

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Análisis de la Tecnología de Inmersión de Lingotes de Zinc en
Lecho de Zinc Fundido a 450°C para mitigar riesgos laborales en
operarios**

Para obtener el Título de Ingeniero Mecánico Electricista.

Elaborado por

Jhonal Jorge Espinoza Zorrilla

[0009-0005-5410-8863](tel:0009-0005-5410-8863)

Asesor

MSc. Edwin Asención Abregú Leandro

[0009-0009-8773-7083](tel:0009-0009-8773-7083)

LIMA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mis PADRES, a mi FAMILIA y a mis SERES QUERIDOS, aquellos que siempre estuvieron conmigo y me brindaron su apoyo incondicional y confianza, motivándome a alcanzar mis metas.

“Cuando te llamé, me respondiste; me infundiste ánimo y renovaste mis fuerzas”. Salmos 138:3 NVI

RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia selecciona una alternativa tecnológica para la operación de inmersión de lingotes de Zinc en *lecho de Zinc* fundido a 450°C, que mitiga el nivel de riesgo laboral en los operarios.

Como parte del análisis de las tecnologías de inmersión de lingotes de zinc, se revisó la norma técnica peruana NTP-ISO 1461 que presenta las técnicas de protección del acero frente a la corrosión aplicando el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, además de los valores de temperatura, volumen, nivel de zinc fundido y controles de seguridad del proceso. También se identifican todas las tareas que se generan para los operadores durante cada etapa del proceso de formación de recubrimiento de zinc en el acero.

Para identificar la alternativa tecnológica que más beneficios proporciona a nuestro proceso de galvanizado, se presentan algunas de las opciones implementadas en similares procesos productivos de diferentes sectores de la industria relacionado con la *tecnología 4.0*; además se utilizó una metodología para identificar los peligros de cada actividad y determinar el nivel de riesgo que los operadores enfrentan en la etapa de inmersión de lingotes de zinc.

El propósito de este trabajo de suficiencia es identificar la tecnología de inmersión de lingotes de zinc apropiada para esta etapa del proceso de galvanizado en caliente, con el fin de reducir la operación manual, que genera lesiones *ergonómicas* y representa un *riesgo laboral*. Estableciendo aspectos propios del diseño y la seguridad ocupacional para identificar la tecnología de *control de movimiento* con servomotores y mecanismos electroneumáticos; asimismo se modelo un *sistema de manipulación* con el software AUTODESK INVENTOR.

Posteriormente se analizó las estructuras en movimiento por el *Método de Elementos Finitos – MEF*, utilizando el software NASTRAN y también se dispuso del catálogo virtual “CYMEX@5” para la selección de componentes comerciales para el control de movimiento.

Finalmente, para evaluar la viabilidad del sistema manipulador de lingotes de zinc, se presentan los resultados obtenidos considerando los aspectos del diseño propuesto, de seguridad laboral y el análisis financiero; resultado de cuantificar la inversión económica a realizar frente a la reducción de los gastos operacionales presentados.

En conclusión, las tecnologías de inmersión de lingotes de zinc en lecho de zinc fundido a 450°C mitigan los *riesgos laborales* que los operadores enfrentan diariamente en esta actividad.

Palabras clave: *Lecho de Zinc, tecnología 4.0, ergonómicos, control de movimiento, sistemas de manipulación, método de elementos finitos – MEF y riesgos laborales.*

ABSTRACT

The present work of sufficiency selects a technological alternative for the operation of zinc ingot immersion in a 450°C molten *zinc bed*, which mitigates the level of occupational risk for the operators.

As part of the analysis of zinc ingot immersion technologies, the Peruvian technical standard NTP-ISO 1461 was reviewed, which presents the techniques for protecting steel against corrosion by applying the hot dip galvanising process, in addition to the values of temperature, volume, level of molten zinc and safety controls for the process. It also identifies all the tasks that are generated for the operators during each stage of the process of forming the zinc coating on the steel.

To identify the technological alternative that provides the most benefits to our galvanising process, some of the options implemented in similar production processes in different industry sectors related to *technology 4.0* are presented; in addition, a methodology was used to identify the hazards of each activity and determine the level of risk that operators face in the zinc ingot dipping stage.

The purpose of this sufficiency work is to identify the appropriate zinc ingot dipping technology for this stage of the hot dip galvanising process, in order to reduce manual operation, which generates *ergonomic* injuries and represents an *occupational hazard*. Establishing aspects of design and occupational safety to identify the *motion control* technology with servomotors and electro-pneumatic mechanisms; a handling system was also modelled with the AUTODESK INVENTOR software. Subsequently, the moving structures

were analysed by the *Finite Element Method - FEM*, using the NASTRAN software and the virtual catalogue "CYMEX@ 5" was also available for the selection of commercial components for *motion control*.

Finally, to evaluate the feasibility of the zinc ingot *handling system*, the results obtained are presented considering the aspects of the proposed design, occupational safety and financial analysis; the result of quantifying the economic investment to be made against the reduction of operational costs presented.

In conclusion, the technologies of zinc ingot immersion in a 450°C molten zinc bed mitigate the occupational risks that operators face daily in this activity.

Keywords: *Zinc bed, technology 4.0, ergonomics, motion control, handling systems, finite element method - FEM and occupational hazards.*

PRÓLOGO

El presente trabajo de suficiencia, tiene por objetivo analizar las tecnologías de inmersión de lingotes de zinc en lecho de zinc fundido a 450°C para mitigar los riesgos laborales en operarios; concluyendo con la propuesta de un sistema manipulador de lingotes de zinc y cuantificando la mejora en la productividad y rentabilidad del proceso de galvanizado en caliente.

Como introducción se presenta en el capítulo 1, la influencia de las tecnologías en los procesos de fundición y moldeo de zinc; así también como están ayudando a mejorar los procesos productivos. Además, se describió la problemática y se detallaron los principales riesgos a los cuales están expuestos los operadores cada vez que realizan la tarea de recarga de lingotes de zinc para el proceso de galvanizado en caliente.

El marco teórico y conceptual se presenta en el capítulo 2, donde se detalla de forma general el proceso de galvanizado en caliente y los beneficios que se obtienen para evitar la corrosión del acero; así también se presentan los sistemas de control de movimiento y los criterios que aplican a esta tecnología. Además, se consideró el enfoque que desarrolla el área de seguridad laboral, para analizar las actividades de inmersión de lingotes de zinc que representan un peligro y nivel de riesgo para el operador frente al lecho de zinc fundido a 450°C.

También se detalló el método de cálculo para el dimensionamiento de los principales elementos motrices y el uso de utilitarios para la selección de los componentes y un software

de modelamiento y análisis por elementos finitos a las estructuras propuestas, además de presentar los criterios que determinarían la viabilidad del análisis financiero.

Para el capítulo 3 se presenta la hipótesis referente al aporte de las tecnologías de inmersión de lingotes de zinc en la operación de galvanizado y como influyen en la mejora de la productividad; identificando como variable independiente el análisis de la tecnología de inmersión de lingotes de zinc y como variable dependiente la mitigación de riesgos laborales en operarios.

En el capítulo 4 se muestra la metodología de la investigación seguida para el presente trabajo de suficiencia, detallando en un cuadro comparativo los aspectos a considerar para identificar el modelo de investigación definido para la unidad de análisis de la empresa TUPEMESA.

El desarrollo de la investigación se presenta en el capítulo 5, iniciando con el análisis de las actividades diarias de los operadores durante el proceso de galvanizado en caliente, detallando las actividades durante la etapa de inmersión de lingotes de zinc, pasando a realizar un análisis de trabajo basado en el decreto supremo N°024-2019 EM, para identificar los peligros y cuantificar el nivel de riesgo presente; así como las medidas de control aplicadas para garantizar que los operadores puedan realizar esta actividad. Considerando los criterios para seleccionar la tecnología adecuada al proceso (Normativas DIN EN ISO 8373 y UNE EN 1050) se analiza y presentan los resultados considerando los controles de ingeniería necesarios para reducir los riesgos identificados.

Luego de identificar la tecnología; se procedió a realizar los cálculos justificativos para dimensionar los componentes motrices y estructurales del sistema manipulador propuesto, para la selección de los reductores, servomotores y actuadores se utiliza el software Cymex @ 5 y las estructuras propuestas serán modeladas en Autodesk Inventor, para realizar el análisis por elementos finitos FEM en Nastran. Para el análisis financiero de esta propuesta, se cuantifico el costo de la inversión total frente a los costos operacionales generados por lesiones ergonómicas, tiempo de ocupación del personal, tiempo de parada de proceso y seguros por accidentes laborales.

El análisis y discusión de los resultados corresponde al capítulo 6, presentando los criterios de análisis desarrollados para esta evaluación y se contrasto la viabilidad del modelo propuesto, según los resultados obtenidos en el capítulo anterior.

Finalmente, en las conclusiones se detallan los resultados del presente trabajo de suficiencia y los objetivos alcanzados, así también el impacto de esta implementación en la productividad del área de galvanizado en caliente.

INDICE

RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	v
PRÓLOGO.....	vii
INDICE	x
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
INDICE DE TABLAS	xvi
CAPITULO 1: INTRODUCCION	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Descripción de la Problemática de Investigación	7
1.2.1. Descripción Problemática	7
1.3. Objetivo.....	9
1.4. Antecedentes Investigativos.....	9
1.4.1. Antecedentes Internacionales.....	9
1.4.2. Antecedentes Nacionales	11
CAPITULO 2: MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL	13
2.1. Marco Teórico.....	13
2.1.1. Galvanizado en Caliente	14
a) Concepto de Galvanizado	14
b) Beneficio del Galvanizado	15
c) Proceso de Galvanizado	15
2.1.2. Tecnologías Alternativas Operacionales.....	20
a) Sistemas de control de movimiento	20
b) Criterios para aplicar en los sistemas de control de movimiento	

2.1.3.	Enfoque de Seguridad Industrial.....	22
2.1.4.	Análisis de componentes principales.	28
a)	Análisis por Resistencia de materiales en Vigas.....	28
b)	Análisis por Elementos Finitos	30
c)	Tornillos de Potencia	32
d)	Dimensionamiento y selección para un reductor.	40
2.1.5.	Análisis de la inversión económica.....	47
2.2.	Marco Conceptual.....	49
CAPITULO 3: HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES		50
3.1.	Hipótesis	50
3.2.	Operacionalización de Variables	50
3.2.1.	Variables e Indicadores.....	50
CAPITULO 4: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION		51
4.1.	Tipo y diseño de la Investigación	51
4.2.	Unidad de Análisis.....	53
4.3.	Matriz de Consistencia.....	54
CAPITULO 5: DESARROLLO DE LA INVESTIGACION		55
5.1.	Inmersión de lingotes de zinc.	56
5.2.	Análisis de los controles necesarios para mitigar el riesgo.....	60
5.3.	Cálculo y selección de componentes motrices.....	66
5.3.1.	Cálculos para dimensionar los componentes del eje vertical...	67
5.3.2.	Lista de componentes motrices.	101
5.4.	Análisis del perfil estructural.	102
5.5.	Evaluación de la inversión.	106
5.5.1.	Cuantificación de la inversión.	106

5.5.2.	Cuantificación de los beneficios.	108
5.5.3.	Elaboración del flujo de caja neto.....	110
5.5.4.	Resultado de los análisis financieros.	111
CAPITULO 6: ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS		112
6.1.	Presentación de los resultados.	112
6.2.	Análisis de los resultados.....	114
6.2.1.	Resultado de la evaluación de las tecnologías de inmersión.	114
6.2.2.	Resultado de la evaluación dimensional de los componentes motrices.	115
6.2.3.	Resultado del análisis del perfil estructural.	115
6.2.4.	Resultado del análisis financiero.	116
CONCLUSIONES		117
RECOMENDACIONES.....		119
BIBLIOGRAFIA		121
ANEXOS		124

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 – <i>Transporte de Lingotes de Zinc</i>	1
Fig. 1.2 - <i>Etapas de apilamiento de Lingotes de Zinc</i>	2
Fig. 1.3 – <i>Carga y despacho de Lingotes de Zinc</i>	2
Fig. 1.4 – <i>Instalaciones anuales de robots industriales</i>	4
Fig. 1.5 – <i>Proceso sistémico para mejorar las condiciones de seguridad</i>	5
Fig. 1.6 – <i>Reporte de accidentes según la forma del accidente</i>	6
Fig. 1.7 – <i>Reporte de accidentes por actividad económica</i>	6
Fig. 1.8 – <i>Inmersión de lingotes de zinc en lecho de zinc fundido a 450°C</i>	8
Fig. 2.1 – <i>Tabla de potencial de los metales</i>	14
Fig. 2.2 – <i>Flujo del Proceso de Galvanizado en Caliente</i>	16
Fig. 2.3 – <i>Recubrimiento de piezas de acero con Zn - ASTM A 153</i>	19
Fig. 2.4 – <i>Plataforma para selección de sistemas servocontrolados</i>	20
Fig. 2.5 – <i>Principales componentes para control de movimiento</i>	21
Fig. 2.6 – <i>Modelo de aplicación de una viga empotrada</i>	28
Fig. 2.7 – <i>Fuerzas, momentos, giros y desplazamientos de una viga con dos nodos</i>	31
Fig. 2.8 – <i>Representación Fuerzas en un tornillo de potencia</i>	32
Fig. 2.9 – <i>Modelos de Tornillos de Potencia</i>	33
Fig. 2.10 – <i>Perfil de velocidad</i>	34
Fig. 2.11 – <i>Relación de tensión crítica frente a la esbeltez</i>	37
Fig. 2.12 – <i>Factor de corrección de altura, frente al tipo de anclaje</i>	38
Fig. 2.13 – <i>Momentos de Inercia para secciones transversales</i>	39
Fig. 2.14 – <i>Cuadro característico para seleccionar un reductor</i>	41
Fig. 2.15 – <i>Factor de corrección x temperatura y tiempos de vida promedio</i>	43
Fig. 2.16 – <i>Esquema de acción y reacción – Motor, reductor y receptor</i>	45

Fig. 4.1 – Ubicación de Unidad de Análisis.	53
Fig. 5.1 – <i>Perfil Estructural tipo I</i>	56
Fig. 5.2 – <i>Preparación de la Tina o baño de Zinc a 450°C</i>	58
Fig. 5.3 – <i>Tarea operacional. Inmersión de lingotes de zinc en lecho de zinc a 450°C</i>	60
Fig. 5.4 – <i>Ubicación de componentes frente a diseño propuesto</i>	66
Fig. 5.5 – <i>Sistema de control de movimiento vertical</i>	67
Fig. 5.6 – <i>Perfil roscado Trapezoidal ISO</i>	69
Fig. 5.7 – <i>Perfil roscado seleccionado</i>	73
Fig. 5.8 – <i>Perfil de velocidad de la carga en el tornillo de potencia</i>	74
Fig. 5.9 – <i>Componentes motrices para tornillo de potencia (M1)</i>	81
Fig. 5.10 – <i>Datos característicos del reductor para M1</i>	81
Fig. 5.11 – <i>Perfil de velocidad de la primera articulación abisagrada (M2)</i>	83
Fig. 5.12 – <i>Componentes motrices para el actuador (M2)</i>	87
Fig. 5.13 – <i>Datos característicos para el actuador M2</i>	87
Fig. 5.14 – <i>Perfil de velocidad de la segunda articulación abisagrada (M3)</i>	89
Fig. 5.15 – <i>Componentes motrices para el actuador (M3)</i>	93
Fig. 5.16 – <i>Datos característicos para el actuador M3</i>	93
Fig. 5.17 – <i>Perfil de velocidad del actuador posicionador (M4)</i>	95
Fig. 5.18 – <i>Componentes motrices para el actuador (M4)</i>	99
Fig. 5.19 – <i>Datos característicos para el actuador M4</i>	99
Fig. 5.20 – <i>Diagrama de cargas presentes en sistema manipulador</i>	102
Fig. 5.21 – <i>Resultados obtenidos para el factor de seguridad</i>	103
Fig. 5.22 – <i>Resultados obtenidos para el desplazamiento</i>	104
Fig. 5.23 – <i>Resultados obtenidos para los esfuerzos máximos</i>	105
Fig. 6.1 – <i>Resultados de los sistemas evaluados</i>	114

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 – <i>Determinación del Nivel de Riesgo.</i>	22
Tabla 2.2 – Criterio para determinar el nivel de probabilidad.....	23
Tabla 2.3 – Criterio para determinar el nivel de severidad.....	24
Tabla 2.4 – Matriz de Evaluación de Riesgo.	25
Tabla 2.5 – Tipos de Control.	25
Tabla 2.6 – <i>Modelo de análisis de trabajo, frente al riesgo presente y los controles establecidos.</i>	27
Tabla 2.7 – Ecuaciones para determinar los momentos de inercia de masa.	44
Tabla 2.8 – Teorema de Steiner.	45
Tabla 3.1 – <i>Indicadores de la Variable Independiente.</i>	50
Tabla 4.1 – <i>Cuadro comparativo, para definir modelo cuantitativo o cualitativo.</i>	51
Tabla 4.2 – <i>Matriz de consistencia.</i>	54
Tabla 5.1 – <i>Análisis de trabajo.</i>	59
Tabla 5.2 – <i>Análisis de la primera alternativa de control.</i>	62
Tabla 5.3 – <i>Análisis de la segunda alternativa de control.</i>	63
Tabla 5.4 – <i>Análisis de la tercera alternativa de control.</i>	64
Tabla 5.5 – <i>Análisis de la cuarta alternativa de control.</i>	65
Tabla 5.6 – <i>Torques a considerar para el reductor del motor M1.</i>	79
Tabla 5.7 – <i>Torques a considerar para el reductor del motor M1.</i>	82
Tabla 5.8 – <i>Torques a considerar para el actuador M2.</i>	86
Tabla 5.9 – <i>Torques a considerar para el actuador M2.</i>	88
Tabla 5.10 – <i>Torques a considerar para el actuador M3.</i>	92
Tabla 5.11 – <i>Torques a considerar para el actuador M3.</i>	94
Tabla 5.12 – <i>Torques a considerar para el actuador M4.</i>	98

Tabla 5.13 – <i>Torques a considerar para el actuador M4.</i>	100
Tabla 5.14 – <i>Tabla resumen de equipos motrices.</i>	101
Tabla 5.15 – <i>Valores calculados en Nastran.</i>	105
Tabla 5.16 – <i>Detalles de la inversión.</i>	107
Tabla 5.17 – <i>Detalles de los costos relacionado en la productividad.</i>	108
Tabla 5.18 – <i>Costos por atención de accidentes leves y/o irreversibles.</i>	109
Tabla 5.19 – <i>Flujo de Caja neto anual para el proyecto de mejora de ingeniería.</i>	110
Tabla 5.20 – <i>Análisis Financiero.</i>	111

CAPITULO 1: INTRODUCCION

1.1. Generalidades

La incorporación de las tecnologías para la manipulación de cargas en el sector industrial, permite a las empresas mejorar su rendimiento en la ejecución de las tareas dentro de los procesos productivos. Además; libera a muchos trabajadores de la exposición a problemas ergonómicos y de estrés laboral, ocasionado por la actividad realizada y el medio en donde se realiza la tarea.

En la **Fig. 1.1**, se presenta un sistema para transporte de zinc a 450 °C (liquido) sobre moldes para obtener lingotes de zinc a temperatura ambiente (solido); durante esta etapa del proceso requiere que se retire el dross de zinc, aglomerado en la superficie del molde formador del lingotes antes de cambiar de fase líquida a sólida, utilizando para esta actividad un sistema de limpieza con movimiento controlado, cuya fuerza motriz es a través de servo motores con encoder's y servo drive controlados por un sistema lógico programable, con sistema de bloqueo y seguridad para el entorno.

Fig. 1.1 – *Transporte de Lingotes de Zinc.*



Fuente: Adaptado del video *Fundición de Zinc* (Loja Herrera, 2013)

Para la **Fig. 1.2**, se identifica un sistema paletizador de lingotes de zinc (cada lingote pesa 26 kg) que se ordena en diez niveles de cuatro lingotes cada uno, con una distribución

distinta en cada nivel, para formar un paquete de cuarenta lingotes con un peso total promedio de 1040 kg de zinc que será posteriormente amarrado con zunchos y apilado en el patio de maniobras para su despacho. Este proceso demanda una precisión y control de posición para cada lingote apilado en el paquete formado.

Fig. 1.2 - *Etapa de apilamiento de Lingotes de Zinc.*



Fuente: Adaptado del video *Fusión y Moldeo de zinc* (Valdiviezo, 2019)

Para la **Fig. 1.3**, se muestran los paquetes de lingotes de zinc, listo para ser despachados con el uso de montacargas y/o paletizadoras a la zona de almacenamiento y/o traslados.

Fig. 1.3 – *Carga y despacho de Lingotes de Zinc.*



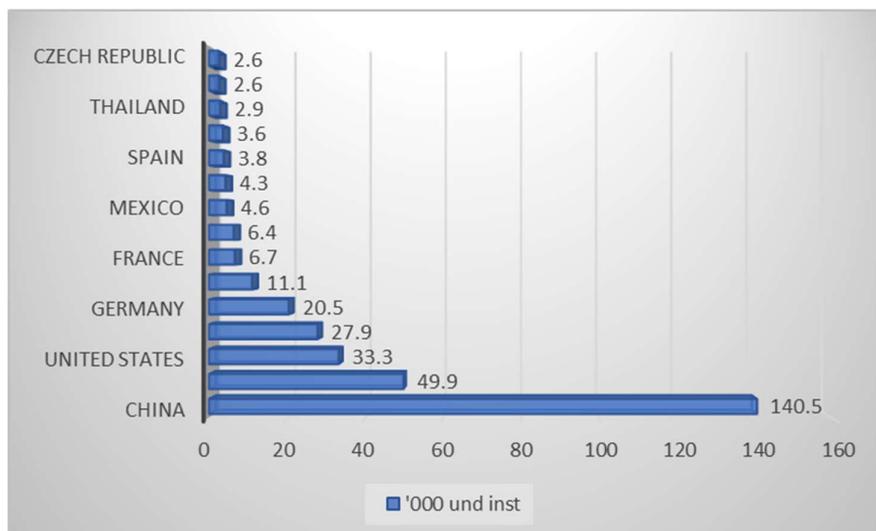
Fuente: Adaptado del video *Fusión y Moldeo de zinc* (Valdiviezo, 2019)

Estos sistemas de manipulación servo controlada eliminan la exposición de los operadores a tareas y condiciones que atentan contra la integridad física y la salud de cada colaborador. Algunos de los peligros son: temperatura, contaminación sonora, gases contaminantes, arco eléctrico, mecanismos en movimiento, espacios confinados, cargas suspendidas y trabajos en altura y a desnivel.

(Tejada Alvarez, 2017), detallo en su tesis “las necesidades logísticas planteadas por la globalización de mercados, requiere que los procesos al igual que los productos y servicios que conforman y fluyen a lo largo de la cadena de abastecimiento se comporten con los más altos estándares demandando sencillez y agilidad, reduciendo costos operacionales”; dicho de otra manera, las tecnologías con sistemas mecánicos de manipulación de cargas representan una alternativa que elimina los problemas operacionales en las cadenas de abastecimiento.

De acuerdo con la World Robotics Report 2020, la densidad promedio de robots en la industria manufacturera alcanzo el récord global de 113 unidades por cada 10,000 trabajadores. (Morales Estay, 2021); Morales E. Pablo, autor de este journal enfatiza que China es el principal desarrollador de la tecnología para la industria 4.0 (Véase **Fig. 1.4**) y que el interés por esta tecnología sigue en incremento, debido a que siempre se busca optimizar los procesos industriales en todos los sectores y regiones del mundo.

Fig. 1.4 – Instalaciones anuales de robots industriales.

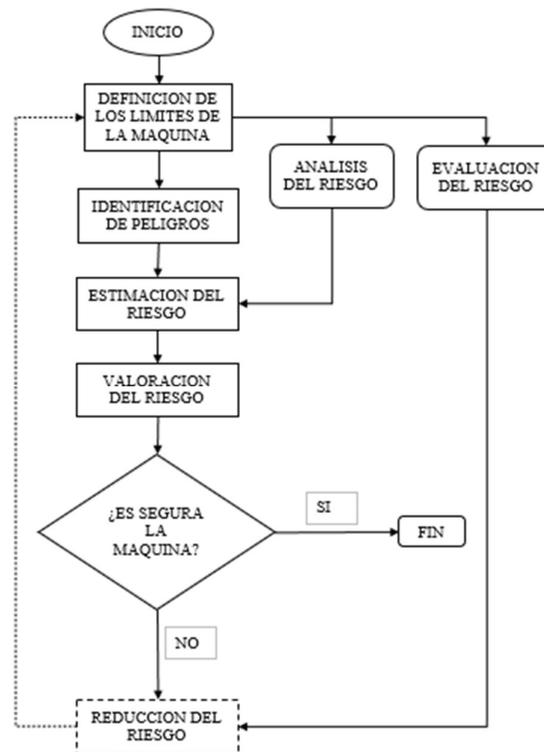


Fuente: Participación de los robots en los procesos industriales (Morales Estay, 2021)

Sin embargo; no todas las actividades dentro de un proceso productivo pueden justificar la inversión de un sistema manipulador de movimiento controlado. Debido a esto, los operadores continuarían realizando tareas frecuentes; que según la complejidad del proceso demandaría mayor entrenamiento y análisis para identificar los peligros que podrían ocasionarles lesiones crónicas y/o irreversibles.

