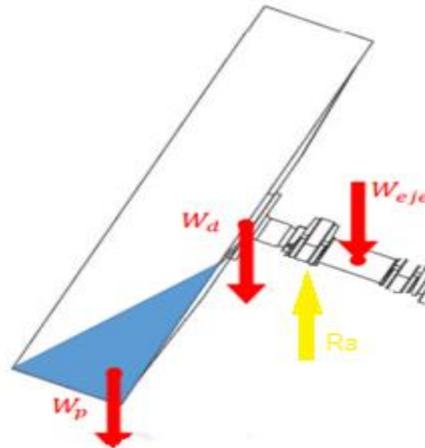


Figura 2-18: Diagrama de cuerpo libre
Fuente: (Baldeon S. F., 2022)³⁹

2.5.3.5 Peso del disco granulador

Para calcular la masa del disco granulador se debe hallar su volumen total y multiplicarlo por la densidad del acero. El volumen se puede calcular multiplicando el área de borde del disco (A_{cc}) por su altura (H) más el área del disco (A_{cd}) multiplicado por su espesor (e). (C.E.Capes, 1980)²⁹

Donde:

A_{cc} : Área de la corona circular que forma el borde del disco

A_{cd} : Área disco

V_d : Volumen del disco granulador

e : Espesor de la plancha de acero

ρ_{inox} : Densidad del material

$$A_{cc} = \left(\frac{\pi(D^2 - (D - \frac{2e}{1000})^2)}{4} \right)$$

$$A_{cd} = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)$$

$$V_d = A_{cc} * H + A_{cd} * \frac{e}{1000}$$

Al volumen del disco se le adiciona el volumen de la brida (V_b) que sirve de unión entre el disco y el eje. Como esta pieza tiene una geometría compleja se empleó las herramientas del software CAD para determinar su volumen y su factor de seguridad.(C.E.Capes, 1980)²⁹

$$W_d = (V_d + V_b) * \rho_{inox} * g$$

2.5.3.6 Diseño del eje

Después de determinar las dimensiones y las cargas en el disco granulador se diseñará el eje el cual es tomado como la parte la más crítica en el diseño del equipo en general, esto es debido a que sirve como elemento de transmisión de potencia desde el motor hacia el disco y a su vez soporta tanto el peso del material a granular (W_p), como el peso del disco (W_d) durante el proceso de granulación. El proceso típico en el diseño de ejes empieza con la elaboración del diagrama de cuerpo libre, donde se grafican solamente las cargas externas que se aplican sobre el eje y las reacciones. Por la naturaleza del equipo el eje no trabaja en una sola posición, sino que su inclinación puede variar en un rango de 45° a 55°.(C.E.Capes, 1980)²⁹

2.5.3.7 Fuerzas que intervienen en la estructura

Las fuerzas que interviene en la estructura se muestra en la figura 2-17, las flechas en celeste representan el peso de cada componente y la de color rojo es la reacción en el eje y. (Pandey P. , 2012)²²

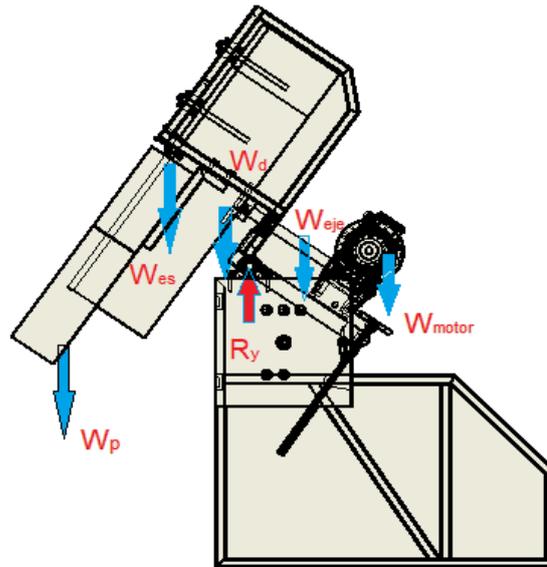


Figura 2-19: Fuerzas sobre la estructura
Fuente: Elaboración propia

- Dónde:
- W_d : Es el peso del disco granulador, (N)
 - W_{es} : Es el peso de la estructura superior, (N)
 - W_{eje} : Es el peso del eje, (N)
 - W_{motor} : Es el peso del motor, (N)
 - W_p : Es el peso del material a granular, (N)
 - R_y : Es la reacción generada en los rodamientos, (N)

2.5.3.8 Diseño de la estructura de soporte

Para el estudio del diseño de la estructura del equipo, es esencial tener ya definidas las dimensiones del disco, el eje y el motor a utilizar. Considerando que cada componente tiene un peso definido y se aplican en diferentes lugares de la estructura, los cálculos analíticos se vuelven complicados. Por lo tanto, lo más eficiente es analizar la estructura en un software de simulación por elementos finitos. En este software, es necesario definir las fuerzas actuantes y las regiones de soporte. (C.E.Capes, 1980)²⁹