En consecuencia, después de identificado el peligro, se tiene que evaluar la probabilidad de que ocurra un daño y/o lesión física, además determinar el nivel de severidad en caso ocurra la lesión. Esta serie de pasos permite valorar el riesgo presente y con esto dictaminar sobre la seguridad de una máquina o sistema en operación; en la **Fig. 1.5** se visualiza el diagrama de flujo obtenido según la Norma Europea UNE-EN1050:1997 Principios para la evaluación de riesgos.

Fig. 1.5 – *Proceso sistémico para mejorar las condiciones de seguridad.*



Fuente: UNE EN1050:1997 (Comite Tecnico AEN/CTN 81, 1997)

Las empresas facilitan a los operadores todos los equipos de protección personal e implementan sistemas de seguridad, para garantizar la salud ocupacional de cada trabajador; sin embargo, solo en el mes de diciembre del 2021 se reportaron 2639 accidentes registrados por el ministerio de trabajo y promoción del empleo. En la **Fig. 1.6** podemos identificar que los accidentes por esfuerzos físicos o falsos movimientos representan el 11.86% del total.

Fig. 1.6 – Reporte de accidentes según la forma del accidente.



Fuente: Reporte de accidentes a diciembre 2021 MTPE. (Empleo, 2021)

Así también considerando la actividad económica que se realiza, se registraron 527 accidentes en la industria manufacturera; en la **Fig. 1.7** encontramos que representan el 19.97% del total reportado en el mes de diciembre 2021.

Fig. 1.7 – Reporte de accidentes por actividad económica.



Fuente: Reporte de accidentes a diciembre 2021 MTPE. (Empleo, 2021)

Considerando lo reportado por el ministerio del trabajo y promoción del empleo en las **Fig. 1.6** y **Fig. 1.7**, es necesario una metodología que analice y defina que equipos y/o herramientas brindan la facilidad y comodidad frente a las actividades que deben realizar los operadores y además permitan generar una cultura de seguridad y cuidado para el trabajo diario que realizan; logrando establecer una dinámica de mejora continua en los procesos operacionales de la compañía.

1.2. Descripción de la Problemática de Investigación

1.2.1. Descripción Problemática

(Rantanen, 1995) indica “así la salud ocupacional y el bienestar de la fuerza laboral es el pre requisito más crucial para la productividad, constituyendo el factor más importante inclusive en el aspecto socioeconómico y en el desarrollo sostenible”. Por lo expuesto, se debe analizar que tecnología reducirá el nivel de riesgo al que están expuestos los operarios, cada vez que realizan la tarea de inmersión de lingotes de zinc en lecho de zinc fundido a 450°C para el proceso de galvanizado en caliente.

El proceso de galvanizado por inmersión en caliente, requiere que el nivel interior de zinc dentro del lecho de zinc fundido a 450°C sea constante y/o permita el recubrimiento integro de la o las piezas a galvanizar y también clasifica como recubrimiento bajo cuando se forma el espesor de 7 - 42 μm (UNE EN ISO 10346) o como recubrimiento alto cuando se forma un espesor de 45 – 200 μm (UNE EN ISO 1461); debido a esto el operador realiza la inmersión de lingotes de zinc de forma frecuente para mantener el nivel de zinc fundido dentro del rango necesario. Considerando que cada paquete de lingotes de zinc tiene un peso promedio de 1040 kg y que contiene 40 lingotes de 26 kg cada uno; cada vez que se requiere realizar la recarga de zinc al proceso de galvanizado por inmersión en caliente, el operador tiene que

detener el proceso en esta etapa y recurrir al apoyo de dos colaboradores y el montacarguista para realizar la tarea de inmersión de cada lingote hasta llegar al nivel necesario para continuar con el proceso de galvanizado en caliente.

En la **Fig. 1.8**, se presenta la actividad de inmersión de lingotes de zinc, realizada por los colaboradores de área y en coordinación con el operador del proceso de galvanizado en caliente de la empresa TUPEMESA; estas actividades representan una exposición constante a los peligros presentes en esta etapa:

- ✓ Caída a desnivel, metal líquido a 450°C - posición (A) y (B).
- ✓ Lesiones ergonómicas en el operador, por mala posición - posición (A) y (B).
- ✓ Intoxicación en los operadores, presencia de óxido de zinc - posición (C).
- ✓ Exposición a metal líquido - posiciones (A), (B) y (C).
- ✓ Exposición a superficies calientes - posición (A) y (B).

Fig. 1.8 – *Inmersión de lingotes de zinc en lecho de zinc fundido a 450°C.*



Fuente: Proceso de galvanizado en caliente (Bengolea Rodriguez, 2017)

Después de realizar el análisis de las tecnologías de inmersión de lingotes de zinc, se tiene que identificar y cuantificar el monto para esta inversión. Así también se tiene que cuantificar el aporte a la mejora operacional, direccionando a los colaboradores de área a otras actividades y reduciendo los tiempos de parada de proceso por recarga de lingotes de zinc; consiguiendo así proyectar la rentabilidad de esta implementación a corto plazo e inculcando una cultura de mejora continua con enfoque en la seguridad laboral a los operadores de la empresa TUPEMESA.

1.3. Objetivo

Analizar la tecnología de inmersión de lingotes de zinc en lecho de zinc fundido a 450°C para mitigar riesgos laborales en operarios.

1.4. Antecedentes Investigativos

1.4.1. Antecedentes Internacionales

Dentro de los antecedentes internacionales, se tiene:

(Tejada Alvarez, 2017), “**Diseño e implementación de un sistema mecánico de levantamiento de carga y descarga en el área de distribución de la empresa Moderna Alimento SA**”. Tejada, en base al análisis de factores externos como ruido, temperatura, humedad, intercambios de aire, etc., propuso la reducción de riesgos ergonómicos, recomendó ajustar dichos factores a leyes de leyes laborales/ambientales. Implementó una matriz de riesgos ergonómicos, estableciendo las acciones subestándar presentes, elaboró un formato encuesta para registrar la apreciación del operador antes y después de lo implementado en el sistema de manipulación de carga de 23 kg y logro reducir las molestias del sistema óseo. Analizó fotos y evaluó las condiciones y mejoras propuestas indicadas. Concluyendo que el trabajo tubo impacto mediante un sistema biomédico orientado en la fuente del factor de riesgo.

(Etxeberria San Martin & Benito Amurrio, 2020), **“Diseño de un manipulador de carga ingrávido para llantas y la elaboración del expediente técnico de construcción”**.

Etxeberria, describe las etapas del diseño para la elaboración de un manipulador ingrávido para llantas. Dividiendo su trabajo en cuatro fases, fijación de los objetivos iniciales, criterio de diseño, desarrollo tridimensional y ensayos de componentes. Siendo la primera fase la etapa en que se tienen que definir con claridad los objetivos del proyecto, los cuales utilizaran los lineamientos establecidos en la normativa correspondiente. Para el desarrollo de la investigación Etxeberria, utilizó algunos componentes comerciales, disponibles localmente. El desarrollo del prototipo virtual 3D lo elaboró con el programa SolidWorks, con el que también se analizó los componentes más críticos. Concluyendo que, para lograr garantizar el agarre de la carga, se debe de utilizar tres puntos de fijación alrededor de la llanta.

(Serrano Chafra, 2020), **“Elaboración de un plan de seguridad para prevenir los riesgos laborales aplicado a las áreas críticas de un taller de mantenimiento”**. El objetivo de la investigación de Serrano, es la implementación de un plan de seguridad laboral para prevenir los riesgos laborales presentes en el taller San Juan, utilizando una herramienta de gestión de seguridad y salud ocupacional – Matriz IPER. Para reducir el índice de accidentes, elaboró un reglamento interno de seguridad en prevención de riesgos. Además, capacitó a los trabajadores con medidas de prevención basados en los riesgos detectados y cuantificando, comparó los costos de implementación de mejoras con las penalidades que representan estos incumplimientos legales ante el ministerio del trabajo (MDT) obteniendo una relación de costo beneficio mayor a 1, determinando la viabilidad de la propuesta.

1.4.2. Antecedentes Nacionales

Dentro de los antecedentes nacionales, se tiene:

(Bengolea Rodriguez, 2017), “**Estudio de factibilidad para la ampliación de la capacidad productiva de planta de galvanizado en caliente**”. Bengolea, analiza el proceso operativo de la empresa metalmecánica Galva SAC cuya principal actividad es el galvanizado por inmersión en caliente. Prioriza el entorno económico del mercado con respecto a la oferta y demanda. Evidenciando la factibilidad de implementar una nueva planta en Lurín con una mayor capacidad de producción con equipos de última generación y un equipo organizacional más funcional.

(Estrella Mucha, 2020), “**Influencia del sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional en la productividad de la planta concentradora - Castrovirreyna**”. Estrella, estructura su investigación considerando que la primera etapa consiste en identificar y determinar el problema, la justificación y limitación de las investigaciones. En la segunda etapa incluyó el marco teórico, fundamentando la investigación, la implementación del sistema integrado de gestión de seguridad, salud ocupacional, toda la terminología, criterios y operaciones que conlleva el proceso metalúrgico. En la tercera etapa de la investigación, Estrella presenta la metodología y técnica de investigación, definiendo su conformación y proceso principal de la técnica de investigación para aplicar el proyecto de sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional en Castrovirreyna (SGSSO CASTROVIRREYNA). Culminando la investigación con los resultados y discusiones, explicando los beneficios alcanzados por la aplicación de las herramientas de gestión de seguridad.

(Calle Ore & Vargas Zuni, 2021), “**Diseño automático de estacionamiento vertical rotativo con capacidad para 10 vehículos SUV utilizando energía solar para el sistema de**

control, ubicado en la ciudad de Arequipa”. Los autores, con el objetivo de abastecer la demanda de estacionamientos para el parque automotor de las principales ciudades del país, diseñan un sistema de estacionamiento vertical rotativo automatizado para reducir espacios de parque automotor, mejorando la forma tradicional de parqueo. Minimizando el uso de energía eléctrica en el sistema de control, utilizando paneles solares, contando con un sistema de alarma visual para facilitar el ingreso al usuario para estacionarse en el parqueo.

Demostrando así que un estacionamiento vertical no solo atiende una problemática circunstancial en la sociedad moderna, sino también permite ser más eficientes en el uso de los metros cuadrados y brinda la seguridad y tranquilidad que cada conductor necesita para estacionar su vehículo.

CAPITULO 2: MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

2.1. Marco Teórico

(Bengolea Rodriguez, 2017) indico que “Las organizaciones productivas presentan modelos de dirección que están caracterizados por la influencia de la innovación tecnológica y el recurso humano, que ha dejado de entenderse como un gasto o costo para ser considerado como una inversión” (p.17); también, (Estrella Mucha, 2020) mencionó “Aplicar el sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional en la productividad, garantiza una comunicación efectiva entre supervisores y trabajadores, basados en el comportamiento seguro y las metas productivas de la planta” (p.10).

Por lo expuesto, se considera que el aporte de la tecnología a la mejora de los procesos operacionales, garantiza la mejora al proceso operativo y la eliminación de condiciones que generan riesgo a los operadores.

Teniendo como propósito identificar y dimensionar la tecnología apropiada para la inmersión de lingotes de zinc en lecho de zinc fundido a 450°C, y así mitigar los riesgos laborales en los operadores, discutiremos los siguientes temas.

- ✓ Galvanizado en caliente; conceptos, beneficios y el desarrollo del proceso.
- ✓ Tecnologías alternativas operacionales; sistemas de control de movimiento y criterios para aplicar sistemas de control de movimientos.
- ✓ Enfoque de seguridad industrial; peligro, riesgo laboral, matriz de evaluación de riesgo, condición sub estándar, acto sub estándar y análisis de trabajo.
- ✓ Análisis de componentes principales; análisis estructural por resistencia de materiales, método de elementos finitos, selección del tornillo de potencia y dimensionamiento de un reductor.
- ✓ Análisis de la inversión; métodos financieros (TRC, VAN y TIR).

2.1.1. Galvanizado en Caliente

a) Concepto de Galvanizado

Proceso en el que se reduce el acelerado impacto de la corrosión en los metales. Las aleaciones ferrosas, siempre están expuestas a condiciones de temperatura, humedad y según el nivel de salinidad del medio donde se encuentren seleccionamos un tipo de protección frente a la corrosión.

La corrosión del acero o metal ferroso, es debido a la pérdida de electrones del Fe^{++} ; la protección galvánica total es un mecanismo electroquímico que permite sustituir la pérdida de electrones Fe^{++} , por la de Zn^{++} siendo este un metal de sacrificio. En la **Fig. 2.1**, se presenta el potencial de electrodo de algunos metales, muchas veces denominada la escala de NERNST.

Fig. 2.1 – Tabla de potencial de los metales.

Metal	Ion	Potencial de electrodo [Voltios]	
Oro	Au+	1.079	9
Platino	Pt++	0.863	3
Plata	Ag+	0.771	1
Mercurio	Hg++	0.75	5
Cobre	Cu++	0.329	9
Hidrogeno (H2)	H+	0	
Plomo	Pb++	-0.148	4
Estaño	Sn+	-0.192	9
Niquel	Ni++	-0.228	22
Hierro	Fe++	-0.44	3
Zinc	Zn++	-0.77	-0.7
Aluminio	Al+++	-1.28	-1.2
Magnesio	Mg++	-1.49	-1.4

Fuente: Escala de Nernst (American Galvanizers Association, 2015)

Para explicar este principio de protección catódica, consideramos el potencial de electrodo de $Fe^{++} = -0.44V$ y para el $Zn^{++} = -0.77V$. Calculando la diferencia de potencial

entre ambos electrodos $[Fe^{++}] - [Zn^{++}] = -0.44 - (-0.77) = +0.33V$. Esto quiere decir que ahora el Zn^{++} , será quien sufra el ataque de la corrosión del medio.

Por su bajo nivel de potencial del electrodo, el zinc [Zn], el magnesio [Mg] y el aluminio [Al] juegan un papel muy importante en determinadas aplicaciones industriales y productos químicos. Siendo una de sus principales funciones proteger al acero frente a la corrosión y garantizar durabilidad sin alterar sus propiedades mecánicas.

b) Beneficio del Galvanizado

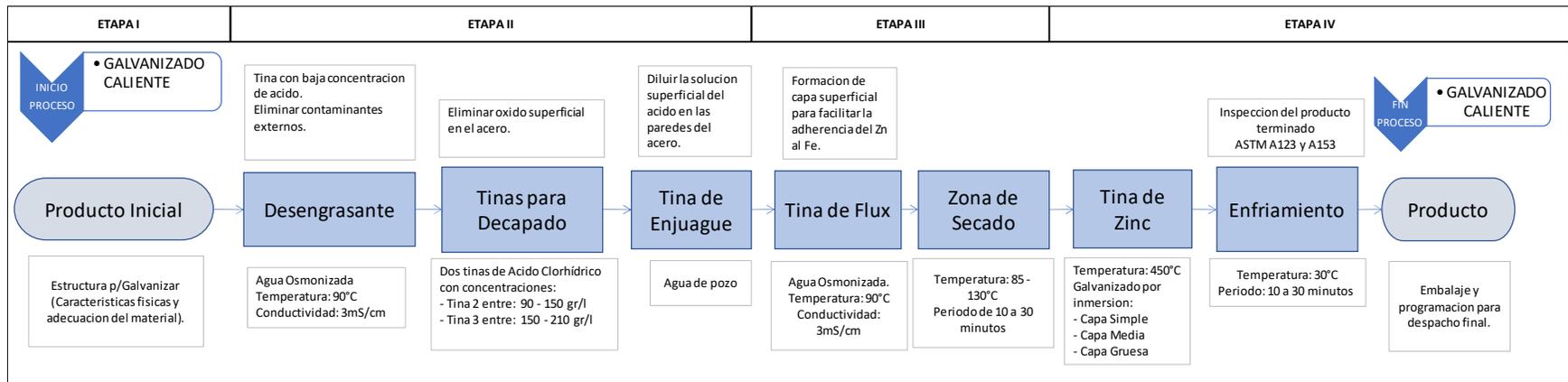
El periodo de vida útil de los productos de acero galvanizados, se encuentra entre los 50 a 100 años (American Galvanizers Association, 2015) siendo este tiempo útil el principal beneficio. Sin embargo, si no se controla el tiempo de inmersión y se brinda el adecuado pretratamiento al acero; no se podrá garantizar periodos superiores a los 10 años, sin presentar niveles de corrosión.

Debido a que el proceso de galvanización en caliente es por inmersión de la pieza de acero en liquido a 450°C de Zinc, permite tener una gran versatilidad de aplicaciones para galvanizar, teniendo que controlar el tiempo de inmersión, las dimensiones y forma de la pieza a sumergir, estos controles evitara formar y/o impactar en el espesor a formar y/o las coladas que podrían generarse por el ingreso de aire en la inmersión.

c) Proceso de Galvanizado

Para garantizar la adherencia del zinc a las paredes superficiales de una pieza de acero, se debe de seguir un proceso de tratamiento previo a la inmersión en el lecho de zinc fundido a 450°C. Estas etapas están detalladas en la **Fig. 2.2** indicando el objetivo de cada punto de inmersión, el nivel de concentración de acides, la temperatura, calidad de agua, tiempo de inmersión y la inspección final del producto terminado; siendo estas las variables a monitorear por parte del operador para garantizar el tratamiento a la pieza de acero.

Fig. 2.2 – Flujo del Proceso de Galvanizado en Caliente.



Fuente: Proceso *Galvanizado en Caliente* (American Galvanizers Association, 2015)

Etapa Inicial – (Fig. 2.2)

Consideraciones Físicas; los factores que se consideran en una pieza de acero a galvanizar, están sujetos al tipo de acero, dimensiones físicas, la forma de inmersión en el lecho de Zinc fundido a 450°C y el espesor de la capa superficial de aleación esperado.

Para los elementos de acero que requieren recubrimiento interior y exterior, según su forma deberán de tener perforaciones para garantizar el flujo de Zinc en todos sus extremos.

Amarre y Colgado; para garantizar el traslado de cada componente metálico desde el inicio de este proceso hasta el final, se tiene que suspender y/o colgar buscando posicionar cada pieza metálica en el ángulo que la geometría lo permita para evitar las aglomeraciones y/o facilitar el escurrido en cada etapa posterior del proceso de galvanizado.

Segunda Etapa - (Fig. 2.2)

Limpieza y/o desengrasado; una importante actividad en esta etapa, es garantizar la limpieza uniforme de toda la superficie de la pieza a galvanizar, para esto se dispone de una tina de inmersión en un desengrasante para eliminar contaminantes orgánicos y/o polvo y/u otro residuo adherido a la superficie a tratar. Este proceso puede tardar alrededor de 10 a 30 minutos, dependiendo del nivel de contaminación con el que se encuentre la pieza a galvanizar.

Decapado; durante el tiempo en el cual permanece la pieza a tratar sin protección galvánica, está expuesta a condiciones físicas y ambientales que generan un nivel de oxidación superficial.

Durante esta etapa se busca eliminar el óxido presente sumergiendo la pieza a galvanizar en una dilución de ácido clorhídrico entre el 25% y 35%. Además, se considera importante controlar el tiempo de inmersión que varía entre 10 a 20 minutos, todo esto dependerá del nivel de corrosión presente en el acero.

Enjuague; después de realizado el decapado químico, se tiene que terminar de diluir el ácido presente en las paredes superficiales de la pieza a galvanizar, por lo que se procede a sumergir los componentes de acero en una tina de enjuague, logrando con esto encontrar una superficie libre de ácido y con un alto nivel de humedad. La concentración de ácido clorhídrico en una tina de enjuague está por debajo del 5%.

Tercera Etapa - (Fig. 2.2)

Flux (Fundente); el principal objetivo en esta etapa se busca facilitar la adherencia del zinc a las paredes superficiales de la pieza o piezas de acero y así garantizar una capa intermetálicas de zinc $[Zn^{++}]$ con hierro $[Fe^{++}]$ después de la inmersión en zinc líquido.

Para conseguir esto se realiza la inmersión del material en una tina de (cloruro de zinc y cloruro de amonio) que se encuentra a una temperatura promedio de 80°C y se deja en reposo por un periodo de 5 minutos.

Secado; al completar el tratamiento del material, aun se tiene un nivel de humedad presente, debido a la etapa del fundente. Para completar esta etapa se tiene que realizar un proceso de secado forzado en la que un horno inyecta aire caliente (100°C) a todo el contorno de la pieza por un periodo de 10 a 15 minutos.

Cuarta Etapa -(Fig. 2.2)

Inmersión en tina de galvanizado; para esta etapa el material se encuentra listo para realizar la inmersión en la tina de zinc fundido al 99.9% de pureza y a una temperatura de 450°C, el material es sumergido completamente durante el tiempo suficiente para alcanzar una pared superficial de galvanizado de espesor necesario para garantizar que el material no presente corrosión por los próximos 10 años.

Al término del tiempo de inmersión el material es retirado de la tina de Zinc fundido, para pasar a un proceso de reposo y enfriamiento natural que suele durar entre 30 a 45 minutos, según el tamaño del elemento.

Inspección del galvanizado; la inspección y/o control de calidad se realiza después de que el material alcance la temperatura del ambiente, debiendo cumplir con las medidas normalizadas de espesor ASTM A123 y ASTM A153; que dependiendo del tipo de pieza se tomaran no menos de 5 o 10 puntos de muestra, realizadas según el tamaño y tipo de pieza aplicado según el criterio del inspector. En la **Fig. 2.3**, podemos identificar el número de ensayos a realizar según la clase de material. Así también podemos ver el espesor mínimo

esperado, cabe resaltar que para verificar la firme adherencia del zinc al acero se utiliza el método de martillo basculante ASTM A123 7.4.2 y el método de cuchillo normalizado ASTM A153 8.4.2.

Fig. 2.3 – Recubrimiento de piezas de acero con Zn - ASTM A 153

TABLA DE REQUERIMIENTOS DE ESPESOR Y CAPA DE Zn						
CLASE DE MATERIAL	Masa mínima de la capa de Zn gr/m ²		Espesor mínimo de la capa de Zn en μm		Cantidad mínima para ensayo de uniformidad en SO ₄ Cu	
	Promedio del muestreo	Especimen individual	Promedio del muestreo	Especimen individual	Densidad 1.19	
CLASE A: PIEZAS FUNDIDAS EN HIERRO Y ACERO						
	610	550	87	78	7	
CLASE B: PIEZAS DE ACERO LAMINADAS, PRENSADAS Y FORJADAS EXCEPTO LAS CLASES C Y D						
B1:	Espesor > 5 mm	610	550	87	78	7
	Longitud > 200 mm					
B2:	Espesor > 5 mm	460	380	65	54	6
	Longitud > 200 mm					
B3:	Espesor > 5 mm	400	340	56	48	6
	Longitud > 200 mm					
CLASE C: TORNILLOS, BULONES DIAMETRO > 9 mm ARANDELAS DE ESPESOR: 5 A 7mm						
	380	305	54	43	5	
CLASE ESPECIAL ASTM A 394: TORNILLOS, BULONES PARA TORRE						
	490	460	70	65	10	

Fuente: Control de calidad (Loja Herrera, 2013)

2.1.2. Tecnologías Alternativas Operacionales

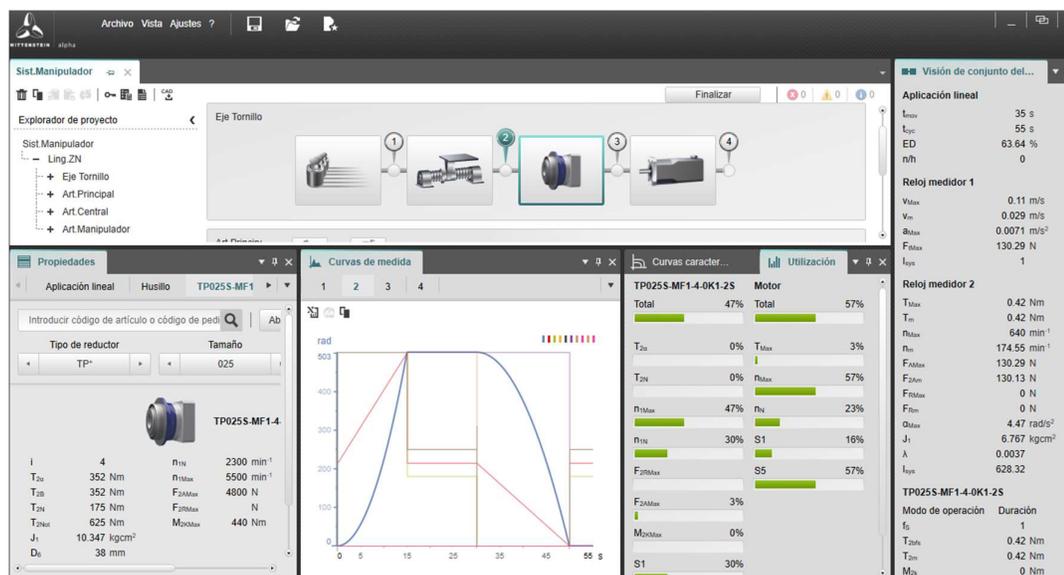
Según (Sabino, 2020) “la cuarta revolución industrial representa una oportunidad de mejora a la productividad de una organización, además es necesario tener un plan de implementación para garantizar el desarrollo de la organización y ventaja competitiva”.

a) Sistemas de control de movimiento

Cuando se requieren resolver aplicaciones con precisión en el movimiento, alto torque en el arranque, cambios de posición, velocidad y aceleración y/o coordinación con diferentes sistemas en operación. Se utilizará sistemas servo controlados.