3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 CONCLUSIONES

- Se realizó el desarrollo de la investigación para el diseño de una máquina granuladora de fertilizantes de cloruro de potasio.
- Se realizó un análisis exhaustivo de los métodos y tecnologías actuales para la granulación de fertilizantes de cloruro de potasio en el sector agrícola.
- Se identificaron y evaluaron las necesidades y exigencias específicas de los pequeños y medianos agricultores.
- Utilizando software de diseño avanzado (CAD), se diseñó y modeló una máquina granuladora de fertilizantes de cloruro de potasio adaptada a las características de producción de los pequeños y medianos agricultores.
- Se seleccionó la máquina óptima para la granulación del fertilizante de cloruro de potasio, de acuerdo con las necesidades específicas de los pequeños y medianos agricultores.
- Se evaluó el costo de producción de la máquina para determinar su viabilidad económica. Los resultados indican que la máquina diseñada es competitiva en términos de costo, comparada con las alternativas disponibles en el mercado exterior

3.2 RECOMENDACIONES

- Aunque la máquina fue diseñada específicamente para granular fertilizante de cloruro de potasio, también puede utilizarse para granular otros tipos de materiales, siempre que posean características similares a las del fertilizante.
- Se recomienda fomentar la colaboración interdisciplinaria entre investigadores, ingenieros y profesionales de la industria para abordar problemas complejos y encontrar soluciones innovadoras en el diseño y operación de máquinas de fertilizantes de cloruro de potasio.
- Se aconseja automatizar el diseño de la máquina para que su funcionamiento no dependa de la intervención constante de una persona, lo cual mejorará la eficiencia y la consistencia en la operación.
- Es recomendable establecer un plan de mantenimiento si se decide construir la máquina, asegurando así su durabilidad y funcionamiento óptimo a lo largo del tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ⁸abi.bo. (01 de Marzo de 2024). *Agencia Boliviana de Información*. Obtenido de Agencia Boliviana de Información:
<https://abi.bo/index.php/component/content/article/36-notas/noticias/economia/12457-YLB-inaugura-punto-de-venta-de-cloruro-de-potasio-en-Santa-Cruz?Itemid=101>
- ¹⁰abi.bo. (01 de marzo de 2024). *Agencia Boliviana de Información* . Obtenido de <https://www.abi.bo/index.php/noticias/sociedad/36-notas/noticias/economia/47741-ylb-concreta-venta-de-2-000-toneladas-de-cloruro-de-potasio-por-bs-3-2-millones-en-la-exposoya-2024>
- ³⁴aceromafe. (s.f.). *aceromafe.com*. Obtenido de aceromafe.com:
<https://www.aceromafe.com/acero-al-carbono-descripcion/>
- ³⁵Aceromafe.com. (s.f.). *Aceromafe.com*. Obtenido de https://www.aceromafe.com/acero-al-carbono-descripcion/#El_extraduro_tiene_un_porcentaje_mayor_al_08_de_carbono_es_para_herramientas_manuales_perforadoras_y_cinceles
- ²⁵Alibaba.com. (s.f.). *Alibaba.com*. Obtenido de Alibaba.com:
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/Industrial-Grade-CaCl2-Calcium-Chloride-Bulk-1600345602574.html?spm=a2700.7724857.0.0.2e7d7f5ec4lbiM>
- ³⁰Apaza, D. S. (2019). *Estudio del proceso de peletizacion en base al producto cristalino*. La Paz.
- ³⁰Apaza, D. S. (2019). ESTUDIO DEL PROCESO DE PELETIZACIÓN KCl. *ESTUDIO DEL PROCESO DE PELETIZACIÓN KCl*. la paz, bolivia.

⁷autodesk. (s.f.). *autodesk.com*. Obtenido de autodesk.com:
<https://www.autodesk.com/mx/solutions/cad-design>

³⁹Baldeon, S. F. (2022). *DISEÑO DE UN EQUIPO DE AGLOMERACION POR RODADURA*. peru.

³⁹Baldeon, S. F. (Enero de 2022). DISEÑO DE UN EQUIPO DE AGLOMERACION POR RODADURA. *DISEÑO DE UN EQUIPO DE AGLOMERACION POR*. Peru.

³⁹Baldeon, S. F. (Enero de 2022). DISEÑO DE UN EQUIPO DE AGLOMERACION POR RODADURA PARA EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN. peru.

²⁹C. E. Capes, J. W. (1980). Particle size enlargement. En J. W. C. E. Capes. elsevier scientific.