Además, es necesario un software de aplicación para dimensionar y analizar las frecuencias y movimientos combinados, para establecer los perfiles de movimiento que generen el menor impacto en la operación del sistema servo controlado. En la **Fig. 2.4**, tenemos el entorno gráfico de trabajo de un modelador computarizado, que facilitara poder corroborar los cálculos realizados para el dimensionamiento de un sistema de control de movimiento, además de facilitar la selección de una gama de productos y marcas aplicados a la necesidad del sistema a desarrollar.

Fig. 2.4 – *Plataforma para selección de sistemas servocontrolados.*



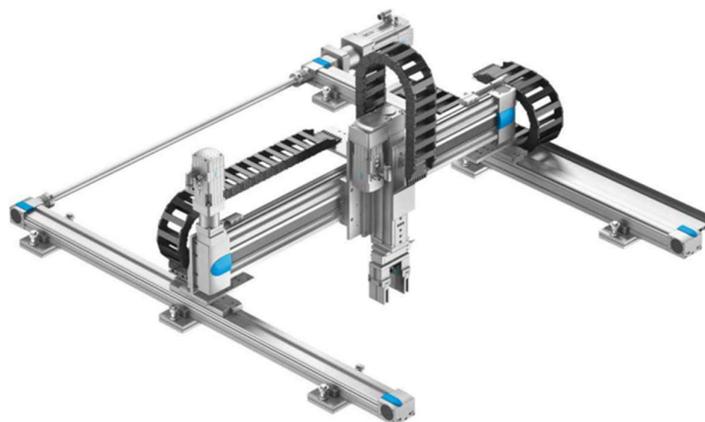
Fuente: Software Cymex @ 5 (Wittenstein, 2020)

b) Criterios para aplicar en los sistemas de control de movimiento

Para un adecuado control de movimiento, cada eje de operación contara con un sistema servo controlado (véase **Fig. 2.5**). Además, los criterios para aplicar el control de movimiento a sistemas servo controlados.

1. **Precisión**, cuando se requiere realizar traslados o rotaciones y/o elevaciones con muy poca holgura.
2. **Control de inercia**, controlar objetos con formas y masas irregulares, para un control de posición en cada etapa de su movimiento.
3. **Componentes mecánicos convencionales**, se dispone de componentes comerciales como reductores, fajas de sincronización, cadenas, etc.
4. **Posición**, todo el desplazamiento será con coordenadas cartesianas y desplazamientos punto a punto.
5. **Perfil de movimiento**, establecer un perfil de velocidad para el desplazamiento de cada eje cartesiano, según el par motriz seleccionado.
6. **Control de seguridad**, siempre necesitara un sistema de parada de emergencia y activación de secuencia por etapas.

Fig. 2.5 – Principales componentes para control de movimiento.



Fuente: Sistemas de manipulación cartesiana (Tertünte & Endrijaitis, 2013)

2.1.3. Enfoque de Seguridad Industrial

Desde el enfoque de seguridad industrial, es importante brindar y garantizar un ambiente de trabajo seguro y saludable. Esto incluye administrar el programa de seguridad, desarrollar e implementar políticas en el lugar de trabajo, capacitar a los empleados en procedimientos de seguridad e investigar incidentes, accidentes.

- a) **Peligro**, condición o situación que se presenta en toda actividad que se realiza y representa una amenaza a la integridad de la persona, sea a nivel de salud y/o condición física o a la propiedad o al medio ambiente.
- b) **Riesgo Laboral**, es la probabilidad de sufrir un daño, frente a una actividad que tiene un peligro potencial o presente durante un proceso. En la **Tabla 2.1**, se presenta una descripción del nivel de riesgo a considerar.

Tabla 2.1 – *Determinación del Nivel de Riesgo.*

NIVEL DE RIESGO	DESCRIPCIÓN	PLAZO DE CORRECCIÓN
ALTO	Riesgo intolerable, requiere controles inmediatos. Si no se puede controlar el PELIGRO se paraliza los trabajos operacionales en la labor	0-24 HORAS
MEDIO	Iniciar medidas para eliminar/reducir el riesgo. Evaluar si la acción se puede ejecutar de manera inmediata	0-72 HORAS
BAJO	Este riesgo puede ser tolerable	1 MES

Fuente: Decreto Supremo N° 024-2019-EM (2019) “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería”.

- c) **Matriz de Evaluación de Riesgo**, herramienta de gestión que permite determinar cuantitativamente cuales son las actividades de mayor peligro para los trabajadores. Su cálculo está basado en el producto de la probabilidad (véase **Tabla 2.2**) por la severidad (véase **Tabla 2.3**).

Tabla 2.2 – *Criterio para determinar el nivel de probabilidad.*

PROBABILIDAD		Probabilidad de Frecuencia	Frecuencia de Exposición
Común (muy probable)	A	Sucede con demasiada frecuencia	Muchas (6 o más) personas expuestas. Varias veces al día.
Ha sucedido (probable)	B	Sucede con frecuencia	Moderado (3 a 5) personas expuestas varias veces al día.
Podría suceder (posible)	C	Sucede ocasionalmente	Pocas (1 a 2) personas expuestas varias veces al día. Muchas personas expuestas ocasionalmente.
Raro que suceda (poco probable)	D	Rara vez ocurre. No es muy probable que ocurra.	Moderado (3 a 5) personas expuestas ocasionalmente.
Prácticamente imposible que suceda.	E	Muy rara vez ocurre. Imposible que ocurra.	Pocas (1 a 2) personas expuestas ocasionalmente.

Fuente: Decreto Supremo N° 024-2019-EM (2019) “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería”.

Tabla 2.3 – Criterio para determinar el nivel de severidad.

SEVERIDAD		Lesión Personal	Daño a la Propiedad	Daño al Proceso
Catastrófico	1	Varias mortalidades. Varias personas con lesiones permanentes.	Perdidas por un monto superior a US\$ 100,000	Paralización del proceso de más de (01) mes o paralización definitiva.
Mortalidad	2	Una mortalidad. Estado vegetal.	Perdidas por un monto entre US\$ 10,000 y US\$ 100, 000	Paralización del proceso de más de una (01) semana y menos de (01) mes.
Permanente	3	Lesiones que incapacitan a la persona para su actividad normal de por vida. Enfermedades ocupacionales avanzadas o crónicas.	Perdidas por un monto entre US\$ 5,000 y US\$ 10,000	Paralización del proceso de más de un (01) día hasta una (01) semana.
Temporal	4	Lesiones que incapacitan a la persona temporalmente. Lesiones por posición ergonómica	Perdidas por un monto entre US\$ 1,000 y US\$ 5,000	Paralización de un (01) día.
Menor	5	Lesión que no incapacita a la persona. Lesiones leves.	Perdidas por un monto menor a US\$ 1,000	Paralización menor de un (01) día.

Fuente: Decreto Supremo N° 024-2019-EM (2019) “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería”.

En resumen, la ecuación para determinar el nivel de riesgo que representa el peligro de realizar una actividad se obtiene de:

$$[\text{Riesgo}] = [\text{Probabilidad}] \times [\text{Severidad}] \quad (2.1)$$

Donde podemos resumir los cálculos en una matriz equivalente. Como la mostrada en la **Tabla 2.4** siguiente

Tabla 2.4 – Matriz de Evaluación de Riesgo.

SEVERIDAD	Catastrófico	1	1	2	4	7	11
	Mortalidad	2	3	5	8	12	16
	Permanente	3	6	9	13	17	20
	Temporal	4	10	14	18	21	23
	Menor	5	15	19	22	24	25
			A	B	C	D	E
			Común	Ha sucedido	Podría suceder	Raro que suceda	Prácticamente imposible que suceda

PROBABILIDAD / FRECUENCIA

Fuente: Decreto Supremo N° 024-2019-EM (2019) “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería”.

En resumen, el valor obtenido de la **Ec. (2.1)** y color obtenido del nivel de riesgo presente en una evaluación inicial del trabajo a realizar; determina los controles necesarios a implementar para evitar que se generen accidentes a los operadores.

En la **Tabla 2.5**, se presentan los tipos de controles a implementar para asegurar que una actividad o peligro potencial, represente un riesgo bajo para el operador.

Tabla 2.5 – Tipos de Control.

1	Eliminación
2	Sustitución
3	Controles de Ingeniería
4	Señalización, Alertas y/o Controles Administrativos
5	Uso de Equipo de Protección Personal (EPP)

Fuente: Decreto Supremo N° 024-2019-EM (2019) “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería”.

d) Condición Sub Estándar, es una situación o condición presente en el área de trabajo, que puede generar un accidente o incidente. Es importante considerar que esta situación puede no ser percibida por el colaborador, debido a que no siempre fue parte de su entorno de trabajo, por lo que importante sensibilizar a cada colaborador, sobre la importancia de evaluar e identificar los potenciales peligros presentes y cuantificar el riesgo de cada actividad a realizar diariamente.

e) Acto Sub Estándar, el principal agente de cambio identificado es el comportamiento de cada colaborador (Agnew & Synder, 2008), es importante sensibilizar, entrenar y capacitar en la organización a todos los miembros activos para la identificación y evaluación del riesgo presente frente a cada actividad diaria, sea esta rutinaria o no.

Considerando esto, un acto sub estándar es una omisión o acción que cometen los colaboradores y que incrementan la probabilidad de generar un accidente o incidente y sufrir una lesión y/o daño irreversible en el ambiente de trabajo o personal.

f) Análisis de Trabajo, es la actividad inicial que debe realizar cada trabajador o grupo de trabajadores, frente a la actividad diaria que se realiza de forma frecuente y/o eventual. En la tabla 2.3, tenemos un modelo considerando los conceptos anteriormente desarrollados (Probabilidad, severidad y riesgo).

Tabla 2.6 – Modelo de análisis de trabajo, frente al riesgo presente y los controles establecidos.

No.	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DEL PELIGRO	RIESGO	EVALUACIÓN DEL RIESGO			MEDIDAS DE CONTROL A IMPLEMENTAR	TIPO DE CONTROL	RE-EVALUACIÓN DEL RIESGO		
				PROBABILIDAD	SEVERIDAD	Nivel del Riesgo			PROBABILIDAD	SEVERIDAD	Nivel del Riesgo
1	MOVILIZACIÓN DE PERSONAL LA ZONA DE TRABAJO	VEHICULO EN MOVIMIENTO COMBI.13 PASAJEROS	ATROPELLO O CHOQUE POR MALA MANIOBRA O VISIBILIDAD O VELOCIDAD	C	2	8	REVISION TECNICA DEL VEHICULO USO DE CINTURON MANEJO DEFENSIVO CHARLA DE 5 MINUTOS CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO DE TRANSITO INTERNO Y EXTERNO ELABORACION DE CHEK LIST DIARIO USO CORRECTO DE EPP MOVIL EQUIPADA CON TACOS, BOTIQUIN, EXTINTOR Y SEÑALIZACION MANTENIMIENTO PREVENTIVO	3,4,5	D	2	12
			VOLCADURA DE VEHICULO	C	2	8	REVISION TECNICA DEL VEHICULO USO DE CINTURON MANEJO DEFENSIVO CHARLA DE 5 MINUTOS CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO DE TRANSITO INTERNO Y EXTERNO ELABORACION DE CHEK LIST DIARIO USO CORRECTO DE EPP MOVIL EQUIPADA CON TACOS, BOTIQUIN Y EXTINTOR Y SEÑALIZACION MANTENIMIENTO PREVENTIVO	3,4,5	D	2	12

Fuente: Decreto Supremo N° 024-2019-EM (2019) “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería”.

En el análisis de seguridad podemos detallar todas las actividades que realiza un operador dentro de sus actividades de trabajo, identificando también las fuentes de peligro y cuantificando el nivel de riesgo que representa esta actividad. También se detallarán los lineamientos de control necesarios para reducir el nivel de impacto que genera el peligro potencial identificado.

2.1.4. *Análisis de componentes principales.*

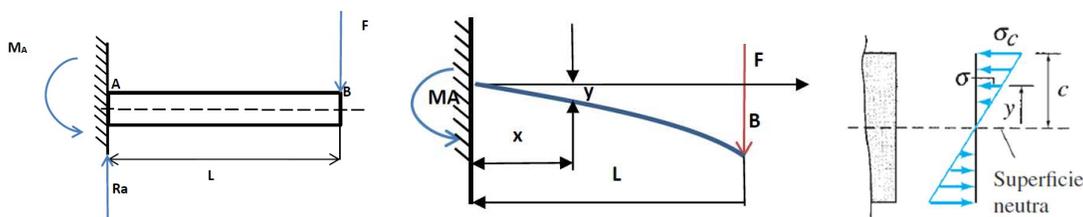
En el sistema de manipulación de lingotes de zinc, podremos identificar sistemas estructurales como columnas, vigas, sistemas de transmisión de velocidad y potencia así también componentes electroneumáticos.

a) **Análisis por Resistencia de materiales en Vigas**

Una viga en voladizo corresponde a un elemento estructural que se instala de forma horizontal y se fija y/o ancla en uno de sus extremos. Este tipo de soporte y/o estructura es utilizado para soportar cargas regulares y/o irregulares en el extremo libre.

Para garantizar que la estructura sea estática lineal, esta debe diseñarse y fijarse de modo tal que se capaz de soportar todas las fuerzas y momentos en todas las direcciones. En la **Fig. 2.6**, visualizamos el modelo de aplicación de la viga considerando una carga en el extremo libre, generando así un diagrama de cuerpo libre para realizar el análisis correspondiente.

Fig. 2.6 – Modelo de aplicación de una viga empotrada.



Fuente: En el libro “Resistencia de materiales”. (Cervera Ruiz & Blanco Diaz, Febrero 2004).

Considerando que la aplicación del sistema de manipulación requiere dimensionar y/o seleccionar una viga en voladizo, con uniones articuladas, establecimos los siguientes aspectos:

1. Cargas distribuidas o focalizadas: La estructura en voladizo, debe de ser capaz de soportar su propio peso, cargas auxiliares como el viento y cargas sísmicas y estas serán analizadas y distribuidas adecuadamente.
2. Resistencia y rigidez: La viga en voladizo debe de resistir la flexión, pandeo y otro tipo de condiciones propias de las cargas presentes consideradas. Para esto el material seleccionado deberá de garantizar los módulos de elasticidad y limite elástico garantizará la resistencia y rigidez del sistema propuesto.
3. Consideraciones de esfuerzo y deformación: Estos valores estarán en función del material considerado y de la carga actuante y resultante en los extremos fijos de cada estructura, para garantizar que no se presenten fallos en el sistema en voladizo.
4. Deflexión: La tolerancia en el extremo libre del voladizo debe de garantizarse con factores de seguridad que estén por encima del mismo límite de flexión.
5. Durabilidad: La estructura debe de asegurar un larga vida útil y facilidad para el mantenimiento.
6. Factor de seguridad: Permite darle mayor resistencia al sistema frente a una carga no considerada en el estudio previo.
7. Método de construcción: La viga en voladizo debe de garantizar la viabilidad de la construcción, sea esta por uniones empernadas, remachadas y/o soldada en sus extremos.

Considerando el diagrama de cuerpo libre presentado en la **Fig. 2.6**, dentro del análisis estático lineal para una viga empotrada, utilizaremos el resultado de las fuerzas y momentos resultantes iguales a cero.

$$\sum F_i = 0 \text{ y } \sum M_i = 0 \quad (2.2)$$

Además, consideramos que la ecuación diferencial para una viga sometida a flexión en un plano simétrico responde a la división del momento resultante respecto a su módulo de elasticidad y momento de inercia.

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M}{EI} \quad (2.3)$$

Siendo la deformación máxima a obtener en la viga, en su extremo libre.

$$y = \frac{F.L^3}{3.E.I} \quad (2.4)$$

Además del máximo esfuerzo en la sección axial.

$$\sigma = \frac{M.c}{I_{z-z}} \quad (2.5)$$

b) Análisis por Elementos Finitos

Los desplazamientos y esfuerzos producidos por acciones externas serán analizados y calculados con la matriz de rigidez, en función de los grados de libertad que el sistema presente.

El método de elementos finitos FEM (Finite Element Method) es un método numérico que divide en un número finito de elementos geométricos que se aproximen al modelo original. Identificando con esto las deformaciones lineales y los límites de esfuerzo y factores de carga presentes durante la operación del sistema analizado.

Después de realizar la discretización de los componentes e ingresar las propiedades de cada elemento, como el material, las cargas y condiciones de entorno. Se realizará la simulación

procesando un sistema de ecuaciones diferenciales representado por una matriz de rigidez $[k]$, que relaciona el comportamiento de los desplazamientos nodales con las cargas.

En la **Fig. 2.7** podemos representar las fuerzas y momentos angulares actuantes en un accesorio metálico en voladizo.

$$[F] = [k] \cdot [\mu] \quad (2.6)$$

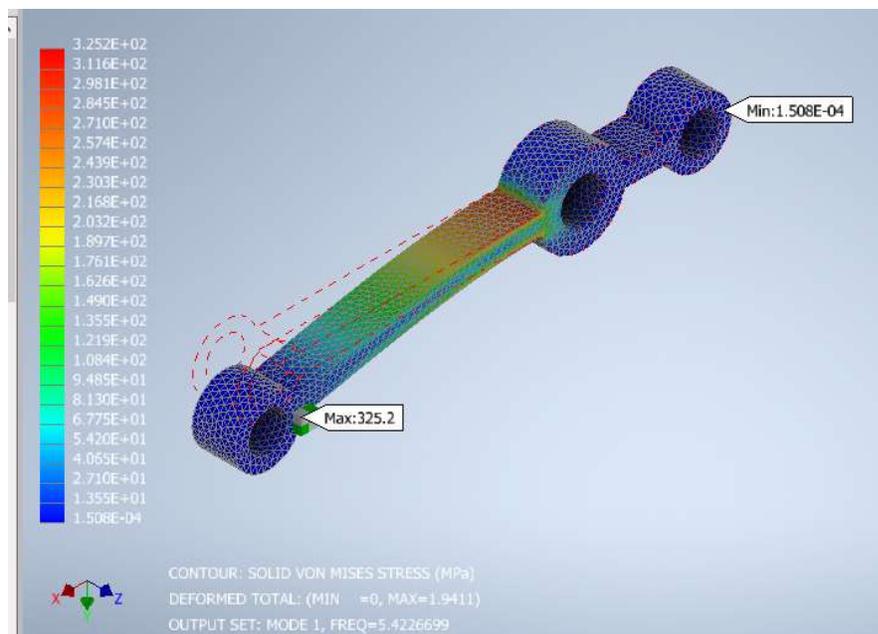
Ley de Hooke:

F; Fuerzas y momentos que actúan sobre los nodos de la viga.

K; Matriz de rigidez.

μ ; Desplazamientos y giros producidos sobre la viga.

Fig. 2.7 – Fuerzas, momentos, giros y desplazamientos de una viga con dos nodos.



Fuente: Universidad politécnica Salesiana ECUADOR. (Borja Robalino & Morocho Rojas, 2017).

Recordar que el objetivo de este análisis, es identificar las deformaciones, esfuerzos reacciones en apoyos, distribución de temperatura, frecuencias naturales y formas modales y respuestas dinámicas. Además, de facilitar la simplificación de la geometría del modelo como

elementos no estructurales, redondeos indispensables, chaflanes no necesarios, detalles no necesarios y que resulten relevantes dentro del análisis.

c) Tornillos de Potencia

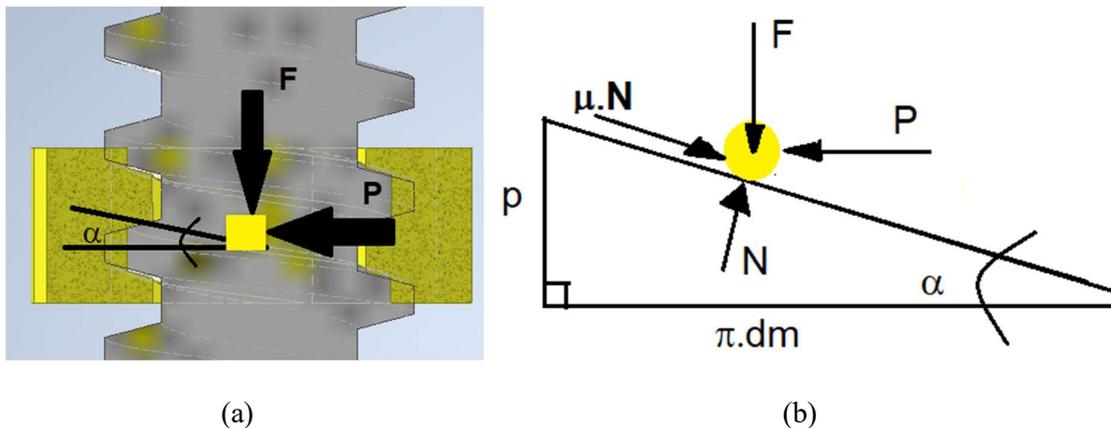
Los tornillos son utilizados como elementos de sujeción o de unión de piezas y/o componentes mecánicos en estructuras, maquinas, elementos de anclaje y diversas aplicaciones. Sin embargo, en esta investigación nos referiremos a ellos como elementos que transmiten potencia y movimiento y que convierten un movimiento giratorio en un movimiento lineal que puede ser para desplazamiento o para elevación.

Principio de funcionamiento de un tornillo de potencia

Los tornillos de potencia trabajan sometidos a una fuerza de fricción en su desplazamiento y son impulsados por una fuerza de ascenso o descenso normal a su peso, como se visualiza en la **Fig. 2.8** (a). Además, el desplazamiento longitudinal realizado en 360° equivale a un avance perimetral del diámetro medio (d_m) de la rosca; y al avance transversal al desplazamiento longitudinal se conoce como paso (p).

En la **Fig. 2.8** (b) podemos apreciar en un diagrama de cuerpo libre, la aplicación de estas fuerzas y su representación en las roscas del tornillo de potencia. También se puede identificar al paso (p) y el diámetro medio (d_m) y su relación angular (α).

Fig. 2.8 – Representación Fuerzas en un tornillo de potencia.



Fuente: Cortesía de página Web “Inge mecánica” (Rodríguez Galbarro)

Un tornillo puede ser considerado, de manera simple, que está formado por un cuerpo cilíndrico (que sería el vástago o la caña del tornillo), sobre el que se enrolla un plano inclinado formando los filetes de la rosca del tornillo.

Tipos de Roscas en un tornillo de potencia

En la **Fig. 2.9 (a)**, se presenta un corte de perfil de un tornillo de potencia con rosca cuadrada y en la **Fig. 2.9 (b)** se presentan modelos normalizados de tornillos de potencia, teniendo diferencias en las unidades de fabricación (milimétricas e inglesas) y la forma (Trapezoidal o cuadrada). Donde se tienen representadas las medidas así:

P : Paso o avance lineal del tornillo de potencia. [mm]

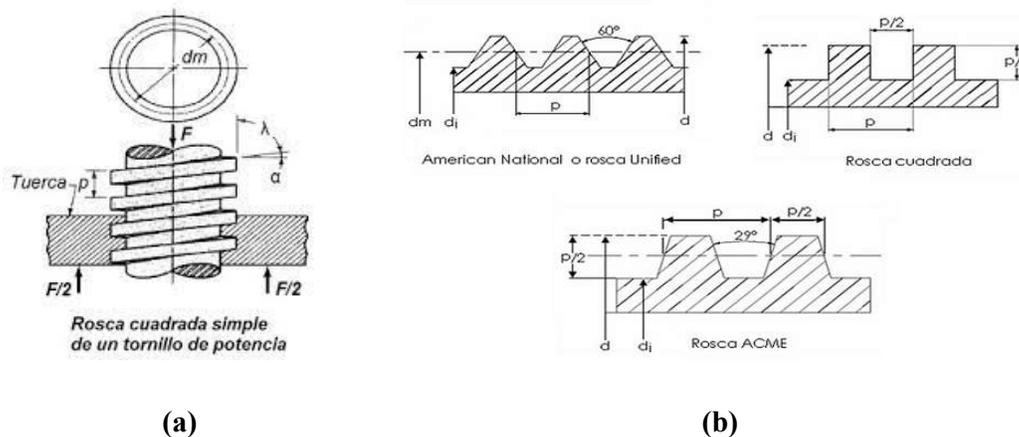
d : Diametro exterior [mm]

d_m : Diametro medio del tornillo [mm]

d_r : Diametro raiz [mm]

α : Angulo de avance, es la mitad del angulo de la rosca ACME.

Fig. 2.9 – Modelos de Tornillos de Potencia.