²⁹C.E. Capes, J. W. (1980). Particle Size Enlargement. En C. E. Capes. Elsevier.

²⁹C.E.Capes. (1980). Aumento del tamaño de partículas. En C.E.CAPES. J.C. Williams and T. Allen.

²⁹C.E.Capes. (1980). Particle Size Enlargement; Aumento del tamaño de partículas. En C.E.Capes, *Particle Size Enlargement* (pág. 69). J. C. Williams y T. Allen.

⁴Calderon, K. (2023). *YLB*. Obtenido de YLB: <https://www.ylb.gob.bo/>

²⁹Capes, W. J. (1980). HANDBOOK OF POWDER TECHNOLOGY. En J. W. ALLEN, *HANDBOOK OF POWDER TECHNOLOGY* (pág. 72). Elsevier scientific publishing company.

⁶Centro Internacional de desarrollo de fertilizantes. (1967). En N. unidas, *Fertilizer Manual*. Obtenido de https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnaaj093.pdf

- ⁴¹China Shunxin. (s.f.). Obtenido de <https://www.compostademaquina.com/granulador-de-tambor-giratorio/>
- ¹³CHT. (s.f.). *Chumillas Technology*. Obtenido de Chumillas Technology: <https://www.chumillastechnology.com/blog/en-que-consiste-el-proceso-de-granulacion/>
- ¹⁷EMCC. (s.f.). *EMCC*. Obtenido de Mining y Agriculture: <https://www.fertimaquina.com/rotary-drum-fertilizer-granulator.html>
- ¹⁷EMCC. (s.f.). *fertimaquina.com*. Obtenido de fertimaquina.com: <https://www.fertimaquina.com/productos/granuladores/>
- ¹Escalera, D. S. (ABRIL de 2015). *PRODUCCION DE POTASIO EN BOLIVIA*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/304832440>
- ¹Escalera, D. S. (4 de 6 de 2015). *researchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/304832440_PRODUCION_DE_POTASIO_EN_BOLIVIA
- ¹⁵Fayed y otten, o. y. (1997). Handbook of Powder Science & Technology. En M. E. Otten, *Manual de polvo ciencia y tecnologia* (pág. 35). Obtenido de Manual de polvo ciencia y tecnologia : books.google.com.bo/books?id=0lHaBwAAQBAJ&pg=PA105&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=1#v=onepage&q&f=false
- ³⁷FMZ. (s.f.). *Teknebolivia*. Obtenido de <https://teknebolivia.com/tienda/variadores-de-frecuencia-hmi-plc-y-accesorios/>
- ²⁸GEA. (s.f.). *GEA.COM*. Obtenido de <https://www.gea.com/es/customer-cases/comparing-granulation-techniques/>

- ²⁹J.C.Williams, D. (2015). *Produccion de Potasio en Bolivia*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/304832440_PRODUCCION_DE_POTASIO_EN_BOLIVIA
- ¹²Jim Litster, B. E. (1992). En B. E. Jim Litster, *The Science and Engineering of Granulation Processes*. Estados Unidos: Serie de tecnología de partículas.
- ¹²Jim Litster, B. E. (1992). Springer Science & Business . En B. E. Jim Litster, *Ciencia e Ingenieria de los procesos de granulacion* (págs. 12-24). Springer Science & Business .
- ¹²Jim Litster, B. E. (1992). *The Science and Engineering of Granulation Processes*. springer scienee.
- ¹²Jim Litster, B. E. (2004). *The Science and Engineering of Granulation Processes*. Springer Science & Business.
- ⁴Karla Calderón, K. (27 de 02 de 2024). Obtenido de <https://www.abi.bo/index.php/economia2/47580-produccion-de-potasio-de-ylb-sube-a-85-046-toneladas-y-tiene-alta-demanda-del-agro-brasileno-chileno-y-boliviano>
- ³²Lentax. (s.f.). Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-620696022-motorreductor-trifasico-cfreno-2-hp-1500-150-rpm-_JM#position=12&search_layout=stack&type=item&tracking_id=53fff301-91d5-406a-aeb5-376704befe66
- ³²Lentax. (121 de 04 de 2018). Catalogo linea de engranjes conicos . *motorreductor* .
- ³²Lentax. (04 de 12 de 2018). *Linea de Engranajes Cónicos*. Obtenido de <https://www.motorreductores.com.ar/>