Fuente: Portal web “Inge mecánica” (Rodríguez Galbarro)

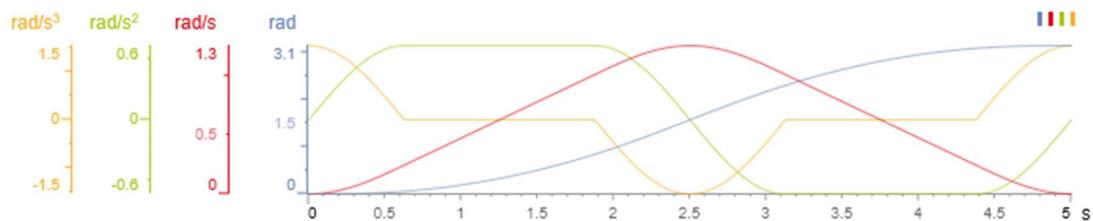
Ecuaciones para el dimensionamiento de tornillos de potencia.

Para dimensionar un tornillo de potencia se tiene que seguir una secuencia de cálculos que están en función de las condiciones propias del sistema a modelar.

- ✓ **Ciclo o secuencia de trabajo.** Definir el perfil de velocidad con el que se comportara el avance del tornillo de potencia. Así como también los tiempos de aceleración, desaceleración y parada de emergencia.

En la **Fig. 2.10**, se identifica un perfil de velocidad, para el proceso de aceleración, operación y desaceleración de un sistema en rotación.

Fig. 2.10 – Perfil de velocidad.



Fuente: Entorno de configuración Cymex @5.

Después de identificado el perfil de velocidad y los tiempos y velocidades angulares esperadas. Se procede a calcular las velocidades angulares promedio de todo el sistema.

Así tendremos que la velocidad angular media, se obtiene de:

$$n_{media} = \frac{n_{min} + 2 \cdot n_{max}}{3} \text{ [rpm]} \quad (2.7)$$

Donde:

$$n_{max} = \frac{60 \cdot V_{linea}}{p} \text{ y } n_{min} = \frac{n_{max}}{2} \quad (2.8)$$

n_{media} : Velocidad media [rpm]

n_{min} : Velocidad minima [rpm]

n_{max} : Velocidad maxima [rpm]

V_{linea} : Velocidad linea $\left[\frac{m}{min}\right]$

- ✓ **Cálculos de esfuerzos en los tornillos de potencia.** Dentro de las alternativas de uso de los tornillos de potencia, una de las más utilizadas es para elevar y bajar cargas axiales, motivo por el cual es importante analizar los esfuerzos generados al realizar esta operación.

En el reposo, el tornillo de potencia experimenta un esfuerzo por aplastamiento. Durante el movimiento del husillo o del tornillo de potencia, se identifican esfuerzos de flexión y tensiones de corte en las roscas, obteniendo un esfuerzo equivalente.

La ecuación para el análisis de esfuerzos por aplastamiento, es:

$$\sigma_{aplast} = \frac{2.F_{axial}}{\pi.d_m.H} \leq \frac{S_y}{F_{seg}} \quad (2.9)$$

La ecuación para el análisis por torsión y compresión simultánea, es:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_f^2 + 4.\tau_{xy}^2} \leq \frac{S_y}{F_{seg}} \quad (2.10)$$

Además:

$$\sigma_f = \frac{4.F_{axial}}{\pi.d_r^2} ; \tau_{xy} = \frac{16.T}{\pi.d_r^3} \quad (2.11)$$

El torque para la elevación se calcula:

$$T = \frac{F_{axial}.d_m}{2} \left[\frac{\mu + \cos \alpha \cdot \tan \lambda}{\cos \alpha - \mu \cdot \tan \lambda} \right] + \frac{\mu_c.F_{axial}.d_c}{2} \quad (2.12)$$

El torque para el descenso de la carga se calcula:

$$T = \frac{F_{axial} \cdot d_m}{2} \left[\frac{\mu - \cos \alpha \cdot \tan \lambda}{\cos \alpha + \mu \cdot \tan \lambda} \right] + \frac{\mu_c \cdot F_{axial} \cdot d_c}{2} \quad (2.13)$$

Las variables son:

σ_{aplast} : *Esfuerzo aplastamiento.*

λ y α : *Angulo de avance y rosca respectivamente.*

F_{axial} : *Carga maxima elevar.*

S_y : *Esfuerzo de Fluencia*

F_{seg} : *Factor de seguridad.*

H : *Altura del Husillo.*

σ_{eq} : *Esfuerzo equivalente*

σ_f : *Esfuerzo Flexion*

τ_{xy} : *Esfuerzo cortante*

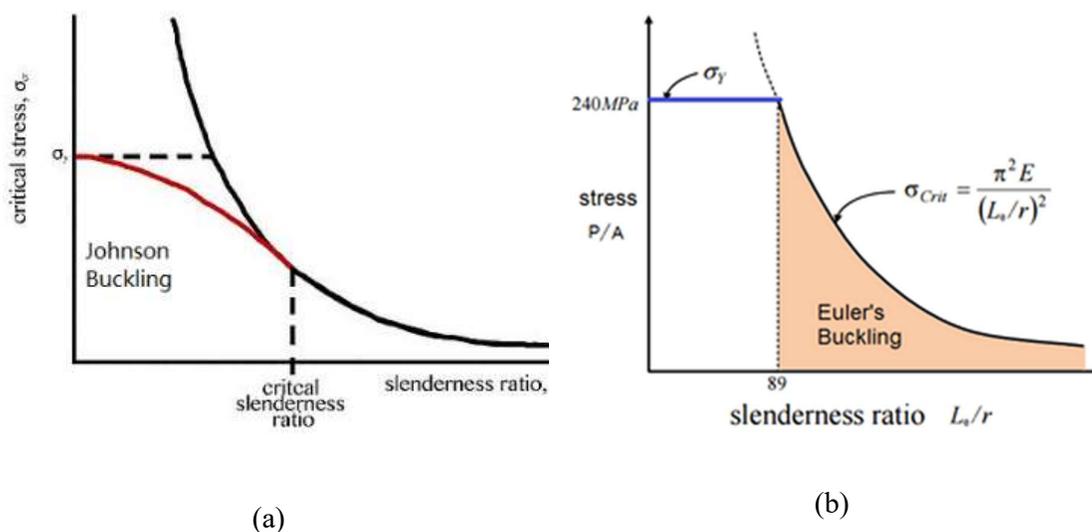
T : *Torque elevación.*

n : *Numero de hilos por paso de tornillo.*

μ y μ_c : *Coficiente de friccion para husillo y collarin.*

- ✓ **Cálculos para análisis por esbeltez.** Este análisis determina si el tornillo de potencia experimentara pandeo durante su operación, debido a las cargas presentes. En la **Fig. 2.11** se identifica el nivel de esfuerzo presente en la columna según la relación de esbeltez. (a) Curva de Johnson y (b) Curva de Euler.

Fig. 2.11 – Relación de tensión crítica frente a la esbeltez.



Fuente: Enlace Web “Inge mecánica” (Rodríguez Galbarro)

La carga crítica de Euler, corresponde al valor de compresión en el que la columna se doblara o efectuara pandeo. Cuanto mayor sea la relación de esbeltez, menor será el esfuerzo tolerable para evitar el pandeo.

Para el análisis de Johnson, corresponde una mayor resistencia al pandeo, frente a un bajo valor de relación de esbeltez.

Además, existe una relación de equivalencia entre la altura de la columna real y la equivalente, definida por el tipo de apoyo o anclaje existente en los extremos, Véase la **Fig. 2.12**, donde se presentan las equivalencias.

Fig. 2.12 – Factor de corrección de altura, frente al tipo de anclaje.

<p>La forma pandeada de la columna se muestra con una línea discontinua.</p>						
<p>Valor teorico "β"</p>	0.50	0.70	1.00	1.00	2.00	2.00
<p>Valor de diseño recomendado "β"</p>	0.65	0.80	1.20	1.00	2.10	2.00
<p>Condicion de extremos.</p>	<p>Rotacion fija y traslacion fija.</p> <p>Rotacion libre y traslacion fija.</p> <p>Rotacion fija y traslacion libre.</p> <p>Rotacion libre y traslacion libre.</p>					

Fuente: Enlace Web “Inge mecánica” (Rodríguez Galbarro)

Las ecuaciones de aplicación para este análisis son:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(l_e/r)^2} \leq \frac{S_y}{2}; E_c \leq S_y; Ec. Euler \quad (2.14)$$

$$\sigma_{cr} = \sigma_y - \frac{1}{E} \cdot \left(\frac{\sigma_y}{2.2}\right)^2 \cdot \left(\frac{l_e}{r}\right)^2; Ec. Johnson \quad (2.15)$$

Donde:

$$l_e = \beta \cdot L ; \text{Longitud Efectiva}$$

$$r = \sqrt{\frac{I_s}{A}} = \sqrt{\left(\frac{4}{\pi \cdot D_r^2}\right) * \left(\frac{\pi \cdot D_r^4}{32}\right)} = \frac{\sqrt{2} \cdot D_r}{4}; \text{Para secciones circulares.}$$

l_e : Longitud efectiva.

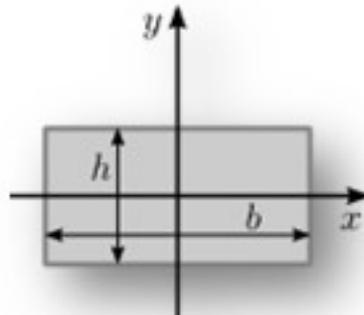
$$\frac{l_e}{r} = \frac{4 \cdot \beta \cdot L}{\sqrt{2} \cdot D_r} ; \text{Relación de Esbeltez} \quad (2.16)$$

En la **Fig. 2.13** se presentan las ecuaciones de cálculo de inercia para secciones circulares y rectangulares, respecto a su eje transversal. (a) sección rectangular y (b) sección anillo circular.

I_s : Momento de Inercia de la seccion transversal.

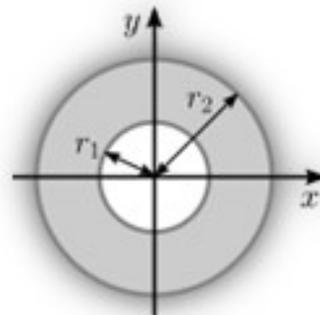
A : Seccion transversal.

Fig. 2.13 – Momentos de Inercia para secciones transversales.



$$I_{z-z} = \frac{b \cdot h}{12} \cdot (b^2 + h^2)$$

(a)



$$I_{z-z} = \frac{\pi}{2} \cdot (r_2^4 - r_1^4)$$

(b)

Fuente: Enlace Web “Inge mecánica” (Rodríguez Galbarro)

El factor de seguridad obtenido de la división del esfuerzo de fluencia con respecto al esfuerzo calculado y/o crítico de Euler o Johnson; determinará el criterio de aceptación cuyo rango debe estar entre 2 y 5.

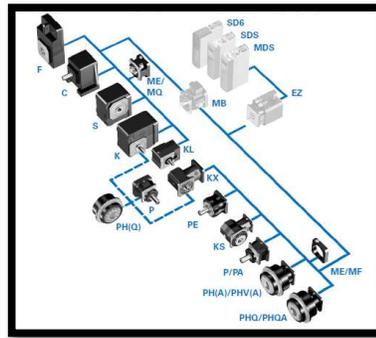
$$F_{seg} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{cr}} ; \in [2; 5] \quad (2.17)$$

d) Dimensionamiento y selección para un reductor.

Para seleccionar un reductor se tienen que conocer los pares que dicho reductor soportará. Las tablas para selección de un reductor están clasificadas (revisar **Fig. 2.14**), por tipo, tamaño y número de trenes; dentro de cada clasificación, se tienen que calcular en función de la carga los siguientes parámetros:

- ✓ Torque de aceleración y desaceleración (T_{2B}).
- ✓ Torque o par de trabajo (T_{2N}).
- ✓ Par de emergencia (T_{2NOT}).
- ✓ Relación de transmisión (i_t).
- ✓ Diámetro del eje motriz e inducido.

Fig. 2.14 – Cuadro característico para seleccionar un reductor.



(a)

Modelo	I _{ges}	I _{exact.}	n _{1MAX}			J ₁	G	Δφ ₂	C ₂	L _{PA}	T _{2N}	T _{2B}	T _{2NOT}
			DB	DB ₁	ZB								
PH521 F0070 KX501VF0020MF	14,00	14/1	2500	2500	3500	5,40	12,9	4,5	47	72	210	270	600

(b)

Fuente: Catálogo Servofit (Stober, 2021), considerando (a) tipo de reductor y (b) datos de capacidad del motor reductor.

✓ **Cálculo condiciones cinemáticas.**

Se considera las condiciones iniciales de operación del sistema, tiempos de aceleración, parada, maniobra, etc. Así también, las velocidades de cada fase y una velocidad media teórica equivalente.

Las ecuaciones para la cinemática lineal:

$$d_i = v_0 \cdot (t_i - t_0) + \frac{a_i \cdot (t_i - t_0)^2}{2} \tag{2.18}$$

$$v_i = v_0 + a_i \cdot (t_i - t_0) \tag{2.19}$$

Donde:

t_i; Tiempo o periodo.

v_i ; Velocidad lineal.

a_i ; Aceleración lineal.

d_i ; Distancia recorrida.

Las ecuaciones para la cinemática angular:

$$\theta_i = \omega_0 \cdot (t_i - t_0) + \frac{\alpha_i \cdot (t_i - t_0)^2}{2} \quad (2.20)$$

$$\omega_i = \omega_0 + \alpha_i \cdot (t_i - t_0) \quad (2.21)$$

Donde:

t_i ; Tiempo o periodo.

θ_i ; Giro angular.

ω_i ; Velocidad angular.

α_i ; Aceleración angular.

✓ *Cálculo de los pares del mecanismo.*

Se calcularán los pares de operación del sistema en análisis, bajo las condiciones cinemáticas identificadas. Estos datos serán comparados con los valores próximos de catálogo, considerando criterios para aceptar el modelo de reductor compatible.

Para determinar el par resultante:

$$T_{resultante} = \sum I_i \cdot \alpha_i + T_l \quad (2.22)$$

Para los cuerpos conexos, el par de aceleración:

$$T_{2b} = \frac{I_m \cdot n_1}{9.55 \cdot t_1} + T_l \quad (2.23)$$

El par en desaceleración:

$$T_{2b} = \frac{I_m \cdot n_1}{9.55 \cdot t_1} - T_l \quad (2.24)$$

Y el par medio del ciclo:

$$T_{2\bar{a}} = \sqrt[3]{\frac{\sum (|T_i|^3 \cdot n_i \cdot t_i)}{\sum (|n_i| \cdot t_i)}} \quad (2.25)$$

Además, para determinar el par de emergencia:

$$T_{2not} = \frac{I_m \cdot n_2}{9.55 \cdot t_{not}} + T_l \quad (2.26)$$

Donde:

I_m ; *Momento de inercia de las masas presentes.*

n_1 y n_2 ; *Velocidad angular en aceleracion y desaceleracion.*

Para aprobar la selección, se tienen que cumplir los siguientes criterios.

$T_{2b/v} < T_{2B}$; Criterio par de aceleración.

$T_{2\ddot{a}} < T_{2N}/f_t$; Criterio par operación y temperatura.

$T_{2not} < T_{2NOT}$; Criterio par de freno o emergencia.

(2.27)

El factor de corrección por temperatura (f_t). (Ver **Fig. 2.15**).

Fig. 2.15 – Factor de corrección x temperatura y tiempos de vida promedio.

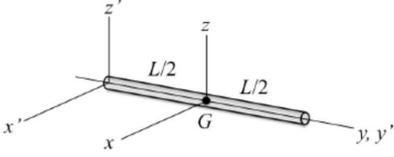
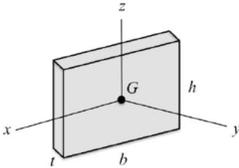
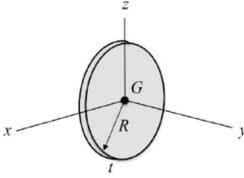
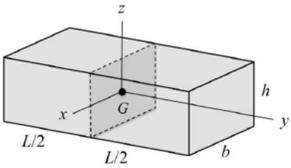
f_t	$\leq 20^\circ\text{C}$	$\leq 30^\circ\text{C}$	$\leq 40^\circ\text{C}$
Reductor Ventilado	1.00	1.05	1.15
Reductor No Ventilado	1.05	1.10	1.25

Fuente: Catalogo Servofit (Stober, 2021)

✓ **Cálculo de los momentos de inercia.**

Se resume algunos de los principales momentos de inercia a utilizar.

Tabla 2.7 – Ecuaciones para determinar los momentos de inercia de masa.

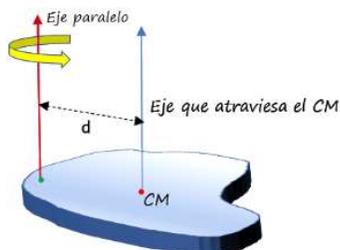
SOLIDO	MOMENTO DE INERCIA DE MASA
 <p>Para Varillas</p>	$I_{xG} = I_{zG} = \frac{1}{12} \cdot M \cdot L^2$ <p>Momento de Inercia para Varillas.</p>
 <p>Para placas rectangulares</p>	$I_{xG} = \frac{1}{12} \cdot M \cdot h^2 ; I_{yG} = \frac{1}{12} \cdot M \cdot (b^2 + h^2) ; I_{zG} = \frac{1}{12} \cdot M \cdot b^2 ;$ <p>Momento de Inercia para Placa rectangulares.</p>
 <p>Para placas circulares</p>	$I_{xG} = I_{zG} = \frac{1}{4} \cdot M \cdot R^2 ; I_{yG} = \frac{1}{2} \cdot M \cdot R^2 ;$ <p>Momento de Inercia para Placa Circular.</p>
 <p>Para figuras prismaticas</p>	$I_{xG} = \frac{1}{12} \cdot M \cdot (h^2 + L^2) ; I_{yG} = \frac{1}{12} \cdot M \cdot (b^2 + h^2) ; I_{zG} = \frac{1}{12} \cdot M \cdot (b^2 + L^2) ;$ <p>Prisma Rectangular.</p>

Fuente: Enlace Web “Inge mecánica” (Rodríguez Galbarro)

✓ **Teorema de Steiner.**

Un teorema fundamental para estas aplicaciones es el de Steiner, que indica el momento de inercia de un cuerpo respecto a un eje desfasado de su centro de gravedad.

Tabla 2.8 – Teorema de Steiner.



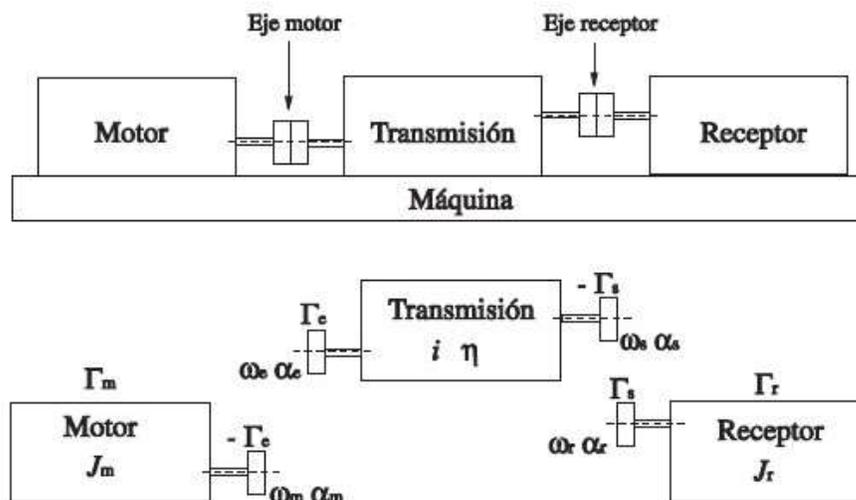
$$I_Q = I_{cm} + M \cdot d_{QG}^2 \quad (2.28)$$

✓ **Fuente:** Enlace Web “Inge mecánica” (Rodríguez Galbarro)

✓ **Sistema de transmisión y motor.**

En el sistema de transmisión del motor al reductor (véase **Fig. 2.16**), tendremos una relación de torque y velocidad angular, en un proceso de aceleración angular constante.

Fig. 2.16 – Esquema de acción y reacción – Motor, reductor y receptor.



Fuente: Revista Técnica - Universidad del Zulia (Otero Yugat, 2010)

Al acoplar un motor a una carga receptora mediante un reductor, se experimenta una transmisión de energía con pérdidas y relación de velocidades angulares. Analizaremos las

cargas dinámicas, para determinar las ecuaciones necesarias para dimensionar las capacidades de los servomotores necesarios para control de movimiento (Otero Yugat, 2010).

Así la ecuación fundamental para determinar el par motriz será:

$$T_m = \left(I_m + \frac{I_c}{i_r^2 \cdot \eta} \right) \cdot \alpha_m + \frac{T_c}{i_r \cdot \eta} ; i_r = \frac{\omega_e}{\omega_s} = \frac{\alpha_m}{\alpha_c} \quad (2.29)$$

; I_m y I_c son los respectivos momentos de inercia del motor y la carga.

Además $I_m \ll I_c$ por tratarse de servomotores.

En resumen, el par motriz será:

$$T_m = \frac{\sum I_i \cdot \alpha_i + T_c}{i_r \cdot \eta} \quad (2.30)$$

Donde:

I_i ; Momento de inercia de las masas presentes.

T_c ; Torque necesario de la carga.

α_i ; Aceleracion angular de la carga.

i_r ; Relacion de velocidad en el reductor.

η ; Eficiencia en la transmision.

2.1.5. *Análisis de la inversión económica*

Esta herramienta permite determinar de manera cuantitativa, el impacto de la inversión realizada y los beneficios económicos que brindara a la organización. Estos cálculos, pueden estar sujetos a un periodo instantáneo o a un plazo para el retorno de la inversión.

✓ *Método de la Tasa de Rendimiento Contable*

Método estático, no financiero que permite determinar de manera instantánea la viabilidad de la inversión realizada. En resumen, la ecuación de cálculo simple será:

$$TRC = \frac{\text{Beneficio (USD)}}{\text{Inversion (USD)}} \quad (2.31)$$

El resultado, permite determinar si el beneficio es superior a la inversión. Considerando para esto si el resultado es mayor a 1, entonces la inversión es positiva. De ser menor a 1 la inversión demanda pérdidas iniciales. Este método no toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo.

✓ *Método del Valor Actual Neto - VAN*

También conocido como el Valor Presente Neto, es uno de los indicadores de inversión con mayor aporte al momento de evaluar la viabilidad de un proyecto de mejora organizacional. Este método calcula la diferencia de todos los beneficios presentes proyectados en un determinado periodo de tiempo con el valor de la inversión inicialmente realizada.

$$VAN = -I + \sum_{t=0}^n \frac{Fn}{(1+r)^t} \quad (2.32)$$

Donde:

Fn : Flujo de Caja en el periodo anual n

n : Periodo total de evaluacion

I : Inversion inicial

r : Tasa de interes promedio

Considerando los siguientes criterios:

VAN = 0. Este resultado determina un estado sin beneficios ni pérdidas. Concluyendo de forma indiferente.

VAN > 0. Este resultado determina la rentabilidad del proyecto y garantiza una ganancia que podría cuantificarse.

VAN < 0. Este resultado determina un estado de pérdidas, frente a la inversión. Anulando con esto la viabilidad del proyecto.

✓ ***Método de la Tasa Interna de Retorno - TIR***

Este método permite determinar la tasa de retorno necesaria que se requiere para que el beneficio obtenido producto de la inversión realizada, sea comparable con una pérdida nula. Considerando esto la ecuación a utilizar es:

$$-I + \sum_{t=0}^n \frac{Fn}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (2.33)$$

Considerando los siguientes criterios:

TIR = 0. El proyecto debe de ser rechazado. Puesto que la inversión no genera ganancias.

TIR > r. Determina la viabilidad de la inversión, considerando que se tendrán ganancias en un periodo determinado.

TIR < r. El proyecto no es viable, debido a que solo representa pérdidas a la organización.

2.2. Marco Conceptual

Lingote: Bloque metálico de Zinc, con concentración de pureza al 99.9% utilizado en el proceso de galvanizado con peso aproximado de 26 kg.

Dross de Zinc: Residuos provenientes del proceso de galvanizado con rangos de concentración de 60% a 80% en zinc. Generado por la reacción con el hierro en bajas concentraciones.

Abrasión: Desgaste o deterioro de una superficie metálica, debido a la constante fricción producida entre el metal y un producto químico o mineral.

Corrosión: Proceso natural o espontaneo que ocurre como consecuencia de un ataque electroquímico en un material determinado.

Diseño: Configuración de un sistema para solucionar un problema industrial.

Seguridad: Prevención contra la ocurrencia de incidentes y accidentes.

Incidente: Acontecimiento capaz de generar un daño físico a las personas, por desconocimiento de las condiciones técnicas laborales.

Accidente: Acontecimiento que ocurre durante el ejercicio laboral generando daño irreversible a la persona, propiedad o proceso.

Control de movimiento: Concepto que se aplica a todo sistema de operación que requiere de una precisión, posición y control de torque para mantener una velocidad de producción en una línea industrial.

Proceso operacional: Conjunto de actividades que involucran a diferentes áreas productivas dentro de una organización, cuyo objetivo principal es identificar los pasos necesarios para realizar un proceso.