- ³²Lentax. (4 de 12 de 2018). *Studocu.com*. Obtenido de <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-nacional-del-sur/termodinamica-a/motoreductor-lineakl-lentax/14288789>
- ³⁸Linkedin. (s.f.). *linkedin.com*. Obtenido de linkedin.com: <https://www.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-son-los-variadores-de-frecuencia-y-c%C3%B3mo-pueden-ayudarte>
- ¹⁵M Fayed, L. o. (1997). En L. O. Muhammed Fayed, *Handbook of Powder Science & Technology* (pág. 40).
- ¹⁵M. Fayed, L. O. (1997). *Handbook of Powder Science & Technology*. En L. O. Muhammed Fayed, *Handbook of Powder Science & Technology* (págs. 35-40). Springer Science & Business.
- ³³materiales.gelsonluz. (s.f.). *materiales.gelsonluz.com*. Obtenido de <https://www.materiales.gelsonluz.com/2020/12/sae-1035-propiedades-mecanicas-quimicas.html>
- ²⁰MIC High Shear Mixer LATAM. (s.f.). *MIC*. Obtenido de MIC: <https://pdf.medicaexpo.es/pdf/pat-group/ficha-tecnica-mic-high-shear-mixer-latam/130074-251348.html>
- ¹¹Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras. (2023). Obtenido de <https://www.ruralytierras.gob.bo/>
- ³⁶Naylamp. (s.f.). *naylampmechatronics.com*. Obtenido de [naylampmechatronics.com: https://naylampmechatronics.com/bombas-de-agua/446-bomba-de-agua-d12-12vdc-5m-800lh.html](https://naylampmechatronics.com/bombas-de-agua/446-bomba-de-agua-d12-12vdc-5m-800lh.html)
- ²³norma de diseño alemana VDI 2225. (s.f.). *norma VDI 2225*. Obtenido de <https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/48097/TFMDavidGomezAnexoIIIIRUO.pdf?sequence=7&isAllowed=y#:~:text=La%20VDI%20>

225%20consiste%20en,escogido%20el%20dise%C3%B1o%20m%C3%A1s%20%C3%B3ptimo.

³¹Obermoser, A. (1928). *SEW EURODRIVE*. Obtenido de <https://www.sew-eurodrive.es/productos/motorreductores/getriebemotoren.html>

²²Pandey. (2012). *Optimization of Disc Parameters Producing More*. Obtenido de <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=e50ce0a302a724572f163e6ac3fd544fdc6e5f11>

²²Pandey, P. (2012). *Optimization of Disc Parameters Producing More*. JSW Steel Limited.

²²Pandey, P. (2012). *Optimization of Disc Parameters Producing More Suitable Size Range of Green Pellets*. Estados Unidos: International Journal of Metallurgical Engineering. doi:10.5923/j.ijmee.20120104.02

²⁷Pietsch, W. (1997). Size Enlargement by Agglomeration. En W. Pietsch.

²⁷Pietsch, W. (1997). *Size Enlargement by Agglomeration* .

¹⁶Rojas Ardiles, R. (s.f.). *repositoriodigital.uns.edu*. Obtenido de repositoriodigital.uns.edu.: <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4720#:~:text=Los%20granuladores%20de%20tambor%20rotatorio,y%20los%20de%20tambor%20rotatorio>.

¹⁴Ronal Quispe, R. E. (2014). *Unac.edu*. Obtenido de https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/256/Ronal_Tesis_titulo profesional_2014

⁴¹SKF. (s.f.). *SKF.COM*. Obtenido de <https://www.skf.com/ar/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/pillow-block-ball-bearing-units/productid-SY%2050%20TR>

⁴¹skf. (s.f.). *www.skf.com*. Obtenido de [www.skf.com](https://www.skf.com/ar/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/pillow-block-ball-bearing-units/productid-SY%2050%20TR):
<https://www.skf.com/ar/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/pillow-block-ball-bearing-units/productid-SY%2050%20TR>

¹⁸SUNUP. (s.f.). *Nanjing Sunup Granulation Equipment co.Ltd*. Obtenido de Nanjing Sunup Granulation Equipment co.Ltd: <http://granulator-machine.es/3-3-teeth-agitating-granulator.html/114270/>

Técnicas y tecnologías de granulación: avances recientes. (18 de febrero de 2015). *Srinivasan Shanmugam* . Obtenido de Srinivasan Shanmugam : [ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4401168/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4401168/)

²³upsasantacruzbolivia. (s.f.). *issuu.com*. Obtenido de [issuu.com](https://issuu.com/upsasantacruzbolivia/docs/generacion-upsa-4/s/13662029#:~:text=A%20estos%20productores%20se%20los,(500%20o%20m%C3%A1s%20hect%C3%A1reas)):
[https://issuu.com/upsasantacruzbolivia/docs/generacion-upsa-4/s/13662029#:~:text=A%20estos%20productores%20se%20los,\(500%20o%20m%C3%A1s%20hect%C3%A1reas\)](https://issuu.com/upsasantacruzbolivia/docs/generacion-upsa-4/s/13662029#:~:text=A%20estos%20productores%20se%20los,(500%20o%20m%C3%A1s%20hect%C3%A1reas)).

²⁷W.Pietsch. (1997). *Ampliacion de tamaño por aglomeracion, Size enlargement by agglomeration*. Engineering, materials science. Obtenido de Size .

²⁷W.Pietsch. (1997). *Size Enlargement by Agglomeration*. Handbook of Powder Science & Technology.

⁵Yacimientos de Litio Bolivianos. (11/01 de 2023 de 2023). *Agronews*. Obtenido de Agronews: <https://agronews.com.bo/mercado/insumos/1590-bolivia-exporto-en-2022-cloruro-de-potasio-y-carbonato-de-litio-por-55-millones-de-dolares>

- ²*Yacimientos de Litios Bolivianos* . (26 de Febrero de 2024). Obtenido de <https://www.ylb.gob.bo/node/9>
- ⁵YLB. (23 de Junio de 2023). *ylb.gob.bo*. Obtenido de <https://www.rumbominero.com/bolivia/ylb-ventas-de-litio-y-potasio-primer-semester/#:~:text=Seg%C3%BAAn%20el%20presidente%20de%20la,us%20280%20y%20%24us%20300.>
- ²⁶YPF. (s.f.). *Productos y servicios agro*. Obtenido de Productos y servicios agro.: <https://productos-y-servicios.ypf.com/documents/Descargas/CLORURO-DE-POTASIO.pdf>
- ²⁶YPF. (s.f.). *Productos y servicios agro*. Obtenido de Productos y servicios agro.: <https://productos-y-servicios.ypf.com/documents/Descargas/CLORURO-DE-POTASIO.pdf>
- ²¹Zhejiang Jiangnan . (s.f.). *Zhejiang Jiangnan*. Obtenido de Zhejiang Jiangnan: <http://pharmacy-machinery.cl/5f-mixer.html>
- ²¹Zhejiang Jiangnan . (s.f.). *Zhejiang Jiangnan Pharmaceutical Machinery Company Ltd.* . Obtenido de Zhejiang Jiangnan Pharmaceutical Machinery Company Ltd. : <http://pharmacy-machinery.cl/5f-mixer.html>
- ²¹zhejiang Jiangnan. (s.f.). *zhejiang Jiangnan Pharmaceutical Machinery Company Ltd.* . Obtenido de <http://pharmacy-machinery.cl/5f-mixer.html>

ANEXOS

ANEXO A: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO

Las características técnicas de la máquina granuladora de fertilizantes de cloruro de potasio, 300 kg/h.

Tabla A-4: Características técnicas

CARACTERÍSTICAS	VALOR	UNIDAD
Capacidad máxima de la maquina	300	kg/h
Potencia para el equipo	1.1	kW
Frecuencia de corriente	50	Hz
Potencia del motor eléctrico	1.5	kW
Diámetro del plato	1000	mm
Profundidad de plato	250	mm
Velocidad del motor eléctrico	1410	rpm
Velocidad crítica de operación del disco	27	rpm
Variador de frecuencia	220-380	v

Fuente: Elaboración a base de la Investigación

ANEXO B: PLANOS DE DISEÑO DEL EQUIPO

ANEXO C: COSTOS DE FABRICACIÓN

Tabla C-5: Costo de materiales

DESCRIPCION				TOTAL Bs	TOTAL \$
Materiales (materiales + costo a terceros):				10270	1473
Item	Precio unitario (Bs)	cantidad	Total Bs		
L 50x50x4 6 m	202	2.56 m	202		
R 30x50x2 6 m	122	15.27 m	366		
R 30x30x2 6 m	90	6.3 m	178		
Plancha de 1 mm 2x1	108	1	108		
Plancha de 3 mm 2x1	289	1	289		
SMAW E-6013 5 kg	151	10 kg	302		
Bomba de agua 800 l/h	110	1	110		
Caja tablero de control	700	1	700		
Motorreductor 2 Hp	8015	1	8015		
Total de materiales			10270Bs		
Costo indirecto de los materiales 11%				1130	162
Maquinaria y mano de obra				1000	143
Costo indirecto por maquinaria. Mano de obra 25%				250	36
Imprevistos 3%				380	55
Costos de ingeniería 10%				1303	187
Costo total de la máquina granuladora				14333 Bs	2056 \$

Fuente: Elaboración a base de la Investigación de materiales

ANEXO D: EVALUCIÓN ECONOMICA



Plato granulador

Modelo: ZL-1000
Diametro: 1.0m
Profundidad del plato: 250mm
Velocidad: 21r/min
Angulo del plato: 35°-50°
Potencia del motor: 1.5kw, equipa variador de frecuencia
Capacidad: 0.2-0.3 t/h
Tipo de acero: Q235, Acero al carbono