Servocontrolados: Procesos o equipos que cuentan con dispositivos motrices capaces de controlar movimientos de posición, velocidad, dirección y contador angular.

CAPITULO 3: HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.1. Hipótesis

El análisis de la tecnología de inmersión de lingotes de zinc en lecho de zinc fundido a 450°C influirá en la mitigación de riesgos laborales de operarios.

3.2. Operacionalización de Variables

3.2.1. Variables e Indicadores

i. Variable independiente (VI):

Análisis de la tecnología de inmersión de lingotes de zinc.

ii. Variable dependiente (VD):

Mitigar riesgos laborales de operarios.

Tabla 3.1 – *Indicadores de la Variable Independiente.*

VARIABLES	INDICADORES
VI: Análisis de la tecnología de inmersión de lingotes de zinc.	Tipo de inmersión. Número de operadores para descargar los lingotes de Zinc. Nivel de riesgo potencial para la generación de accidentes. Condiciones no ergonómicas de trabajo.
VD: Mitigar riesgos laborales de operarios.	Nivel de riesgo, por cada actividad con peligro potencial.

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 4: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

4.1. Tipo y diseño de la Investigación

El tipo y diseño de la Investigación corresponde a la definición de la naturaleza de esta investigación para definir la aplicación el desarrollo del Trabajo de Suficiencia Profesional. Para el cual se considera la **Tabla 4.1** que establece las características con la naturaleza cualitativa o cuantitativa de la investigación.

Tabla 4.1 – Cuadro comparativo, para definir modelo cuantitativo o cualitativo.

Ítem	Características	Investigación		Observación
		Cualitativa	Cuantitativa	
1	Percepción de la realidad	Subjetiva Incluyente	Objetiva. Excluyente	Cuantitativa
2	Razonamiento	Inductivo Genera hipótesis	Deductivo Contrasta hipótesis	Cuantitativa
3	Finalidad	Exploración Descubrimiento Expansión	Comprobación Confirmación Reducción	Cuantitativa
4	Orientada	Al proceso	Al resultado	Mixto
5	Principio de verdad	Holística Dinámica (Provisoria) Se construye centrada en diferencia	Particulariza Estable (Permanente) Predeterminada Centrado en Similitudes	Cualitativa
6	Perspectiva del investigador	Desde dentro (Próximo a los datos)	Desde fuera (Al margen de los datos)	Cualitativa
7	Causalidad	Interacción de factores	Antecedentes específicos	Mixto

Fuente: Icart, M. T. et al (2006) “Elaboración y Presentación de un Proyecto de Investigación y una Tesina”.

Para el ítem 1 – Respecto a la percepción de la realidad, la investigación será objetiva y excluyente (**Cuantitativa**). Porque se cuantifica los niveles de riesgo presentes en una actividad, con el objetivo de mitigar los riesgos.

Para el ítem 2 – Respecto al razonamiento es deductivo, la naturaleza es **Cuantitativa**, puesto que se contrastada la hipótesis.

Para el ítem 3 – Respecto a la finalidad, la investigación es de naturaleza **Cuantitativa** puesto que busca la comprobación de la hipótesis, así como reducir del problema.

Para el ítem 4 – Respecto a la orientación la investigación es de naturaleza **Mixta**, debido a que está orientada a mejorar el proceso y al logro de una situación futura mejor.

Para el ítem 5 – Respecto al principio de verdad, la investigación es de naturaleza **Cualitativa**, porque está centrado en similitudes según las diferentes aplicaciones identificadas relacionadas.

Para el ítem 6 – Respecto a la perspectiva del investigador, la investigación es de naturaleza **Cualitativa** porque el investigador está próximo a los datos y está dentro de la problemática

Para el ítem 7 – Respecto a la causalidad, la investigación es de naturaleza **mixta**, porque se presenta interacción de factores, así mismos antecedentes específicos.

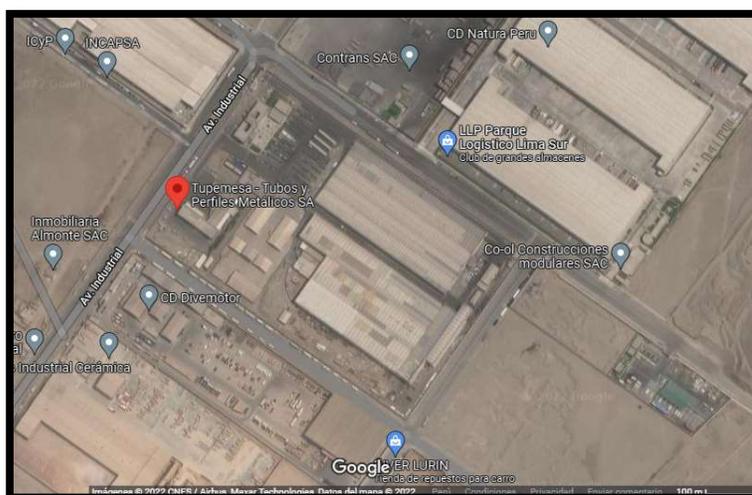
De la **Tabla 4.1**, muestra la naturaleza de la investigación: tres cuantitativas y dos cualitativas y dos mixtas. Por lo que la presente investigación es de naturaleza **CUANTITATIVA**.

4.2. Unidad de Análisis

La unidad de análisis es la tecnología que se utilizara para realizar la inmersión de lingotes de Zinc en lecho de Zinc fundido a 450°C, partiendo de la necesidad de mitigar riesgos laborales presentes en el proceso de galvanizado en caliente dentro de la empresa TUPEMESA.

La empresa TUPEMESA, se encuentra ubicada en el distrito de Lurín – Av. Industrial S/N Z.I. Predio Almonte Altura KM.40 Antigua Panamericana Sur.

Fig. 4.1 – Ubicación de Unidad de Análisis.



Fuente: Cortesía de la empresa TUPEMESA 10.2021

4.3. Matriz de Consistencia

Título: “Análisis de la inmersión de Lingotes de Zinc en lecho de zinc fundido a 450°C para mitigar riesgos laborales y mantener la productividad operativa”.

Tabla 4.2 – Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES		INDICADORES		RECOLECCION DE DATOS
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE			
¿Cómo realizar la inmersión de lingotes de Zinc, en una tina de metal fundido a 450°C, mitigando riesgos para mantener la productividad operativa?	Analizar la inmersión de lingotes de Zinc en baños de Zinc Fundido a 450°C para mitigar riesgos laborales y mantener la productividad operativa.	El análisis de la inmersión de lingotes de zinc en lecho de zinc fundido a 450°C permitirá mitigar riesgos laborales y mantener la productividad operativa.	Riesgos laborales, potencialmente peligrosos para las actividades diarias del personal operativo.	Análisis de la inmersión de lingotes de zinc en baños de zinc fundido a 450°C.	Reducir el número de interrupciones al proceso, por recarga de lingotes de zinc.	Reducir el daño ergonómico del personal por la actividad de recarga de lingotes de zinc.	Registro de eventos de intervención.
					Reducir el periodo de recarga de lingotes de zinc.	Eliminar la exposición del personal al lecho de zinc fundido.	Registro de frecuencias de recarga.
					Reducir la ocupación del personal operativo en la operación de recarga de lingotes de zinc.		Análisis de actividades con enfoque en seguridad laboral y desempeño operacional.
						Análisis de riesgo en el proceso productivo de inmersión en galvanizado en caliente.	

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO 5: DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

Para analizar las tecnologías de inmersión de lingotes de zinc en lecho de zinc fundido a 450°C, y con esto mitigar los riesgos laborales presentes para los operadores, se siguió una secuencia de cálculos, análisis, evaluaciones y dimensionamiento de componentes, para finalmente cuantificar el monto necesario para esta implementación.

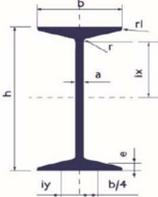
- ✓ Desglose de actividades realizadas por los operadores, durante la inmersión de lingotes de zinc.
- ✓ Elaboración del análisis de trabajo, para identificar los peligros potenciales y los riesgos presentes, así como las medidas de control necesarias para realizar estas actividades.
- ✓ Criterios de evaluación a los controles de ingeniería necesarios, para reducir los riesgos identificados.
- ✓ Dimensionamiento y selección de los equipos motrices y sus componentes.
- ✓ Análisis de la criticidad de los componentes propuestos.
- ✓ Valorización y evaluación de los costos de inversión económica de toda la implementación.

5.1. Inmersión de lingotes de zinc.

El análisis de las tecnologías existentes de inmersión de lingotes de zinc, está orientado a reducir el peligro que representa esta tarea para los operadores frente al lecho de zinc fundido a 450°C. Aquí tenemos que desglosar las actividades que realiza el operador paso por paso.

En la **Fig. 5.1**, esta identificada las características de la sección estructural a galvanizar. Además, el recubrimiento de zinc se aplicó en todo el perímetro de cada estructura, considerando UNE EN ISO 10346, un espesor de zinc aproximado de 50µm – 75µm.

Fig. 5.1 – Perfil Estructural tipo I.



PERFILES IPN
MEDIDAS Y PROPIEDADES DE LA SECCIÓN

CENTRO DE SOLUCIONES PARA LA INDUSTRIA
SIBERSA

COMPANY WITH QUALITY SYSTEM CERTIFIED BY DNV GL = ISO 9001 =

Designación del Perfil	Altura	Ala	Espesor Ala	Espesor Alma	Radios de Acuerdo		Sección Nominal	Masa Nominal	Momento de Inercia		Módulo Resistente		Radio de Giro	
	h	b	a	e	r	r ₁	S	G	I _x	I _y	W _x	W _y	i _x	i _y
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Cm ²	Kg/m	Cm ⁴	Cm ⁴	Cm ³	Cm ³	Cm	Cm
IPN 80	80	42	3.9	5.9	3.9	2.3	7.6	5.9	77.8	6.29	19.5	3.00	3.20	0.91
IPN 100	100	50	4.5	6.8	4.5	2.7	10.6	8.3	171	12.2	34.2	4.88	4.01	1.07
IPN 120	120	58	5.1	7.7	5.1	3.1	14.2	11.2	328	21.5	54.7	7.41	4.81	1.23
IPN 140	140	66	5.7	8.6	5.7	3.4	18.3	14.3	573	35.2	81.9	10.7	5.61	1.40

Fuente: Norma IRAM – IAS U500-511 Calidad de Acero F26

Se considero un grupo de estructuras con perfiles tipo - IPN100 según largos indicados, para galvanizar por inmersión en caliente en lecho de zinc fundido a 450°C.

Tipo A: 100 vigas tipo – IPN100 Largo de 5 ml.

Tipo B: 65 vigas tipo – IPN100 Largo de 7.5 ml.

Tipo C: 40 vigas tipo – IPN100 Largo de 12.5 ml.

Teniendo como área a galvanizar toda la superficie perimétrica de la estructura, se desarrolló esta fórmula, para trabajar con estas variables.

$$m_{zn} = \rho_{zn} * (2 * h + 4 * b) * e_p * \sum (N_i * L_i) \quad (5.1)$$

Donde, cada variable respecto a las dimensiones de la viga representa:

$h = 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm}$; el alma de la viga IPN 100.

$b = 50 \text{ mm} = 5 \text{ cm}$; el ala superior e inferior de la viga IPN100.

$\rho_{zn} = 7.13 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$; la densidad del zinc.

$e_p = 67.5 \mu\text{m} = 67.5 * 10^{-4} \text{ cm}$; el espesor promedio de capa de zinc deseado.

$N_A = 100$ vigas tipo IPN100 de $L_A = 5 \text{ m} = 500 \text{ cm}$; del perfil tipo A.

$N_B = 65$ vigas tipo IPN100 de $L_B = 7.5 \text{ m} = 750 \text{ cm}$; del perfil tipo B.

$N_C = 40$ vigas tipo IPN100 de $L_C = 12.5 \text{ m} = 1250 \text{ cm}$; del perfil tipo C.

Calculando la masa de zinc, que vamos a necesitar para atender este requerimiento, el proceso de galvanizado en caliente a trabajar se realizara en tres inmersiones, consumiendo un promedio de Zn:

$$m_{zn} = 7.13 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} (2 * 10 \text{ cm} + 4 * 5 \text{ cm}) * 67.5 * 10^{-4} \text{ cm} (100 * 500 \text{ cm}) = 96.3 \text{ kg}$$

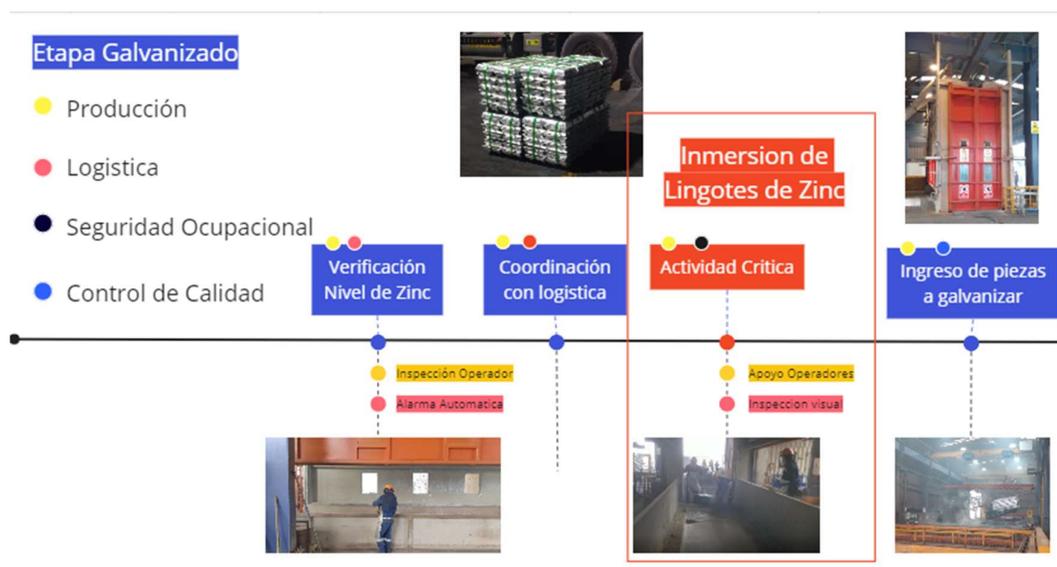
$$m_{zn} = 7.13 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} (2 * 10 \text{ cm} + 4 * 5 \text{ cm}) * 67.5 * 10^{-4} \text{ cm} (65 * 750 \text{ cm}) = 93.8 \text{ kg}$$

$$m_{zn} = 7.13 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} (2 * 10 \text{ cm} + 4 * 5 \text{ cm}) * 67.5 * 10^{-4} \text{ cm} (40 * 1250 \text{ cm}) = 96.3 \text{ kg}$$

Sumando los valores obtenidos por cada inmersión, obtendremos una masa total de 286.4kg, promedio. Al dividir el peso necesario de zinc con el peso de cada lingote; necesitamos mínimo once lingotes de zinc, durante el proceso de galvanizado por inmersión en caliente para las estructuras indicadas.

Para compensar el consumo de zinc el operador tiene que realizar coordinaciones internas con el encargado de almacén y el personal de apoyo, además el proceso estará detenido hasta terminar con la recarga de zinc. En la **Fig. 5.2**, se desglosa las actividades y puntos críticos para la operación de inmersión de piezas de acero en lecho de zinc fundido a 450°C.

Fig. 5.2 – Preparación de la Tina o baño de Zinc a 450°C.



Fuente: Elaboración propia

Considerando el D.S. N°024-2019-EM (2019) “Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería”. Utilizaremos el formato propuesto para realizar el análisis de trabajo, en la **Tabla 5.1** se desglosan las actividades y el peligro presente en cada una; además, calculando el nivel de riesgo y las medidas de control necesarios a implementar. Identificamos las actividades a desarrollar:

- ✓ Solicitar apoyo del personal del área. (Dos colaboradores).
- ✓ Coordinar con logística el traslado de los lingotes de zinc. (Once lingotes).
- ✓ Detener el proceso de galvanizado. Para iniciar con la inmersión.
- ✓ Ingresar los lingotes de zinc en el lecho de zinc fundido a 450°C.
- ✓ Cerrar las compuertas y retomar el proceso de galvanizado.

Tabla 5.1 – Análisis de trabajo.

No.	ACTIVIDAD	PELIGROS	RIESGO	EVALUACIÓN DEL RIESGO			MEDIDAS DE CONTROL A IMPLEMENTAR	TIPO DE CONTROL	RE-EVALUACIÓN DEL RIESGO		
				PROBABILIDAD	SEVERIDAD	Nivel del Riesgo			PROBABILIDAD	SEVERIDAD	Nivel del Riesgo
1	Recarga o inmersión de lingotes de zinc, para mantener el nivel de zinc fundido a 450°C.	Caída a desnivel, dentro de la tina de lecho fundido de zinc a 450°C.	Quemadura de tercer grado, con posible amputación de miembros.	C	1	4	Capacitación certificada a los operadores, sobre el trabajo con metal líquido. Facilitar a los operadores, equipos de anclaje que lo mantengan distantes 30cm. Facilitar equipos de protección recubiertos en fibra, para aislarlos térmicamente.	3	E	1	11
		Daño ergonómico del operador, por actividades recurrentes.	Lesiones crónicas lumbares.	A	3	6	Capacitación certificada a los operadores, por personal de salud laboral. Facilitar al operador un sistema articulado ingrávido , para realizar la maniobra. Implementar un sistema electromecánico, para realizar la descarga de los lingotes.	2, 3 y 4	E	3	20
		Daño ergonómico del operador, por carga de 26Kgr.	Lesiones crónicas lumbares.	A	3	6	Capacitación certificada a los operadores, por personal de salud laboral. Facilitar al operador un sistema articulado ingrávido , para realizar la maniobra. Implementar un sistema electromecánico, para realizar la descarga de los lingotes.	2, 3 y 4	E	3	20
		Intoxicación por inhalación de gases y/o vapores de zinc.	Intoxicación.	B	3	9	Facilitar respiradores con filtros para gases y polvos, a cada operador. Evitar la participación del operador en un radio de 50cm del proceso de inmersión de piezas de acero en el lecho de zinc fundido a 450°C.	1, 2 y 5	D	3	17
		Lesión por salpicadura de zinc fundido a 450°C.	Quemadura al trabajador.	D	3	17	Capacitación certificada a los operadores, sobre el trabajo con metal líquido. Facilitar equipos de protección recubiertos en fibra, para aislarlos térmicamente.	3 y 5	E	3	20
		Quemaduras por exposición a superficies calientes.	Quemadura al trabajador.	C	4	18	Capacitación certificada a los operadores, sobre el trabajo con metal líquido. Facilitar equipos de protección recubiertos en fibra, para aislarlos térmicamente.	3 y 5	E	4	23

Fuente: Elaboración propia

5.2. Análisis de los controles necesarios para mitigar el riesgo.

Antes de implementar los controles de ingeniería, señalizaciones y/o alertas para que los operadores no sigan exponiéndose a sufrir una lesión, en la **Fig. 5.3** se representaron los peligros potenciales de la actividad de inmersión de lingotes de zinc, para los operadores del proceso de galvanizado en caliente. Siendo estas:

- ✓ Caída a desnivel. (Lecho de zinc a 450°C). Posición (A)
- ✓ Ergonomía. (Peso por lingote de zinc 26 kg). Posición (B)
- ✓ Intoxicación. (Gases tóxicos por tratamiento de acero). Posición (C)
- ✓ Metal fundido. (Lecho de zinc a 450°C). Posiciones (A), (B) y (C)
- ✓ Superficies calientes. (Lecho de zinc a 450°C). Posición (B)

Fig. 5.3 – Tarea operacional. Inmersión de lingotes de zinc en lecho de zinc a 450°C.



Fuente: Elaboración propia

La tecnológica presentada, tiene que cumplir una serie de requerimientos solicitados por cada área involucrada en el proceso de galvanizado en caliente.

Criterios Diseño

Según DIN EN ISO 8373: "Un robot industrial es un manipulador controlado automáticamente, de uso múltiple y libremente programable que puede programarse en tres o más ejes y puede estar instalado en un lugar fijo o puede estar dispuesto de forma móvil para su utilización en la técnica de automatización.

- ✓ Control de posición por precisión.
- ✓ Control de inercia.
- ✓ Componentes convencionales (eléctricos y/o neumáticos).
- ✓ Control de seguridad.

Criterios de Seguridad Operacional

La norma UNE – EN 1050: establece los aspectos a considerar para la identificación de los peligros potenciales y consideraciones para la estimación del riesgo asociado. Sujeto de esta evaluación se establecen aspectos indicados aquí.

- ✓ Personas expuestas.
- ✓ Tipo, frecuencia y duración de la exposición.
- ✓ Relación entre exposición y efectos.
- ✓ Factores humanos.
- ✓ Fiabilidad de las funciones de seguridad.
- ✓ Posibilidad de neutralizar o de burlar las medidas de seguridad.

Para poder uniformizar los criterios de evaluación y comparación, se tiene preparado un formato, según los aspectos mencionados en cada norma de aplicación.

Para la primera alternativa tenemos **Tabla 5.2** un sistema de manipulación e inmersión de lingotes de zinc, cuyos componentes son estructurales y de accionamiento neumático; el operador activa cada secuencia del movimiento.

Tabla 5.2 – Análisis de la primera alternativa de control.

Sistema Manipulado C/Fuente Neumatica	(01)	Desarrollo Planteado		Anotaciones, referentes a la propuesta planteada.							
		CR 01	Sistema neumático, manualmente dependiente.								
		CR 02	Desarrollado, solo para un tipo de molde y posición de manipulación.								
		CR 03	Accesorios y componentes comerciales.								
		CR 04	Mantiene un perfil de movimiento, para traslación y rotación.								
		CR 05	La operación depende del operador y no lo libera del problema ergonómico.								
		CR 06	La actividad la realiza en el perímetro del lecho de zinc fundido.								
		CR 07	Aun mantiene los problemas ergonómicos y la frecuencia de carga es baja, dos lingotes por turno.								
		CR 08	El funcionamiento depende del operador.								
		CR 09	El sistema es de funcionamiento discreto (step by step), no cuenta con barreas de seguridad.								
		CR 10	Al ser un sistema step by step, no contempla un cambio en la secuencia de operación.								
	Criterios de Diseño DIN EN ISO8373				Criterios de Seguridad Operacional UNE EN1050						
	Control de posición por precisión	Control de inercia	Componentes convencionales	Control de seguridad	Personas no expuestas	Representa una baja exposición a lesiones.	Relación entre exposición y efectos	No requiere la operación humana	Nivel de seguridad operacional	Nivel de seguridad del sistema	
	CR 01	CR 02	CR 03	CR 04	CR 05	CR 06	CR 07	CR 08	CR 09	CR 10	Resultado
	1	0	3	0	1	2	1	1	1	2	✘ 40%

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, en la **Tabla 5.3** se evalúa un sistema de manipulación de lingotes de zinc con accionamientos servocontrolados y componentes estructurales y articulados; estos sistemas cuentan con más de seis grados de libertad y el espacio de trabajo está alrededor del eje de la base.

Tabla 5.3 – Análisis de la segunda alternativa de control.

Sistema Servocontrolado por Brazo Robotico	(02)	Desarrollo Planteado		Anotaciones, referentes a la propuesta planteada.							
		CR 01	Sistema totalmente automático, programable y reconfigurable.								
		CR 02	Permite poder manipular, cualquier forma de objeto.								
		CR 03	Accesorios y componentes no comerciales. Sin embargo, cuentan con una garantía de alto								
		CR 04	El área de operación, esta sujeta al radio de acción del sistema en movimiento.								
		CR 05	El sistema no requiere la participación de un operador, solo para iniciar y activar la secuencia.								
		CR 06	El sistema realiza toda la operación de carga y descarga de lingotes de zinc.								
		CR 07	El sistema requiere la asistencia de un alimentador electromecánico.								
		CR 08	El sistema es 100% automático, una vez que se realizo la programación de la operación.								
		CR 09	Sistema requiere del bloqueo de seguridad en la región de trabajo para la normal operación.								
		CR 10	Adicional se requiere una malla de seguridad para su operación.								
	Criterios de Diseño DIN EN ISO8373				Criterios de Seguridad Operacional UNE EN1050						
	Control de posición por precisión	Control de inercia	Componentes convencionales	Control de seguridad	Personas no expuestas	Representa una baja exposición a lesiones.	Relación entre exposición y efectos	No requiere la operación humana	Nivel de seguridad operacional	Nivel de seguridad del sistema	
	CR 01	CR 02	CR 03	CR 04	CR 05	CR 06	CR 07	CR 08	CR 09	CR 10	Resultado
3	3	1	3	3	3	1	3	3	3	 87%	

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 5.4** se evalúa una tercera propuesta que considera un sistema ingrávito, cuyos componentes son estructurales y con accionamiento eléctrico y manual. Este sistema es controlado por el operador en cada etapa de su accionamiento.

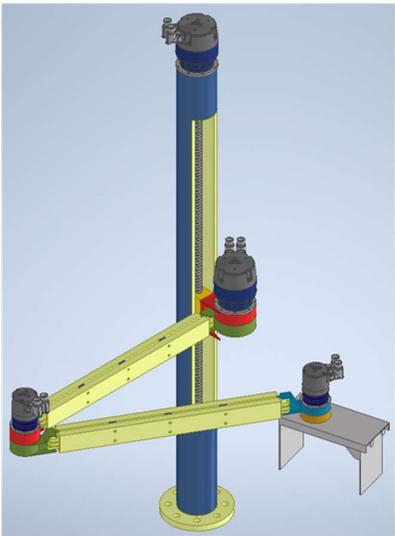
Tabla 5.4 – Análisis de la tercera alternativa de control.

Sistema manipulador ingravido	(03)	Desarrollo Planteado				Anotaciones, referentes a la propuesta planteada.							
		CR 01	El sistema es operado con mínimo esfuerzo de forma manual.										
		CR 02	No existe un control de inercia, toda la operación es manual y controlada eléctricamente.										
		CR 03	Los componentes son comerciales y de fácil mantenimiento.										
		CR 04	Al ser un sistema manual, no presenta ningún control de seguridad.										
		CR 05	Genera la dependencia con un operador, para la manipulación de cada lingote.										
		CR 06	Representa una ocupación para el operador, así como un impedimento para su normal operación.										
		CR 07	No libera la exposición del operador al metal fundido.										
		CR 08	Depende en su totalidad del operador, para su operación.										
		CR 09	No tiene ninguna restricción de seguridad para su normal operación.										
		CR 10	Solo cuenta con un sistema de bloqueo eléctrico. Sin embargo esta debe de ser accionada por el										
	Criterios de Diseño DIN EN ISO8373				Criterios de Seguridad Operacional UNE EN1050								
	Control de posición por precisión	Control de inercia	Componentes convencionales	Control de seguridad	Personas no expuestas	Representa una baja exposición a lesiones.	Relación entre exposición y efectos	No requiere la operación humana	Nivel de seguridad operacional	Nivel de seguridad del sistema			
	CR 01	CR 02	CR 03	CR 04	CR 05	CR 06	CR 07	CR 08	CR 09	CR 10	Resultado		
	0	0	3	0	1	2	1	1	1	1	✖ 33%		
Análisis de alternativas (0) - No aplica (1) - Bajo (2) - Medio (3) - Alto													

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 5.5** se evalúa una cuarta propuesta preparada según los controles establecidos en el análisis de seguridad para mitigar los niveles de riesgo presentes en la actividad de inmersión de lingotes de zinc.

Tabla 5.5 – Análisis de la cuarta alternativa de control.

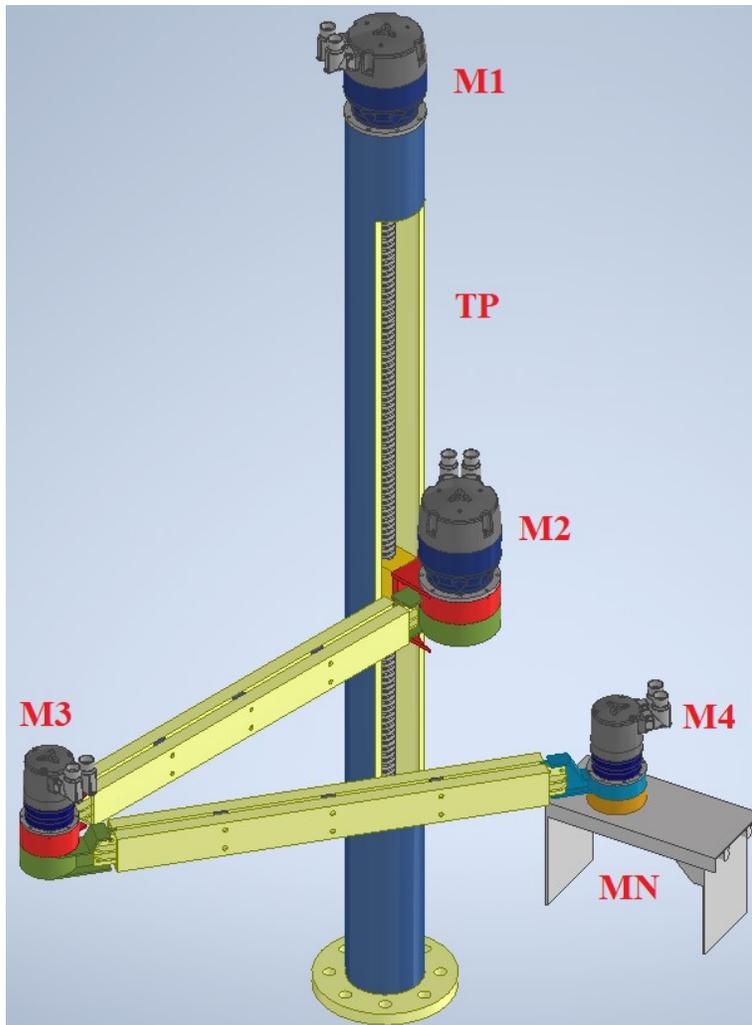
Sistema Servocontrolado en Plano Cartesiano	(04)	Desarrollo Planteado		Anotaciones, referentes a la propuesta planteada.								
		CR 01	Sistema totalmente automático, programable y reconfigurable.									
		CR 02	Permite poder manipular cualquier forma de bloque.									
		CR 03	Accesorios y componentes comerciales - Electromecánico y neumático. Faculta el control de									
		CR 04	La operación del sistema, se realiza en un radio controlado y área específica.									
		CR 05	El sistema no requiere la participación de un operador, solo para iniciar y activar la secuencia.									
		CR 06	El sistema realiza toda la operación de carga y descarga de lingotes de zinc.									
		CR 07	El sistema trabaja a condición, cada vez que se posiciona el paquete para la recarga de lingotes de									
		CR 08	Requiere supervisión visual no permanente, durante su operación.									
		CR 09	El sistema cuenta con un control de seguridad perimétrico.									
		CR 10	Cuenta con un sistema de seguridad, que impide acceder al operador y/o cualquier otro agente de									
	Criterios de Diseño DIN EN ISO8373				Criterios de Seguridad Operacional UNE EN1050							
	Control de posición por precisión	Control de inercia	Componentes convencionales	Control de seguridad	Personas no expuestas	Representa una baja exposición a lesiones.	Relación entre exposición y efectos	No requiere la operación humana	Nivel de seguridad operacional	Nivel de seguridad del sistema		
	CR 01	CR 02	CR 03	CR 04	CR 05	CR 06	CR 07	CR 08	CR 09	CR 10	Resultado	
3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	✓	93%	

Fuente: Elaboración propia

5.3. Cálculo y selección de componentes motrices.

Para el cálculo y selección de componentes motrices del sistema propuesto, en la **Fig. 5.4** se presenta un listado de los componentes y la codificación correspondiente para la identificación y posterior dimensionamiento de cada uno.

Fig. 5.4 – *Ubicación de componentes frente a diseño propuesto.*



TP - Tornillo de potencia.

M1 – Servo motor con reductor.

M2 – Actuador eléctrico con reductor. Bisagra 1.

M3 – Actuador eléctrico con reductor. Bisagra 2.

M4 – Actuador eléctrico con reductor para manipulador.

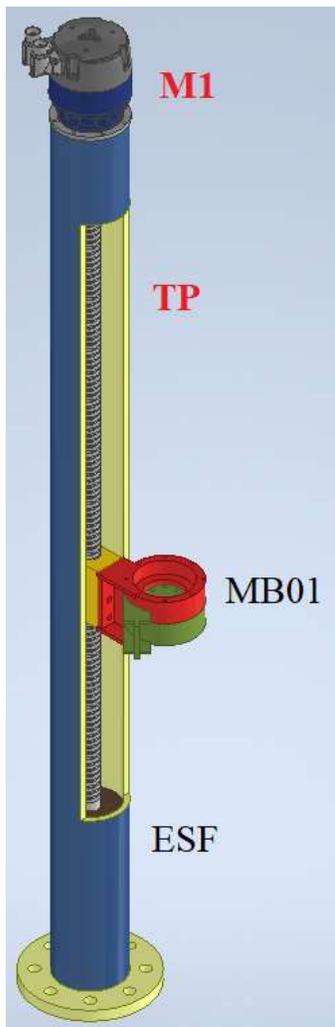
MN – Manipulador neumático para sujeción de los lingotes de zinc.

Fuente: Elaboración propia

5.3.1. Cálculos para dimensionar los componentes del eje vertical.

Considerando que para trasladar de forma vertical el sistema tipo manipulador, se tiene considerado un tornillo de potencia, como el mostrado en la **Fig. 5.5** compuesto por una estructura soporte para los componentes motrices, el tornillo de potencia, la nuez que tiene fijada la bisagra del manipulador.

Fig. 5.5 – Sistema de control de movimiento vertical.



M1 – Servo motor con reductor.

TP – Tornillo de potencia, para traslación de sistema.

MB01 – Tuerca roscada para el tornillo de potencia unida al reductor helicoidal, para el giro controlado del actuador M2.

ESF – Estructura soporte tubular para fijación superior e inferior del tornillo de potencia.

Fuente: Elaboración propia

Considerando la carga y tipo de carga, para el tornillo de potencia.

Para dimensionar el tornillo de potencia, se realizó el análisis de esbeltez y el análisis de compresión y torsión.

Datos a considerar:

$m_{zn} = 26 \text{ kg}$; masa de cada lingote de Zinc.

$m_{mp} = 14 \text{ kg}$; masa del manipulador neumático.

$m_{m3} = m_{m4} = 10 \text{ kg}$; masa del motor M3 y M4.

$m_{m2} = 14 \text{ kg}$; masa del motor M2.

$m_{sp1} = m_{sp2} = 5.6 \text{ kg}$; masa del soporte para fijación de los motores M2, M3 y M4.

$m_{total} = 26 + 14 + 2 * 10 + 14 + 2 * 5.6 = 85.2 \text{ kg}$; masa total neta desplazada.

Se considera un factor de sobre carga del 25%, como masa bruta a desplazar.

$$m_{total} = 1.25 * 85.2 = 106.5 \text{ kg} \quad (5.2)$$

Análisis de esbeltez.

De las ecuaciones de Euler (2.14) y la relación de esbeltez (2.16) se calcula:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(l_e/r)^2}$$

Considerando que el acero SAE 1045 – [$\sigma_y = 310 \text{ MPa}$; $E = 200 \text{ GPa}$]

Al tratarse de un sistema de extremos fijos la relación de esbeltez será:

$$l_e/r = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 200 \text{ GPa}}{310 \text{ MPa}}} = 112.9$$

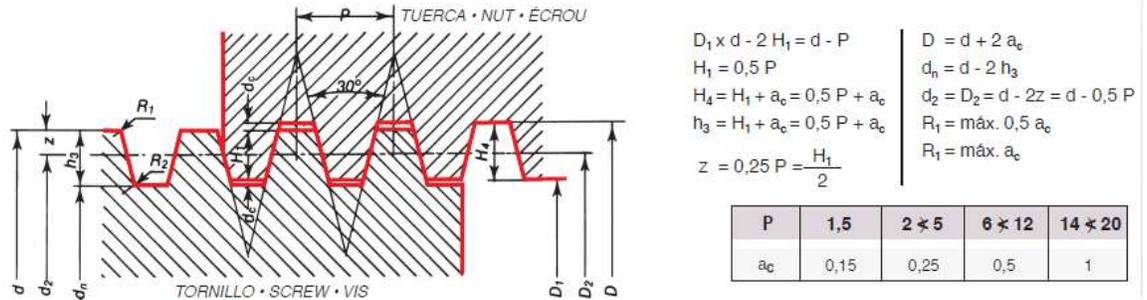
Considerando también que la relación de esbeltez, es una división:

$$l_e/r = \frac{\beta \cdot L}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = \frac{1x0.8}{\sqrt{2x}D_r/4}$$

De ambos cálculos tendremos; $D_r = 20.05 \text{ mm}$

En la **Fig. 5.6**, se presentan las dimensiones estandarizadas de la rosca métrica tipo trapezoidal con normativa DIN103, considerando las características para la consideración del tornillo de potencia a trabajar:

Fig. 5.6 – Perfil roscado Trapezoidal ISO.



Ø Nominal Ø Nominal Ø Nominal		Paso Pitch Pass	Ø Medio Pitch Ø Ø Moyen	Ø Exterior Outside Ø Ø Extérieur	Ø Núcleo Core Ø Ø Noyau	
Serie 1	Serie 2	P	d ₂ = D ₂	D	d _n	D ₁
	Tr 26	3	24,500	26,500	22,500	23,000
		5	23,500	26,500	20,500	21,000
		8	22,000	27,000	17,000	18,000
Tr 28		3	26,500	28,500	24,500	25,000
		5	25,500	28,500	22,500	23,000
		8	24,000	29,000	19,000	20,000
	Tr 30	3	28,500	30,500	26,500	27,000
		6	27,000	31,000	23,000	24,000
		10	25,000	31,000	19,000	20,000

DIN 103

ROSCA TRAPEZOIDAL
METRICA - ISO

Fuente: Norma DIN103

Se considero una rosca de perfil trapezoidal cuyo diámetro exterior es de 28mm y paso de 5mm con diámetro raíz de 22.5mm.

TR28 x 5, cuyo diámetro raíz es 22.5mm

Datos a considerar:

$\beta = 1$; factor de corrección de altura según tipo de empotramiento **Fig. 2.12**.

$L = 0.8 m$; altura de trabajo del sistema manipulador de lingotes de zinc.

$D_r = 22.5 mm$; diámetro raíz del tornillo de potencia.

Completando la ecuación (2.16) la relación de esbeltez:

$$l_e/r = \frac{\beta \cdot L}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = \frac{1 \times 0.8}{\sqrt{2 \times D_r/4}} = \frac{1 \times 0.8 \times 4}{\sqrt{2 \times (0.0225)}} = 100.6$$

De la gráfica **Fig. 2.11** – Relación de tensión crítica frente a la esbeltez., se determinó que en el análisis de criticidad de esfuerzos requiere de la ecuación de Thompson para el tornillo de potencia $l_e/r < l_e/r_{cr}$; [100.56 < 112.85], considerando la ecuación (2.15) para determinar el esfuerzo de criticidad:

$$\begin{aligned} \sigma_{cr} &= S_y - \frac{1}{E} \left(\frac{S_y}{2\pi} \right)^2 \left(l_e/r \right)^2 \\ \sigma_{cr} &= 310 \text{MPa} - \frac{1}{200 \text{GPa}} \left(\frac{310 \text{MPa}}{2\pi} \right)^2 (100.566)^2 \\ \sigma_{cr} &= 186.91 \text{MPa} \end{aligned}$$

Considerando como criterio de aprobación un factor de seguridad en un rango de 2 a 5, como resultado de la ecuación (2.17).

$$F_{seg} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{cr}} = \frac{310}{186.91} = 1.66$$

Se considera como factor de seguridad aceptable un valor por encima de dos; se evaluará en la **Fig. 5.6** el tornillo estándar siguiente. TR30x10, para el tornillo de potencia.

TR30 x 10, cuyo diámetro raíz es 19mm

Completando la ecuación (2.16) para la relación de esbeltez, considerando un tornillo de potencia de mayor diámetro y menor diámetro raíz:

$$l_e/r = \frac{\beta \cdot L}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = \frac{1 \times 0.8}{\sqrt{2 \times D_r/4}} = \frac{1 \times 0.8 \times 4}{\sqrt{2 \times (0.019)}} = 119.1$$

De la gráfica **Fig. 2.11** – Relación de tensión crítica frente a la esbeltez., se determinó que en el análisis de criticidad de esfuerzos requiere de la ecuación de Euler para el tornillo

de potencia $l_e/r > l_e/r_{cr}$; [119.1 > 112.85], considerando la ecuación (2.14) para determinar el esfuerzo de criticidad:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(l_e/r)^2}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 200GPa}{(119.1)^2}$$

$$\sigma_{cr} = 139.16MPa$$

Considerando como criterio de aprobación un factor de seguridad en un rango de 2 a 5, como resultado de la ecuación (2.17).

$$F_{seg} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{cr}} = \frac{310}{139.16} = 2.23$$

Concluyendo por el análisis de esbeltez al tornillo de potencia

TR30x10 – Rosca Trapezoidal Métrica DIN103.

Análisis por esfuerzo de compresión y torsión.

Para el análisis de esfuerzos de compresión y torsión en el núcleo consideraremos las ecuaciones (2.10) y (2.11). Además, analizaremos la máxima capacidad de carga que puede aguantar el tornillo de potencia, considerando un factor de seguridad de 4.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot F_{axial}}{\pi \cdot d_r^2}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d_r^3}\right)^2}$$

Los valores de las variables identificadas son:

$$F_{total} = m_{total} * gravedad = 106.5 * 9.81 = 1044.7 N$$

Además, para calcular el torque usamos la ecuación (2.12) consideramos las siguientes variables:

$d_m = 25 mm$; Diámetro medio del tornillo de potencia según **Fig. 5.6**.

$\mu = 0.1$; Coeficiente de fricción.

$\alpha = 15^\circ$; Angulo de avance.

$\lambda = 3^\circ$; Angulo desfazado.

$$T = \frac{F_{axial} \cdot 0.025}{2} \left[\frac{0.1 + \cos 15^\circ * \tan 3^\circ}{\cos 15^\circ - 0.1 * \tan 3^\circ} \right] + \frac{0.1 * F_{axial} * 0.025}{2}$$

$$T = (2.3518 * 10^{-3} + 0.95 * 10^{-3}) * F_{axial} \quad (5.3)$$

Por lo que tendríamos:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot F_{axial}}{\pi \cdot 0.025^2}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{16 \cdot (2.3518 * 10^{-3} + 0.95 * 10^{-3}) * F_{axial}}{\pi \cdot 0.025^3}\right)^2}$$

$$\sigma_{eq} = 4639.39 * F_{axial}$$

Se detalla como criterio de aprobación para el análisis de compresión y torsión del núcleo a la ecuación (2.17)

$$F_{seg} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{eq}} = \frac{310MPa}{4639.39 * F_{axial}}$$

Considerando un factor de seguridad de 2.5, tendríamos una fuerza máxima de carga:

$$\frac{310MPa}{4639.39 * F_{axial}} = 2.5$$

$$F_{axial} = 26.727 kN$$

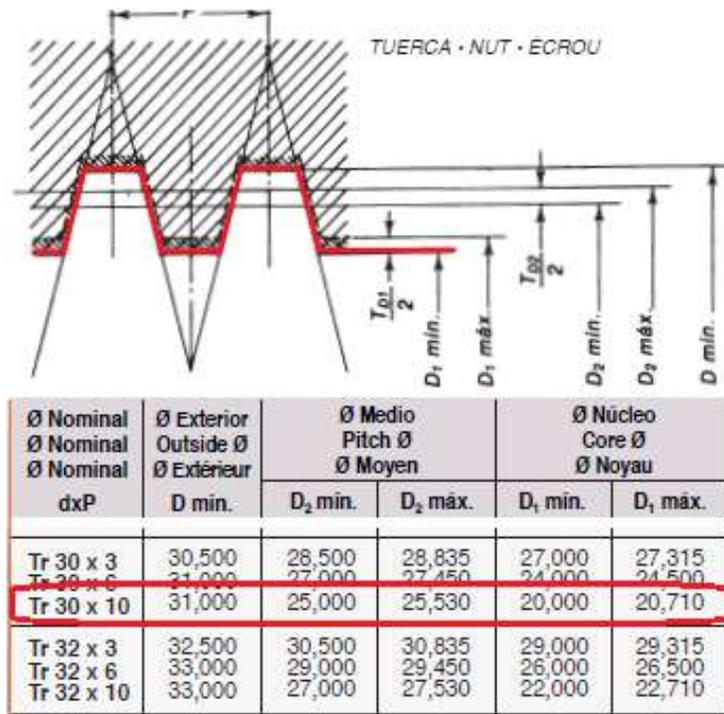
Por lo que tendríamos:

$$F_{axial}[26.727 kN] \gg F_{total}[1.045 kN]$$

En la **Fig. 5.7** podemos visualizar el perfil seleccionado y las dimensiones necesarias para su fabricación.

TR30x10 – Rosca Trapezoidal Métrica DIN103.

Fig. 5.7 – Perfil roscado seleccionado.

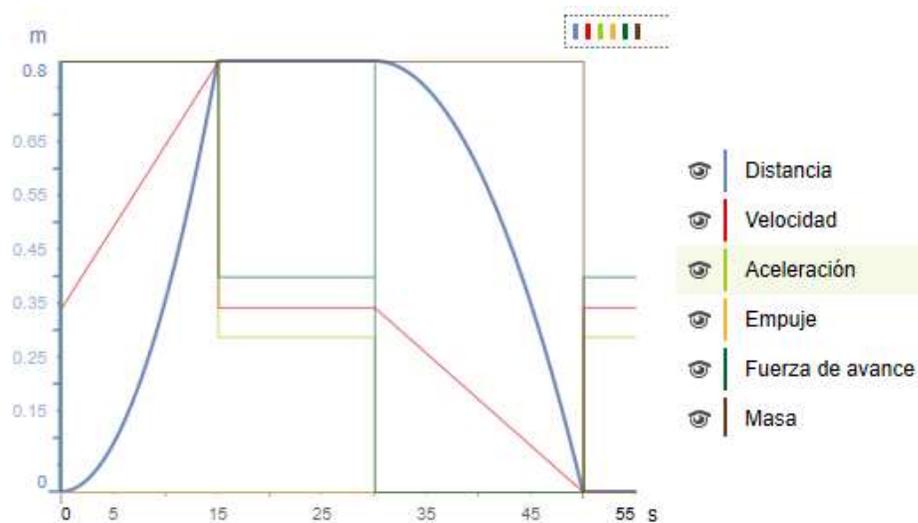


Fuente: Norma DIN103

Dimensionado el reductor que trabajara con el servomotor (M1).

Para dimensionar y seleccionar el reductor apropiado, se estableció un perfil de velocidad para el avance lineal de la tuerca o nuez roscada, como el presentado en la **Fig. 5.8**, donde identificamos el avance lineal en un periodo establecido, para que la descarga de los lingotes pueda completarse. Además, se determinó los pares del mecanismo presentes en su condición extrema (**Fig. 5.4; pag.64**), para compararlos con los valores de tablas del fabricante. Así como también los cálculos de vida útil del reductor seleccionado.

Fig. 5.8 – Perfil de velocidad de la carga en el tornillo de potencia.



Fuente: Perfil propuesto Cymex @ 5 (URANY SA)

Considerando las condiciones cinemáticas lineales de las ecuaciones (2.18) y (2.19); **página 36** obtendremos los siguientes valores, para el ascenso y el descenso respectivamente.

Para el ascenso.

$$a_i = \frac{2 * d_i}{(t_i - t_0)^2} = \frac{2 * 0.8}{(15 - 0)^2} = 7.11 \text{ mm/s}^2$$

$$v_i = a_i * (t_i - t_0) = 0.00711 * (15 - 0) = 106.7 \text{ mm/s}$$

Para el descenso.

$$a_f = \frac{2 * d_f}{(t_i - t_f)^2} = \frac{2 * 0.8}{(0 - 20)^2} = 4 \text{ mm/s}^2$$

$$v_f = a_f * (t_i - t_f) = 0.004 * (0 - 20) = 80 \text{ mm/s}$$

Para determinar la relación entre la velocidad lineal y la velocidad angular que tiene que tener el tornillo de potencia, utilizamos la ecuación **(2.8; página 32)** y además para determinar el valor de la aceleración angular utilizamos la ecuación **(2.21; página 39)** considerando el ascenso y descenso respectivamente.

Para el ascenso.

$$n_{max} = \frac{60 * V_{lineal}}{P} = \frac{60 * 106.7}{0.01} = 640.2 \text{ RPM}$$

$$\alpha_i = \frac{(\omega_i - \omega_0)}{(t_i - t_0)} = \frac{67.04 - 0}{15 - 0} = 4.5 \text{ rad/s}^2$$

Para el descenso.

$$n_{max} = \frac{60 * V_{lineal}}{P} = \frac{60 * 80}{0.01} = 480 \text{ RPM}$$

$$\alpha_i = \frac{(\omega_i - \omega_0)}{(t_i - t_0)} = \frac{50.27 - 0}{0 - 20} = -2.5 \text{ rad/s}^2$$

Además, del perfil de velocidad es importante determinar los torques o pares presentes para la normal operación del tornillo de potencia a través del reductor motriz a seleccionar. Para esta evaluación tenemos dos escenarios para el sistema manipulador; uno con carga (lingote de zinc) y otro sin carga (libre). Considerando las ecuaciones (2.12;página 33) y (2.22; página 39) tendremos los siguientes resultados:

Para el análisis con carga (lingote de zinc).

$$T_{resultante} = \sum I_i \cdot \alpha_i + T_l$$

$$T_{c.carga} = [I_{zn} + I_{mn} + I_{M4} + I_{M3} + I_{barra}] * \alpha_1 + [I_{c.carga}] * \alpha_2 \pm T_l$$

Considerando lo calculado para seleccionar el tornillo de potencia, en las ecuaciones (5.2, página 66) y (5.3, página 70).

$$T_l = (2.3518 * 10^{-3} + 0.95 * 10^{-3}) * F_{axial}$$

$$T_l = (2.3518 * 10^{-3} + 0.95 * 10^{-3}) * 106.5 * 9.81 = 3.45 \text{ N.m}$$

Ahora para determinar los momentos de inercia presentes por cada componente, según lo representado en la Fig. 5.4, tendremos que disponer de las ecuaciones mostradas en la Tabla 2.7 y en la Tabla 2.8, según cada aplicación correspondiente.