PRECIO TOTAL FOB QINGDAO: 4000 USD



Figura D-20: Granulador EMCC
Fuente: (EMCC, s.f.)¹⁷

 ZHENGZHOU SHUNXIN ENGINEERING EQUIPMENT CO., LTD. 郑州市顺鑫工程设备有限公司					
Website: www.sxfertilizermachine.com Whatsapp/Phone: +86 19838190237					
Quotation					
Phone: +86 19838190237			Email: hector@sxfertilizermachine.com		
Date: 1de marzo de 2024					
Item	Picture	Specification	Qty	Unit price(\$)	Factory Price(\$)
Disc granulator		1. Model: SXYZ-1000 2. Diameter of Disc: 1 m 3. Edge Height: 0.25 m 4. Rotary Speed: 21 r/min 5. Motor Power: 1.5 kw 6. Capacity :0.2-0.3 t/h 7. Reducer Model: XWD4-71-1.5 8. Dimensions: 1200*950*1300 mm	1	3900	3900
Factory price					3900

Figura D-21: Granulador de shunxin
Fuente: (China Shunxin, s.f.)⁴⁰

Tabla D-6: Comparación de costos con el mercado

Marca	Industria	Capacidad	Precios \$
EMCC	Chino	0.2-0.3 t/h	4000 \$
Zhengzhou	Chino	0.2-03 t/h	3900 \$
Equipo fabricado		0.2-0.3 t/h	2056 \$

Fuente: Elaboración a base de los datos de costo

ANEXO E: INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN

Uno de los objetivos es reducir al mínimo los paros ocasionados por averías repentinas o accidentes, evitar la degradación de los componentes que conforman la maquinaria con el fin de no obtener un producto defectuoso de baja calidad y que estos sean rechazados por los clientes. Para lograr este objetivo, se debe determinar el tiempo de mantenimiento a realizar.

La limpieza exterior e interior es fundamental para alargar la vida útil de cualquier maquinaria, de esto y otros factores depende el correcto funcionamiento e influye directamente en la producción de esta. Para el caso de gránulos, se debe realizar una inspección general de toda la máquina, esto se refiere a una limpieza externa de todos los elementos que comprenden la máquina.

Se debe limpiar frecuentemente el motor de las impurezas generadas y el polvo, se lo debe conectar específicamente al voltaje establecido por la placa del motor, limpiar los conectores y verificar que ingresen correctamente en las tomas de energía.

Por seguridad se recomienda una inspección diaria de toda la maquinaria para encontrar elementos dañados. Durante esta inspección si se identifica que la maquinaria no está realizando el trabajo correctamente, es señal que se deber ajustar el mecanismo o que algún elemento necesita alguna reparación, si se encuentra desperfectos en algunos elementos es recomendable reemplazarlos o repararlos inmediatamente. Al culminar con el proceso de granulación se debe realizar una limpieza general de la máquina y de todo el espacio utilizado para la máquina, verificando que se encuentren libres de grasa o residuos, ya que estos pueden ser los causantes en los desajustes de los mecanismos.

En general la máquina fabricada necesita un mantenimiento preventivo como mínimo cada tres (3) meses y tomando seis (6) meses como máximo para dicho mantenimiento, de esta manera se va a contar con una máquina sumamente buena, que cumpla con todas las características y parámetros para la granulación de KCl.

ANEXO F: PROPIEDADES DEL GRANULADO DE KCl

Tabla F-7: Propiedades del granulo de KCl

Información técnica (item)	Requerimiento
Humedad	0,5 %
Pureza KCl	95 %
Potasio K ₂ O	60,0 %
Cloruro	45 %
Angulo de reposo	37°
Porosidad	25 %
Índice de caída y abrasión	90 % + 6.3 mm
Distribución de tamaño	90 % 9-12 mm
Tamaño	Ø=4-20 mm