- ✓ Para el bloque de zinc. $I_{zn} = (m_{zn}) * (2 * r)^2$
- ✓ Para el manipulador neumático: $I_{mn} = (m_{mn}) * (2 * r)^2$
- ✓ Para el motor M4: $I_{M4} = (m_{M4}) * (2 * r)^2$
- ✓ Para el motor M3: $I_{M3} = (m_{M3}) * (r)^2$
- ✓ Para los soportes estructurales: $I_{barra} = \frac{7}{3} * m_{B1} * r^2 + \frac{1}{3} * m_{B2} * r^2$
- ✓ Para el movimiento lineal y el husillo con carga:

$$I_{mv} = m_{total} * \left(\frac{V_{lineal}}{\omega_i} \right)^2 + \frac{\pi}{2} * L * \rho * \left(\frac{d_m}{2} \right)^4$$

Además, para calcular el torque resultante consideramos las siguientes variables:

$m_{zn} = 26 \text{ kg}$; masa de un lingote de zinc.

$m_{mn} = 14 \text{ kg}$; masa del manipulador neumático.

$m_{Mx} = 10 \text{ kg}$; masa del motor reductor a trabajar.

$m_{Bx} = 5.6 \text{ kg}$; masa del soporte estructural.

$m_{total} = 106.5 \text{ kg}$; masa total del sistema en manipulación.

$r = 0.7 \text{ m}$; longitud del soporte estructural.

$L = 0.8 \text{ m}$; longitud del tornillo de potencia.

$\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$; densidad del Acero 1045.

$d_m = 25 \text{ mm}$; diámetro medio del Tornillo de potencia.

$\alpha_1 = 0.63 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$; Aceleración angular estimada para el brazo manipulador.

$\alpha_2 = 4.47 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$ y $2.51 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$; Aceleración angular calculada para el ascenso y descenso.

Reemplazando las variables y considerando al sistema con carga, obtendremos el siguiente resultado tanto para el ascenso como par el descenso:

$$T_{c.carga} = [50.96 + 27.44 + 19.6 + 4.9 + 7.32] * 0.63 + [2.698 * 10^{-4} + 2.41 * 10^{-4}] * 4.47 + 3.45$$

$$T_{c.carga} = 72.89 \text{ N.m (Ascenso)}$$

$$T_{c.carga} = [50.96 + 27.44 + 19.6 + 4.9 + 7.32] * 0.63 + [0.1082 + 2.41 * 10^{-4}] * 2.51 - 3.45$$

$$T_{c.carga} = 66.26 \text{ N.m (Descenso)}$$

Para el análisis sin carga (libre).

$$T_{resultante} = \sum I_i \cdot \alpha_i + T_l$$

$$T_{c.carga} = [I_{zn} + I_{mn} + I_{M4} + I_{M3} + I_{barra}] * \alpha_1 + [I_{c.carga}] * \alpha_2 \pm T_l$$

Considerando lo calculado para seleccionar el tornillo de potencia, en las ecuaciones (5.2, página 66) y (5.3, página 70), descontando la masa del lingote de zinc.

$$T_l = (2.3518 * 10^{-3} + 0.95 * 10^{-3}) * F_{axial}$$

$$T_l = (2.3518 * 10^{-3} + 0.95 * 10^{-3}) * (106.5 - 26) * 9.81 = 2.61 \text{ N.m}$$

Ahora considerando que los momentos de inercia son los mismos para el sistema manipulador y que solo retiraremos la masa del lingote de zinc. Tendremos una variación solo en el movimiento lineal y para el husillo de carga.

✓ Para el movimiento lineal y el husillo con carga:

$$I_{mv} = (m_{total} - m_{zn}) * \left(\frac{V_{lineal}}{\omega_i} \right)^2 + \frac{\pi}{2} * L * \rho * \left(\frac{d_m}{2} \right)^4$$

Reemplazando las variables y considerando al sistema sin carga, obtendremos el siguiente resultado tanto para el ascenso como par el descenso:

$$T_{s.carga} = [50.96 + 27.44 + 19.6 + 4.9 + 7.32] * 0.63 + [4.58 * 10^{-2} + 2.41 * 10^{-4}] * 4.47 + 2.61$$

$$T_{s.carga} = 72.25 \text{ N.m (Ascenso).}$$

$$T_{s.carga} = [50.96 + 27.44 + 19.6 + 4.9 + 7.32] * 0.63 + [8.178 * 10^{-2} + 2.41 * 10^{-4}] * 2.51 - 2.61$$

$$T_{s.carga} = 67.03 \text{ N.m (Descenso).}$$

Ahora para determinar el par medio del ciclo, utilizaremos la ecuación (2.25; página 40).

$$T_{2\ddot{a}} = \sqrt[3]{\frac{\sum(|T_i|^3 \cdot n_i \cdot t_i)}{\sum(|n_i| \cdot t_i)}}$$

$$T_{2\ddot{a}} = \sqrt[3]{\frac{72.89^3 * 67.04 * 15 + 72.25^3 * 67.04 * 15 + 66.26^3 * 50.27 * 20 + 67.03^3 * 50.27 * 20}{2 * 67.04 * 15 + 2 * 50.27 * 20}}$$

$$T_{2\ddot{a}} = 66.24 \text{ N.m}$$

Para determinar el par de emergencia, utilizamos la ecuación (2.26; página 38) considerando las siguientes variables:

$t_{not} = 1$ s; Tiempo de parada de emergencia.

$I_{carga} = 0.046$ Kgr. m^2 ; Momento de Inercia de la carga en el husillo.

$I_{sistema} = 110.22$ Kgr. m^2 ; Momento de Inercia del sistema.

$n_1 = 480$ RPM; Velocidad angular al descenso.

$n_2 = 15$ RPM; Velocidad angular del sistema.

$T_l = 3.45$ N. m ; Torque presente en el Tornillo de Potencia.

$$T_{2not} = \frac{I_{carga} \cdot n_1}{9.55 \cdot t_{not}} + \frac{I_{sist} \cdot n_2}{9.55 \cdot t_{not}} - T_l$$

$$T_{2n} = \frac{0.046 * 480}{9.55 * 1} + \frac{110.22 * 15}{9.55 * 1} - 3.45 = 171.98 \text{ N.m}$$

Resumiendo, presentamos en la Tabla 5.6, considerando los pares calculados para el sistema manipulador y del Tornillo de potencia.

Tabla 5.6 – Torques a considerar para el reductor del motor M1.

MOTO REDUCTOR M1		
Par de aceleración	T_{2b}	72.89 N.m
Par desaceleración	T_{2v}	66.26 N.m
Par medio del ciclo	$T_{2\ddot{a}}$	66.24 N.m
Par de parada de emergencia	T_{2not}	171.98 N.m

Fuente: Valores calculados

Para el cálculo del par de trabajo del servomotor (M1).

Después de establecer un perfil de velocidad en el ascenso y el descenso, podemos utilizar la ecuación (2.7; página 30) para calcular el valor de la velocidad media del tornillo de potencia.

$$n_{media} = \frac{n_{min} + 2 \cdot n_{max}}{3} = \frac{480 + 2 \cdot 640.2}{3} = 586.8 [rpm]$$

Además, utilizando las ecuaciones (2.29) y (2.30) en la página 42 y considerando los datos obtenidos en la **Tabla 5.6**, tenemos las siguientes variables:

$\omega_i = 586.8 \text{ RPM}$; Velocidad angular media para el tornillo de potencia.

$\omega_f = 2600 \text{ RPM}$; Velocidad angular estimada para el servomotor.

$\eta = 0.93$; Eficiencia esperada en el reductor.

$$i_r = \frac{\omega_f}{\omega_i} = \frac{2600}{586.8} = 4.41$$

Considerando el par medio del ciclo necesario por el reductor, para poder accionar el tornillo de potencia.

$$T_m = \frac{\sum I_i \cdot \alpha_i + T_c}{i_r \cdot \eta} = \frac{T_{2\ddot{a}}}{i_r \cdot \eta} = \frac{66.24}{4.431 \cdot 0.93} = 16.07 \text{ N.m}$$

Para la selección del servo reductor (M1).

Representamos el sistema con el uso del software Cymex @5, mostrando en la **Fig. 5.9** los componentes motrices modelados, para este eje de movimiento.

Fig. 5.9 – Componentes motrices para tornillo de potencia (M1).



Fuente: Movimiento lineal preparado en Cymex @ 5 (URANY SA)

Con el perfil de movimiento establecido en la **Fig. 5.8** y con los datos calculados de la **Tabla 5.6**, presentamos los componentes seleccionados en la **Fig. 5.10**, identificando al reductor (a) y servo motor (b).

Fig. 5.10 – Datos característicos del reductor para M1.

		NP025S-MA2-9-0E1-1S	
i	9	n_{1N}	3300 min ⁻¹
T_{2a}	185 Nm	n_{1Max}	8000 min ⁻¹
T_{2B}	125 Nm	F_{2AMax}	1900 N
T_{2N}	63 Nm	F_{2RMax}	2800 N
T_{2Not}	190 Nm	M_{2KMax}	137 Nm
J_1	0.58 kgcm ²		
D_6	19 mm		
Tipo de salida		Juego	
Eje liso		Estándar (10 arcmin)	
		Vida útil de servicio	
		20000	

(a)

		8L SN46.ee060ffgg-h	
		Fabricante del motor BuR	
Freno	No	n_{Max}	7200 min ⁻¹
T_{Max}	40.5 Nm	n_N	6000 min ⁻¹
T_N	7.7 Nm	U	400 V
J	13.65 kgcm ²	d	19 mm

(b)

Fuente: Servo motor con reductor seleccionado Cymex @ 5 (URANY SA)

Considerando los criterios de aprobación indicados en las ecuaciones (2.27; página 38), concluiremos que los valores seleccionados son **Apropiados**.

$$T_{2b/v} < T_{2B} ; \text{Criterio par de aceleración.}$$

$$T_{2no} < T_{2NOT} ; \text{Criterio par de freno o emergencia.}$$

Como resumen presentaremos lo valores calculados y seleccionados en **Tabla 5.7**.

Tabla 5.7 – Torques a considerar para el reductor del motor M1.

MOTO REDUCTOR M1	Carga calculada	Reductor	Motor
Diámetro nominal D_n	25 mm	19 mm	19 mm
Velocidad angular n_{media}	586.8 RPM	3300 RPM	6000 RPM
Relación de transmisión i_r	4.431	9	
Par de aceleración T_{2b}	72.89 Nm	185 Nm	40.5 Nm
Par desaceleración T_{2v}	66.26 Nm	125 Nm	
Par medio del ciclo $T_{2\dot{a}}$	66.24 Nm	63 Nm	7.7 Nm
Par de parada de emergencia T_{2not}	171.98 Nm	190 Nm	

Fuente: Valores calculados

Concluyendo con esto el dimensionamiento del reductor para la traslación del sistema en el eje vertical con el servo motor M1.

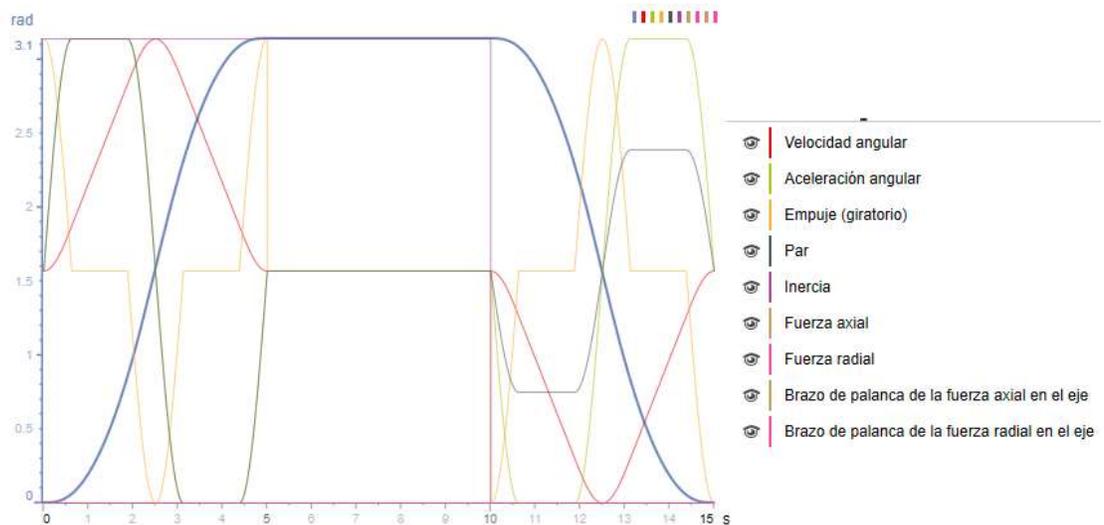
Los equipos siguientes:

- **Reductor NP025S-MA2-9-0E1-1S.**
- **Servomotor 8LSN46.ee060ffgg-h**

Dimensionando el primer actuador del sistema abisagrado (M2).

De igual forma para el actuador necesario para la bisagra inicial (M2), según lo propuesto en la **Fig. 5.4 pagina 61**, tendremos la condición de mayor exigencia, cuando el brazo esta extendido con la carga en su apertura y retorno para plantear un perfil de velocidad. Así podemos bosquejar un perfil de velocidad como el mostrado en la **Fig. 5.11** definiendo una condición para la apertura de giro de 0 a 180° en un periodo de 5 segundos y un giro inverso de 180° a 90° en otro intervalo de 5 segundos y luego de 90° a 0° por un periodo de 5 segundos y una pausa de 5 segundos en el intermedio.

Fig. 5.11 – Perfil de velocidad de la primera articulación abisagrada (M2).



Fuente: Perfil propuesto Cymex @ 5 (URANY SA)

Para estas condiciones cinemáticas angulares, trabajamos con las ecuaciones indicadas **(2.20)** y **(2.21)**; **pagina 37** considerando un giro horario y un giro antihorario.

Para el giro horario.

$$\alpha_{i(a)} = \frac{2 * \theta_i}{(t_i - t_0)^2} = \frac{2 * \pi}{(5 - 0)^2} = 0.25 \text{ rad/s}^2$$

$$\omega_{i(a)} = \alpha_i * (t_i - t_0) = 0.25 * (5 - 0) = 1.25 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 11.94 \text{ RPM}$$

Para el giro anti horario.

$$\alpha_{i(b)} = \frac{2 * \theta_{i2}}{(t_i - t_0)^2} = \frac{2 * \pi}{(15 - 10)^2} = -0.25 \text{ rad/s}^2$$

$$\omega_{i(b)} = \alpha_i * (t_i - t_0) = 0.25 * (15 - 10) = -1.25 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = -11.94 \text{ RPM}$$

Continuando con los cálculos necesarios para determinar los torques presentes en el sistema de giro horario y antihorario. Calcularemos los momentos de inercia presentes con la carga y sin la carga de Zinc respectivamente, utilizando las ecuaciones **(2.12;página 33)** y **(2.22; página 38)** tendremos los siguientes resultados:

Para el análisis con carga (lingote de zinc).

$$T_{resultante} = \sum I_i \cdot \alpha_i$$

$$T_{c.carga} = [I_{zn} + I_{mn} + I_{M4} + I_{M3} + I_{barra}] * \alpha_i$$

Ahora para determinar los momentos de inercia presentes por cada componente, según lo representado en la **Fig. 5.4**, tendremos que disponer de las ecuaciones mostradas en la **Tabla 2.7** y en la **Tabla 2.8**, según cada aplicación correspondiente.

- ✓ Para el bloque de zinc. $I_{zn} = (m_{zn}) * (2 * r)^2$
- ✓ Para el manipulador neumático: $I_{mn} = (m_{mn}) * (2 * r)^2$
- ✓ Para el actuador M4: $I_{M4} = (m_{M4}) * (2 * r)^2$
- ✓ Para el actuador M3: $I_{M3} = (m_{M3}) * (r)^2$
- ✓ Para los soportes estructurales: $I_{barra} = \frac{7}{3} * m_{B1} * r^2 + \frac{1}{3} * m_{B2} * r^2$

Además, para calcular el torque resultante consideramos las siguientes variables:

$m_{zn} = 26 \text{ kg}$; masa de un lingote de zinc.

$m_{mn} = 14 \text{ kg}$; masa del manipulador neumático.

$m_{Mx} = 10 \text{ kg}$; masa del actuador a trabajar.

$m_{Bx} = 5.6 \text{ kg}$; masa del soporte estructural.

$m_{total} = 26 + 14 + 2 * 10 + +5.6 * 2 = 71.2 \text{ kg}$; masa total del sistema en manipulación.

$r = 0.7 \text{ m}$; longitud del soporte estructural.

$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$; densidad del Acero 1045.

$\omega_{i(a)} = \omega_{i(b)} = 1.25 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 11.94 \text{ RPM}$; velocidad angular para el actuador M2.

Sabiendo que el valor absoluto de la aceleración en sentido horario y antihorario es el mismo, tendremos los mismos valores absolutos de torque tanque con carga como sin carga:

$$T_{c.carga(a)} = T_{c.carga(b)}$$

$$= \left[26 * (2 * 0.7)^2 + 14 * (2 * 0.7)^2 + 10 * (0.7)^2 + 10 * (2 * 0.7)^2 + \frac{7}{3} * 5.6 * 0.7^2 + \frac{1}{3} * 5.6 * 0.7^2 \right] * 0.25$$

$$T_{c.carga(a)} = T_{c.carga(b)} = [50.96 + 27.44 + 19.6 + 4.9 + 7.32] * 0.25$$

$$T_{c.carga(a)} = T_{c.carga(b)} = 27.555 \text{ N.m}$$

Así también calcularemos el torque necesario para el manipulador, esta vez sin carga:

$$T_{s.carga(a)} = T_{s.carga(b)} = [27.44 + 19.6 + 4.9 + 7.32] * 0.25$$

$$T_{s.carga(a)} = T_{s.carga(b)} = 14.82 \text{ N.m}$$

Ahora para determinar el par medio del ciclo, utilizaremos la ecuación (2.25)

$$T_{2\bar{a}} = \sqrt[3]{\frac{\sum(|T_i|^3 \cdot n_i \cdot t_i)}{\sum(|n_i| \cdot t_i)}}$$

$$T_{2\bar{a}} = \sqrt[3]{\frac{2 * (27.55^3 * 11.94 * 5 + 14.82^3 * 11.94 * 5)}{2 * (11.94 * 5 + 11.94 * 5)}}$$

$$T_{2\bar{a}} = 22.95 \text{ N.m}$$

Para determinar el par de emergencia, utilizamos la ecuación (2.26; página 38) considerando las siguientes variables:

$t_{not} = 1.25$ s; tiempo de parada de emergencia.

$I_{sistema} = 110.22$ $kg \cdot m^2$; momento de Inercia del sistema.

$n_1 = n_2 = 11.94$ RPM; velocidad angular al descenso.

$$T_{2not} = \frac{I_{sist} \cdot n_2}{9.55 \cdot t_{not}}$$

$$T_{2no} = \frac{110.22 \cdot 11.94}{9.55 \cdot 1.25} = 110.2 \text{ N.m}$$

Resumiendo, presentamos en la **Tabla 5.8** considerando los pares calculados para el actuador.

Tabla 5.8 – *Torques a considerar para el actuador M2.*

ACTUADOR M2		
Par de aceleración	T_{2b}	27.55 N.m
Par desaceleración	T_{2v}	14.82 N.m
Par medio del ciclo	$T_{2\ddot{a}}$	22.95 N.m
Par de parada de emergencia	T_{2not}	110.2 N.m

Fuente: Valores calculados

Para la selección del actuador (M2).

Representamos el sistema con el uso del software Cymex @5, mostrando en **Fig. 5.12** el esquema de operación modelado para este sistema motriz.

Fig. 5.12 – Componentes motrices para el actuador (M2).



Fuente: Movimiento lineal preparado en Cymex @ 5 (URANY SA)

Con el perfil de movimiento establecido en la **Fig. 5.11** y con los datos calculados de la **Tabla 5.8**, presentamos al actuador seleccionado en la **Fig. 5.13** además de sus principales características mecánicas.

Fig. 5.13 – Datos característicos para el actuador M2.

TPMP010S-050_5_01			
T_{2B}	130 Nm	Freno	No
T_{20}	61.5 Nm	Clase de aislamiento	F
n_{2max}	120 min^{-1}	Refrigeración	Convección
C_1	30 Nm/arcmin	Modelo de actuador	power
J	0.719 kgcm^2		
Tipo de salida		Juego	
Brida		Estándar (3 arcmin)	

Servoactuador	
Modo de operación	Duración
f_s	1
T_{2bfs}	65.46 Nm
M_{2k}	0 Nm
I_{FO}	0 mm
T_{1RMS}	0.76 Nm
n_{1max}	600 min^{-1}
n_{1n}	200 min^{-1}
L_{h10}	> 20000 h
λ	603.758

Fuente: Servo motor con reductor seleccionado Cymex @ 5 (URANY SA)

Considerando los criterios de aprobación indicados en (2.27; página 38), concluiremos que los valores seleccionados son **Apropiados**.

$$T_{2b/v} < T_{2B} ; \text{Criterio par de aceleración.}$$

$$T_{2not} < T_{2NOT} ; \text{Criterio par de freno o emergencia.}$$

Como resumen presentaremos lo valores obtenidos y seleccionados en **Tabla 5.9**.

Tabla 5.9 – Torques a considerar para el actuador M2.

ACTUADOR M2	Carga calculada	Actuador
Velocidad angular n_{media}	11.94 RPM	120 RPM
Par de aceleración T_{2b}	27.55 N.m	
Par desaceleración T_{2v}	14.82 N.m	
Par medio del ciclo $T_{2\bar{a}}$	22.95 N.m	61.5 Nm
Par de parada de emergencia T_{2not}	110.2 N.m	130 Nm

Fuente: Valores calculados

Concluyendo con esto el dimensionamiento para el actuador M2, del sistema abisagrado en el primer eje de rotación.

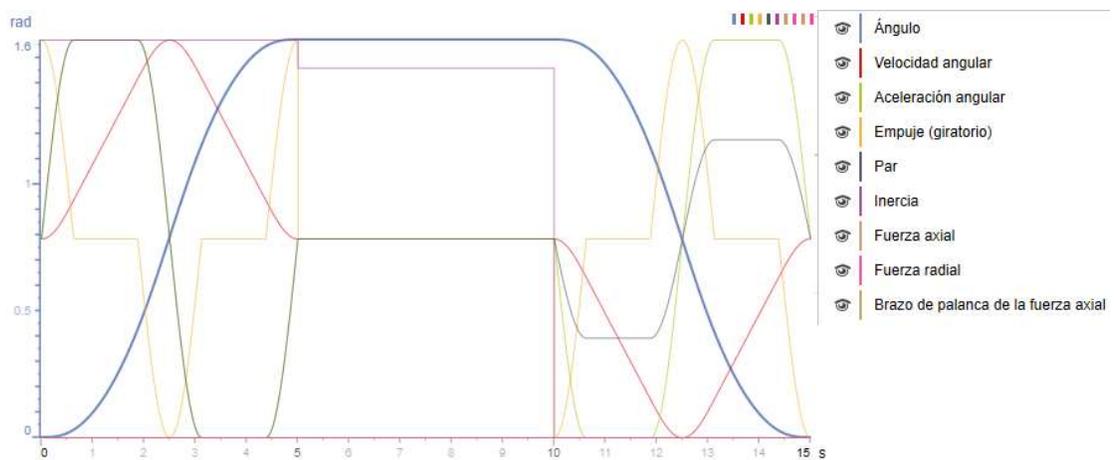
El siguiente actuador:

- **Actuador TPM010S-050-5-O1.**

Dimensionando el tercer actuador del sistema abisagrado (M3).

De igual forma para el actuador necesario para el segundo sistema abisagrado (M3), según lo propuesto en la **Fig. 5.4 pagina 61**, tendremos un perfil de movimiento similar al aplicado para el actuador M2 (Sistema abisagrado para la apertura de giro de 0 a 180° en un periodo de 5 segundos y un giro inverso de 180° a 90° en otro intervalo de 5 segundos). Definiendo un perfil de movimiento mostrado en la **Fig. 5.14** además, considerando un tiempo de pausa de 5 segundos.

Fig. 5.14 – Perfil de velocidad de la segunda articulación abisagrada (M3).



Fuente: Perfil propuesto Cymex @ 5 (URANY SA)

Para estas condiciones cinemáticas angulares, trabajamos con las ecuaciones indicadas **(2.20) y (2.21); pagina 37** considerando un giro horario y un giro antihorario.