Fuente: (Apaza, 2019)³⁰

ANEXO G: MOTORREDUCTOR Y SUS RELACIONES

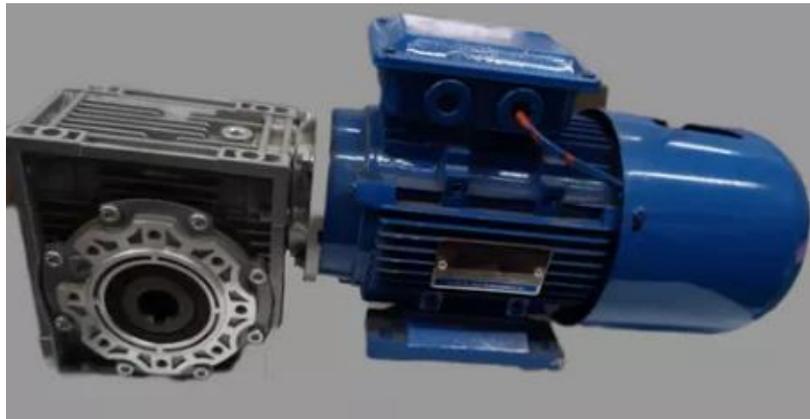


Figura F-22: Motorreductor Trifásico 2 hp 1.5 kW
Fuente: (Lentax, s.f.)³²

Tabla G-8: Relación del motorreductor de 2 hp, 1.5 kW

Potencia Entrada		Velocidad Salida aprox.	Relación	MODELO	Factor de Seguridad	Momento Util	Velocidad Entrada aprox.	Carga Radial adm.	Carga Axial adm.	Peso aprox.	Medidas	Repuestos	
KW	HP	(RPM)	(i)		(fz)	(Nm)	(RPM)	(kg)	(kg)	(kg)	Página	Página	
1,50 kW	2,00 HP	8,7	105,53	KL3	2,00 /6	2,10	1569	920	3000	1200	172	32-33	46
		11,1	82,61	KL3	2,00 /6	2,70	1228	920	3000	1200	172	32-33	46
		13,7	66,92	KL3	2,00 /6	3,35	995	920	3000	1200	172	32-33	46
		13,0	105,53	KL3	2,00	3,20	1024	1410	3000	1200	162	32-33	46
		8,1	173,40	KL2TR	2,00	0,95	1656	1410	1960	784	117	34-35	46
		9,8	144,34	KL2TR	2,00	1,15	1378	1410	1960	784	117	34-35	46
		11,5	122,25	KL2TR	2,00	1,35	1167	1410	1960	784	117	34-35	46
		13,4	104,90	KL2TR	2,00	1,60	1002	1410	1960	784	117	34-35	46
		15,5	90,91	KL2TR	2,00	1,85	868	1410	1960	784	117	34-35	46
		8,5	108,81	KL2	2,00 /6	1,05	1618	920	1960	784	112	32-33	46
		10,9	84,62	KL2	2,00 /6	1,35	1258	920	1960	784	112	32-33	46
		13,5	68,07	KL2	2,00 /6	1,65	1012	920	1960	784	112	32-33	46
		13,0	108,81	KL2	2,00	1,55	1056	1410	1960	784	102	32-33	46
		17,0	84,62	KL2	2,00	2,00	821	1410	1960	784	102	32-33	46
		21,0	68,07	KL2	2,00	2,50	660	1410	1960	784	102	32-33	46
		25,0	56,03	KL2	2,00	3,05	544	1410	1880	752	102	32-33	46
		27,0	53,11	KL2	2,00	3,20	515	1410	1880	752	102	32-33	46
		29,0	48,22	KL2	2,00	3,55	468	1410	1880	752	102	32-33	46
30,0	46,88	KL2	2,00	3,65	455	1410	1880	752	102	32-33	46		
33,0	42,72	KL2	2,00	4,00	414	1410	1880	752	102	32-33	46		

Fuente: (Lentax, 2018)³²

ANEXO H: CARACTERÍSTICAS DEL DOSIFICADOR



Figura H-23: Bomba de agua d1/2" 12vdc 5m 800l/h
Fuente: (Naylamp, s.f.)³⁶

- Voltaje de Operación: 5-12 v DC
- Corriente máxima: 350 mA
- Potencia: 19 W
- Caudal máximo: 800 L/h (13L/min)
- Columna de agua máxima: 5 m
- Conexión rosca: G1/2"
- Carcasa de plástico ABS negro
- Protección: IP68
- Ruido: <40 dB a 0.5 m
- Líquidos de trabajo: agua, aceite, gasolina
- Temperatura del fluido: 100°C máx.
- Dimension: 80*80*65 mm aprox.
- Peso: 220gr.

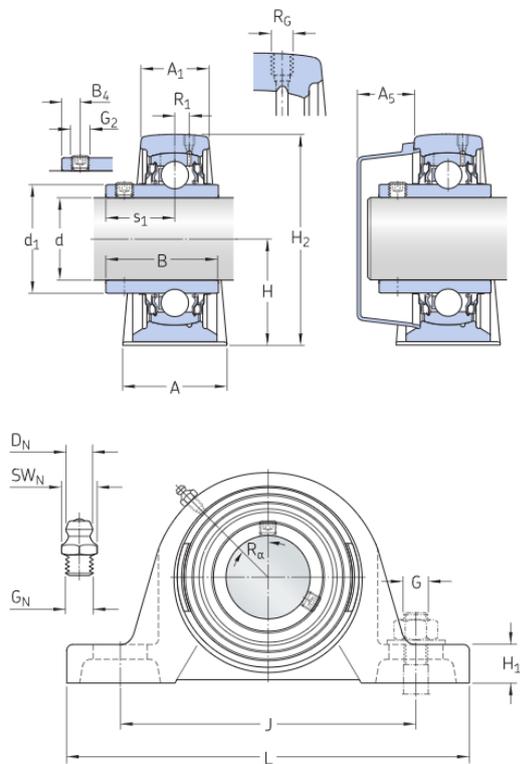
ANEXO I: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

- Modelo: GD350A-1R5G/2R2P-4
- Potencia: 1,5 kW ~ 2 HP del motor
- Voltaje: 220; 380 +/- 10,15%
- Profundidad de ajuste: 1:100
- Entrada digital: 8
- Frecuencia de entrada: 50 – 60 Hz fluctuación $\pm 5\%$
- Salida: 0 – 500 Hz / Salida trifásico
- Corriente de salida: 3.7/5 A
- Potenciómetro incluido
- Uso: Industrial



Figura I-24: Variador de frecuencia VFD GD350A-1R5G/2R2P-4
Fuente: (FMZ, s.f.)³⁷

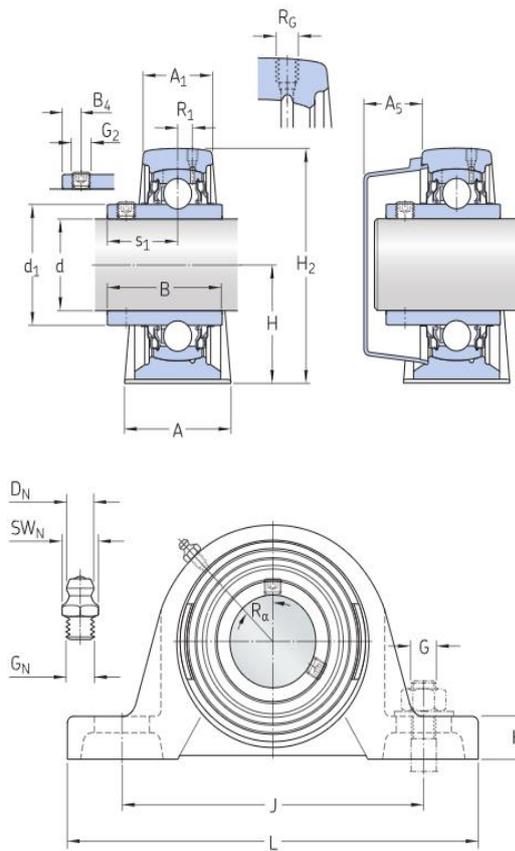
ANEXO J: CARACTERISTICAS SKF_SYK 50 TR Y CARACTERISTICAS SKF_SYK 40 T



Dimensiones

d	50 mm	Diámetro del agujero
d ₁	≈ 62.51 mm	Diámetro del resalte del aro interior
A	54 mm	Ancho de la base
A ₁	34 mm	Ancho superior
A ₅	33 mm	Parte que sobresale de la tapa lateral
B	51.6 mm	Ancho del aro interior
B ₄	9 mm	Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro de la rosca
H	57.2 mm	Altura del centro del asiento esférico
H ₁	22 mm	Altura del pie
H ₂	114 mm	Altura total
J	157 mm	Distancia entre los tornillos de fijación
J	max. 165 mm	Distancia entre los tornillos de fijación
J	min. 149 mm	Distancia entre los tornillos de fijación
L	203 mm	Longitud total
N	18 mm	Diámetro del agujero del tornillo de fijación
N ₁	26 mm	Longitud del agujero del tornillo de fijación
s ₁	32.6 mm	Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro del camino de rodadura

Figura J-25: Rodamiento de bolas SKF_SYK 50
Fuente: (skf, s.f.)⁴¹



Dimensiones

d	40 mm	Diámetro del agujero
d ₁	≈ 51.8 mm	Diámetro del resalte del aro interior
A	48 mm	Ancho de la base
A ₁	30 mm	Ancho superior
A ₅	26 mm	Parte que sobresale de la tapa lateral
B	49.2 mm	Ancho del aro interior
B ₄	8 mm	Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro de la rosca
H	49.2 mm	Altura del centro del asiento esférico
H ₁	19 mm	Altura del pie
H ₂	99 mm	Altura total
J	135.5 mm	Distancia entre los tornillos de fijación
J	max. 146 mm	Distancia entre los tornillos de fijación
J	min. 125 mm	Distancia entre los tornillos de fijación
L	175 mm	Longitud total
N	14 mm	Diámetro del agujero del tornillo de fijación
N ₁	24.5 mm	Longitud del agujero del tornillo de fijación
s ₁	30.2 mm	Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro del camino de rodadura

Figura J-26: Rodamiento de bolas SKF_SYK 40 TR.
Fuente: (skf, s.f.)⁴¹