Para el giro horario.

$$\alpha_{i(a)} = \frac{2 * \theta_i}{(t_i - t_0)^2} = \frac{2 * \pi}{(5 - 0)^2} = 0.25 \text{ rad/s}^2$$

$$\omega_{i(a)} = \alpha_i * (t_i - t_0) = 0.25 * (5 - 0) = 1.25 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 11.94 \text{ RPM}$$

Para el giro anti horario.

$$\alpha_{i(b)} = \frac{2 * \theta_{i2}}{(t_i - t_0)^2} = \frac{2 * \pi}{(15 - 10)^2} = -0.25 \text{ rad/s}^2$$

$$\omega_{i(b)} = \alpha_i * (t_i - t_0) = 0.25 * (15 - 10) = -1.25 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = -11.94 \text{ RPM}$$

Continuando con los cálculos necesarios para determinar los torques presentes en el sistema de giro horario y antihorario. Calcularemos los momentos de inercia presentes con la carga y sin la carga de Zinc respectivamente, utilizando las ecuaciones **(2.12; página 31)** y **(2.22; página 36)** tendremos los siguientes resultados:

Para el análisis con carga (lingote de zinc).

$$T_{resultante} = \sum I_i \cdot \alpha_i$$

$$T_{c.carga} = [I_{zn} + I_{mn} + I_{M4} + I_{barra}] * \alpha_i$$

Ahora para determinar los momentos de inercia presentes por cada componente, según lo representado en la **Fig. 5.4**, tendremos que disponer de las ecuaciones mostradas en la **Tabla 2.7** y en la **Tabla 2.8**, según cada aplicación correspondiente.

- ✓ Para el bloque de zinc. $I_{zn} = (m_{zn}) * (2 * r)^2$
- ✓ Para el manipulador neumático: $I_{mn} = (m_{mn}) * (2 * r)^2$
- ✓ Para el actuador M4: $I_{M4} = (m_{M4}) * (2 * r)^2$
- ✓ Para los soportes estructurales: $I_{barra} = \frac{1}{3} * m_{B2} * r^2$

Además, para calcular el torque resultante consideramos las siguientes variables:

$m_{zn} = 26 \text{ kg}$; masa de un lingote de zinc.

$m_{mn} = 14 \text{ kg}$; masa del manipulador neumático.

$m_{Mx} = 10 \text{ kg}$; masa del actuador a trabajar.

$m_{Bx} = 5.6 \text{ kg}$; masa del soporte estructural.

$m_{total} = 55.6 \text{ kg}$; masa total del sistema en manipulación.

$r = 0.7 \text{ m}$; longitud del soporte estructural.

$\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$; densidad del Acero A36.

$\omega_{i(a)} = \omega_{i(b)} = 1.25 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 11.94 \text{RPM}$; velocidad angular para el actuador M3.

Sabiendo que para la etapa de apertura de 0° a 180° y de cierre de 180° a 0° los valores absolutos de velocidad y aceleración son iguales, podemos calcular los torques necesarios con carga y sin carga del lingote de zinc realizando la operación:

$$T_{c.carga(a)} = T_{c.carga(b)} = [12.74 + 6.86 + 4.9 + 0.915] * 0.25$$

$$T_{c.carga(a)} = 6.4 \text{ N.m}$$

Así también calcularemos el torque necesario para el manipulador, esta vez sin carga:

$$T_{s.carga(a)} = T_{s.carga(b)} = [6.86 + 4.9 + 0.915] * 0.25$$

$$T_{s.carga(a)} = 3.2 \text{ N.m}$$

Ahora para determinar el par medio del ciclo, utilizaremos la ecuación (2.25; página 37).

$$T_{2\ddot{a}} = \sqrt[3]{\frac{\sum(|T_i|^3 \cdot n_i \cdot t_i)}{\sum(|n_i| \cdot t_i)}}$$

$$T_{2\ddot{a}} = \sqrt[3]{\frac{2 * (6.4^3 * 11.94 * 5 + 3.2^3 * 11.94 * 5)}{2 * (11.94 * 5 + 11.94 * 5)}}$$

$$T_{2\ddot{a}} = 5.24 \text{ N.m}$$

Para determinar el par de emergencia, utilizamos la ecuación (2.26; página 38) considerando las siguientes variables:

$t_{not} = 1.25 \text{ s}$; tiempo de parada de emergencia.

$I_{sistema} = 25.415 \text{ kg.m}^2$; momento de Inercia del sistema.

$n_1 = n_2 = 11.94 \text{ RPM}$; velocidad angular al descenso.

$$T_{2not} = \frac{I_{sist} \cdot n_2}{9.55 \cdot t_{not}}$$

$$T_{2not} = \frac{25.415 * 11.94}{9.55 * 1.25} = 25.42 \text{ N.m}$$

Resumiendo, presentamos en la **Tabla 5.10** considerando los pares calculados para el actuador.

Tabla 5.10 – *Torques a considerar para el actuador M3.*

ACTUADOR M3		
Par de aceleración	T_{2b}	6.4 N.m
Par desaceleración	T_{2v}	3.2 N.m
Par medio del ciclo	$T_{2\ddot{a}}$	5.24 N.m
Par de parada de emergencia	T_{2not}	25.42 N.m

Fuente: Valores calculados

Para la selección del actuador (M3).

Representamos el sistema con el uso del software Cymex @5, mostrando en la **Fig. 5.15** y el esquema de operación modelado para este sistema motriz.

Fig. 5.15 – Componentes motrices para el actuador (M3).



Fuente: Movimiento lineal preparado en Cymex @ 5 (URANY SA)

Con el perfil de movimiento establecido en la **Fig. 5.14** y con los datos calculados de la **Tabla 5.10** presentamos al actuador seleccionado en la **Fig. 5.16** incluyendo sus características mecánicas.

Fig. 5.16 – Datos característicos para el actuador M3.

TPM 004S-016_-5_O1				Servoactuador	
T _{2B}	30.1 Nm	Freno	No	Modo de operación	Duración
T ₂₀	8.32 Nm	Clase de aislamiento	F	f _s	1
n _{2max}	375 min ⁻¹	Refrigeración	Convección	T _{2bf/s}	7.8 Nm
C _t	12 Nm/arcmin	Modelo de actuador	dynamic	M _{2k}	0 Nm
J	0.207 kgcm ²			I _{FO}	0 mm
Tipo de salida	Juego			T _{1RMS}	0.33 Nm
Brida	Estándar (4 arcmin)			n _{1max}	96 min ⁻¹
				n _{1n}	32 min ⁻¹
				L _{h10}	> 20000 h
				λ	5451.717

Fuente: Servo motor con reductor seleccionado Cymex @ 5 (URANY SA)

Considerando los criterios de aprobación indicados en (2.27; página 38), concluiremos que los valores seleccionados son **Apropiados**.

$$T_{2b/v} < T_{2B} ; \text{Criterio par de aceleración.}$$

$$T_{2not} < T_{2NOT} ; \text{Criterio par de freno o emergencia.}$$

Como resumen presentaremos lo valores obtenidos y seleccionados en la **Tabla 5.11**.

Tabla 5.11 – *Torques a considerar para el actuador M3.*

ACTUADOR M3	Carga calculada	Actuador
Velocidad angular n_{media}	11.94 RPM	375 RPM
Par de aceleración T_{2b}	6.4 N.m	
Par desaceleración T_{2v}	3.2 N.m	
Par medio del ciclo $T_{2\bar{a}}$	5.24 N.m	8.32 Nm
Par de parada de emergencia T_{2not}	25.42 N.m	30.1 Nm

Fuente: Valores calculados

Concluyendo con esto el dimensionamiento para el actuador M3, del sistema abisagrado en el segundo eje de rotación.

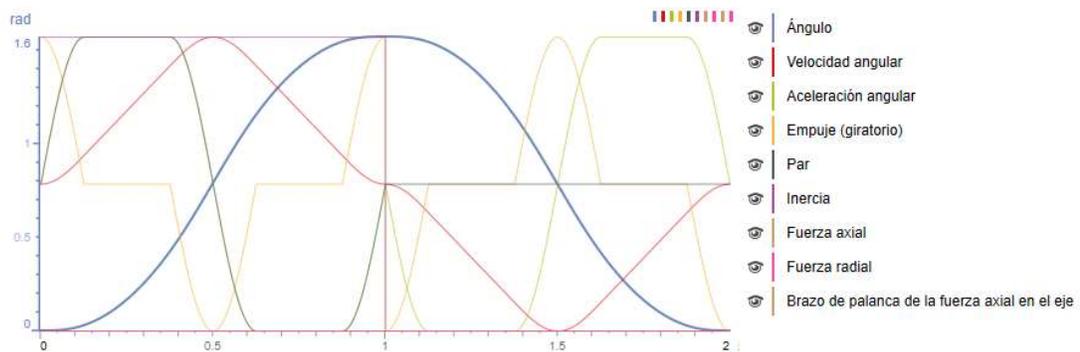
El siguiente actuador:

- **Actuador TPM004S-016-5-O1.**

Dimensionando el tercer actuador del sistema abisagrado (M4).

De igual forma para el actuador necesario para el tercer sistema abisagrado (M4), según lo propuesto en la **Fig. 5.4 pagina 61**, para este actuador la secuencia de movimiento es diferente a los propuestos para el actuador M2 y M3. Aquí tendremos un giro controlado de 0° a 90° en un periodo de 1 segundos en sentidos horario y antihorario, obteniendo un perfil de movimiento como el indicado en la **Fig. 5.17**, esta vez sin una pausa definida.

Fig. 5.17 – Perfil de velocidad del actuador posicionador (M4).



Fuente: Perfil propuesto Cymex @ 5 (URANY SA)

Para estas condiciones cinemáticas angulares, trabajamos con las ecuaciones indicadas **(2.20)** y **(2.21)**; **pagina 37** considerando un giro horario y un giro antihorario.

Para el giro horario.

$$\alpha_{i(a)} = \frac{2 * \theta_i}{(t_i - t_0)^2} = \frac{2 * \pi/2}{(1 - 0)^2} = 3.14 \text{ rad/s}^2$$

$$\omega_{i(a)} = \alpha_i * (t_i - t_0) = 3.1416 * (1 - 0) = 3.14 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 30 \text{ RPM}$$

Para el giro anti horario.

$$\alpha_{i(b)} = \frac{2 * \theta_{i2}}{(t_i - t_0)^2} = \frac{2 * \pi/2}{(2 - 1)^2} = -3.1416 \text{ rad/s}^2$$

$$\omega_{i(b)} = \alpha_i * (t_i - t_0) = 3.1416 * (2 - 1) = -3.1416 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = -30 \text{ RPM}$$

Continuando con los cálculos necesarios para determinar los torques presentes en el sistema de giro horario y antihorario. Calcularemos los momentos de inercia presentes con la carga y sin la carga de Zinc respectivamente, utilizando las ecuaciones **(2.12;página 31)** y **(2.22; página 36)** tendremos los siguientes resultados:

Para el análisis con carga (lingote de zinc).

$$T_{resultante} = \sum I_i \cdot \alpha_i$$

$$T_{c.carga} = [I_{zn} + I_{mn}] * \alpha_i$$

Ahora para determinar los momentos de inercia presentes por cada componente, según lo representado en la **Fig. 5.4**, tendremos que disponer de las ecuaciones mostradas en la **Tabla 2.7** y en la **Tabla 2.8**, según cada aplicación correspondiente.

✓ Para el bloque de zinc.

$$I_{zn} = \frac{m_{zn}}{12} * (b_{zn}^2 + L_{zn}^2)$$

✓ Para el manipulador neumático:

$$I_{mn} = \frac{m_{mn}}{12} * (b_{mn}^2 + L_{mn}^2)$$

Además, para calcular el torque resultante consideramos las siguientes variables:

$m_{zn} = 26 \text{ kg}$; masa de un lingote de zinc.

$m_{mn} = 14 \text{ kg}$; masa del manipulador neumático.

$m_{total} = 40 \text{ kg}$; masa total del sistema en manipulación.

$b_{zn} = 0.24 \text{ m}$ y $L_{zn} = 0.48 \text{ m}$; dimensiones de la base del lingote de Zinc.

$b_{mn} = 0.3 \text{ m}$ y $L_{mn} = 0.5 \text{ m}$; dimensiones del manipulador.

$\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$; densidad del Acero A36.

$\omega_{i(a)} = \omega_{i(b)} = 3.1416 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 30 \text{ RPM}$; velocidad angular para el actuador M4.

En la etapa de apertura de 0° a 90° y cierre de 90° a 0° y considerando que el sistema realizara esta operación con carga y sin carga, necesitaremos calcular el par o torque necesario:

$$T_{c.carga(a)} = T_{c.carga(b)} = \left[\frac{26}{12} * (0.24^2 + 0.48^2) + \frac{14}{12} * (0.3^2 + 0.5^2) \right] * 3.1416$$

$$T_{c.carga(a)} = [0.624 + 0.3967] * 3.1416$$

$$T_{c.carga(a)} = 3.21 \text{ N.m}$$

Así también calcularemos el torque necesario para el manipulador, esta vez sin carga:

$$T_{s.carga(a)} = T_{s.carga(b)} = [0.3967] * 3.1416$$

$$T_{s.carga(a)} = 1.25 \text{ N.m}$$

Ahora para determinar el par medio del ciclo, utilizaremos la ecuación (2.25; página 37).

$$T_{2\ddot{a}} = \sqrt[3]{\frac{\sum(|T_i|^3 \cdot n_i \cdot t_i)}{\sum(|n_i| \cdot t_i)}}$$

$$T_{2\ddot{a}} = \sqrt[3]{\frac{2 * (3.21^3 * 30 * 1 + 1.25^3 * 30 * 1)}{2 * (30 * 1 + 30 * 1)}}$$

$$T_{2\ddot{a}} = 2.6 \text{ N.m}$$

Para determinar el par de emergencia, utilizamos la ecuación (2.26; página 38) considerando las siguientes variables:

$t_{not} = 1 \text{ s}$; tiempo de parada de emergencia.

$I_{sistema} = 1.021 \text{ kgr.m}^2$; momento de Inercia del sistema.

$n_1 = n_2 = 30 \text{ RPM}$; velocidad angular al descenso.

$$T_{2not} = \frac{I_{sist} \cdot n_2}{9.55 \cdot t_{not}}$$

$$T_{2not} = \frac{1.021 * 30}{9.55 * 1} = 3.21 \text{ N.m}$$

Resumiendo, presentamos en la **Tabla 5.12** considerando los pares calculados para el actuador.

Tabla 5.12 – *Torques a considerar para el actuador M4.*

ACTUADOR M4		
Par de aceleración	T_{2b}	3.21 N.m
Par desaceleración	T_{2v}	1.25 N.m
Par medio del ciclo	$T_{2\ddot{a}}$	2.6 N.m
Par de parada de emergencia	T_{2not}	3.21 N.m

Fuente: Valores calculados

Para la selección del actuador (M4).

Representamos el sistema con el uso del software Cymex @5, mostrando en la **Fig. 5.18** y el esquema de operación modelado para este sistema motriz.

Fig. 5.18 – Componentes motrices para el actuador (M4).



Fuente: Movimiento lineal preparado en Cymex @ 5 (URANY SA)

Con el perfil de movimiento establecido en la **Fig. 5.14** y con los datos calculados de la **Tabla 5.12** presentamos al actuador seleccionado en la **Fig. 5.19** incluyendo sus características mecánicas.

Fig. 5.19 – Datos característicos para el actuador M4.

TPMP004S-010_-5_O1				Servoactuador	
T_{2B}	26 Nm	Freno	No	Modo de operación	Duración
T_{20}	11.8 Nm	Clase de aislamiento	F	f_s	1.304
n_{2max}	600 min^{-1}	Refrigeración	Convección	T_{2bfs}	6.96 Nm
C_t	8 Nm/arcmin	Modelo de actuador	power	M_{2k}	0 Nm
J	0.313 kgcm^2			l_{FO}	0 mm
Tipo de salida	Juego			T_{1RMS}	0.34 Nm
Brida	Estándar (4 arcmin) ▼			n_{1max}	300 min^{-1}
				n_{1n}	150 min^{-1}
				L_{h10}	> 20000 h
				λ	233.339

Fuente: Servo motor con reductor seleccionado Cymex @ 5 (URANY SA)

Considerando los criterios de aprobación indicados en (2.27; página 38), concluiremos que los valores seleccionados son **Apropiados**.

$$T_{2b/v} < T_{2B} ; \text{Criterio par de aceleración.}$$

$$T_{2not} < T_{2NOT} ; \text{Criterio par de freno o emergencia.}$$

Como resumen presentaremos lo valores obtenidos y seleccionados en la **Tabla 5.13**.

Tabla 5.13 – *Torques a considerar para el actuador M4.*

ACTUADOR M4	Carga calculada	Actuador
Velocidad angular n_{media}	30 RPM	300 RPM
Par de aceleración T_{2b}	3.21 N.m	
Par desaceleración T_{2v}	1.25 N.m	
Par medio del ciclo $T_{2\bar{a}}$	2.6 N.m	11.8 Nm
Par de parada de emergencia T_{2not}	3.21 N.m	26 Nm

Fuente: Valores calculados

Concluyendo con esto el dimensionamiento para el actuador M4, del sistema abisagrado en el tercer eje de rotación.

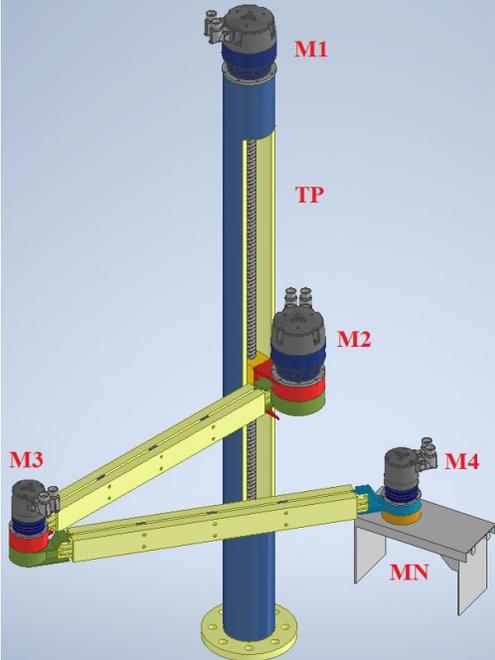
El siguiente actuador:

Actuador TPMP004S-010_-5_O1.

5.3.2. Lista de componentes motrices.

Para resumir los componentes identificados para todos los puntos analizados, según los perfiles de movimiento establecidos, presentamos un cuadro resumen en la **Tabla 5.14**.

Tabla 5.14 – *Tabla resumen de equipos motrices.*

ESQUEMA PROPUESTO	LISTA DE COMPONENTES MOTRICES		
 <p>El diagrama muestra un sistema de actuación. Un eje vertical azul (M1) está conectado a un tornillo de potencia (TP) que se enrolla en un actuador (M2). Dos brazos horizontales amarillos (M3) están conectados al eje vertical y al actuador M2. Un actuador (M4) está conectado al extremo de uno de los brazos amarillos. Una base (MN) sostiene el actuador M4.</p>	Servomotor con reductor	M1	8LSN46.ee060ffgg-h
	reductor	R1	NP025S-MA2-9-0E1-1S
	Tornillo de potencia	TP	TR30x10 – Rosca Trapezoidal Métrica DIN103
	Actuador	M2	TPM010S-050-5-O1
	Actuador	M3	TPM004S-016-5-O1
	Actuador	M4	TPMP004S-010_-5_O1

Fuente: Elaboración Propia

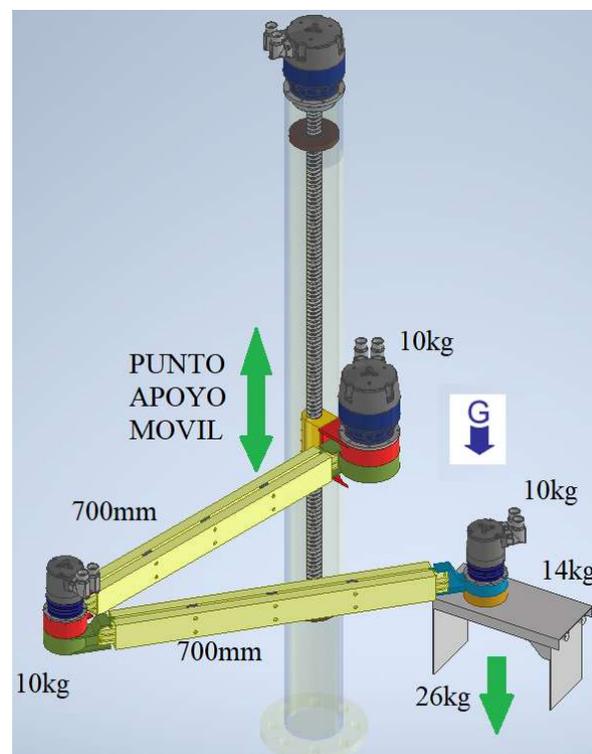
5.4. Análisis del perfil estructural.

Para el análisis por elementos finitos del sistema propuesto en la **Fig. 5.4 pagina 64**, consideraremos el acero **ASTM A36**, para las vigas propuestas cuyos requerimientos de resistencia a la fluencia y tracción son de 248.22 MPa y 399.9 MPa. Para el sistema tipo bisagra que será motorizado con los actuadores estamos considerando acero **ASTM A441**, cuyos límites de fluencia y tracción son 379.21 MPa y 729.46 MPa.

Además, para ambos aceros la densidad promedio es de 7.851 gr/cm³, obteniendo un promedio de carga propia aproximado de 18Kgr. Así también representaremos todas las uniones serán soldadas o empernadas con pernos de Grado 8.

En la **Fig. 5.20**, se representan las principales cargas identificadas en el modelo propuesto para el análisis lineal FEM, utilizando el software de simulación de ingeniería Autodesk Nastran.

Fig. 5.20 – Diagrama de cargas presentes en sistema manipulador.



Fuente: Elaboración propia, desarrollada en INVENTOR

Para el análisis por elementos finitos, debemos indicar la carga presente en el punto de manipulación de los lingotes de zinc. Considerando los siguientes valores:

$m_{zn} = 26 \text{ kg}$; Masa de un lingote de zinc.

$m_{mn} = 14 \text{ kg}$; Masa del manipulador neumático.

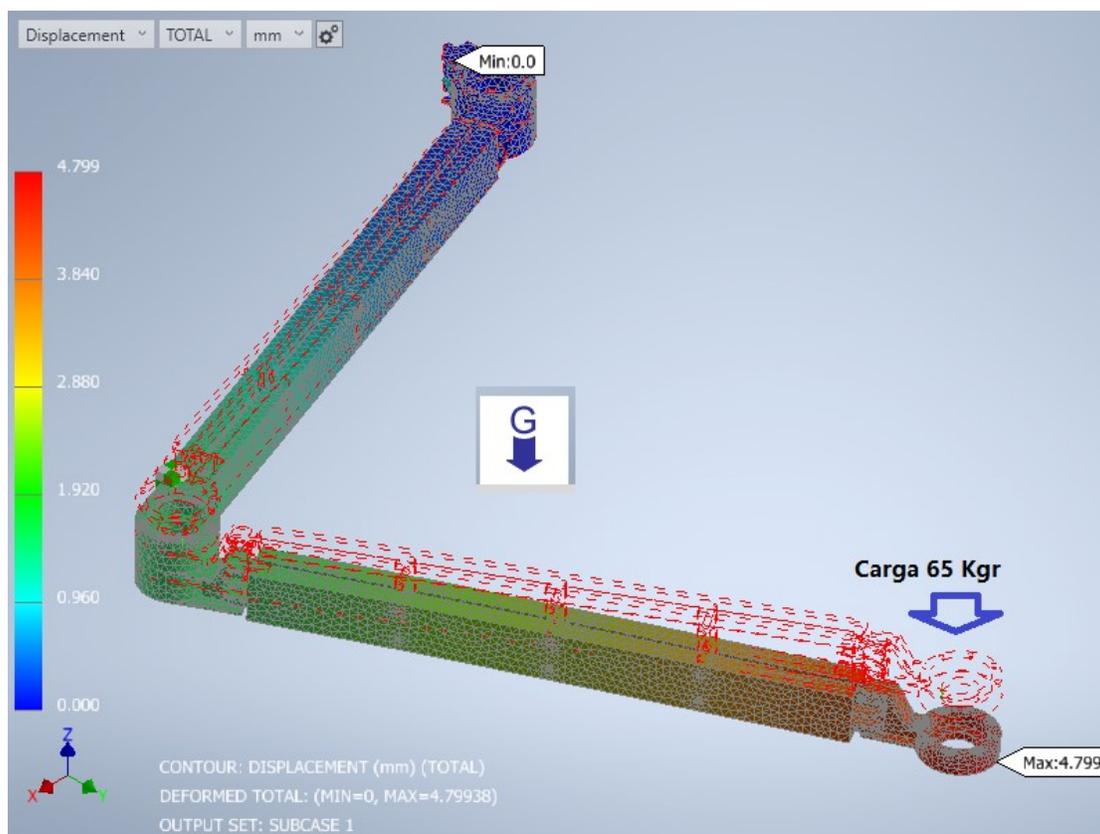
$m_{Mx} = 10 \text{ kg}$; Masa del actuador a trabajar.

$m_{total} = 50 \text{ kg}$; Masa total del sistema en manipulación.

Además, se considera un factor de seguridad del 30% obteniendo una masa de carga bruta de $m_{bruta} = 65 \text{ kg}$; Valor considerado para el análisis por elementos finitos.

Desarrollando el modelamiento en inventor y el análisis por elementos finitos en NASTAN, presentamos los resultados del factor de seguridad en la **Fig. 5.21**.

Fig. 5.21 – Resultados obtenidos para el factor de seguridad.

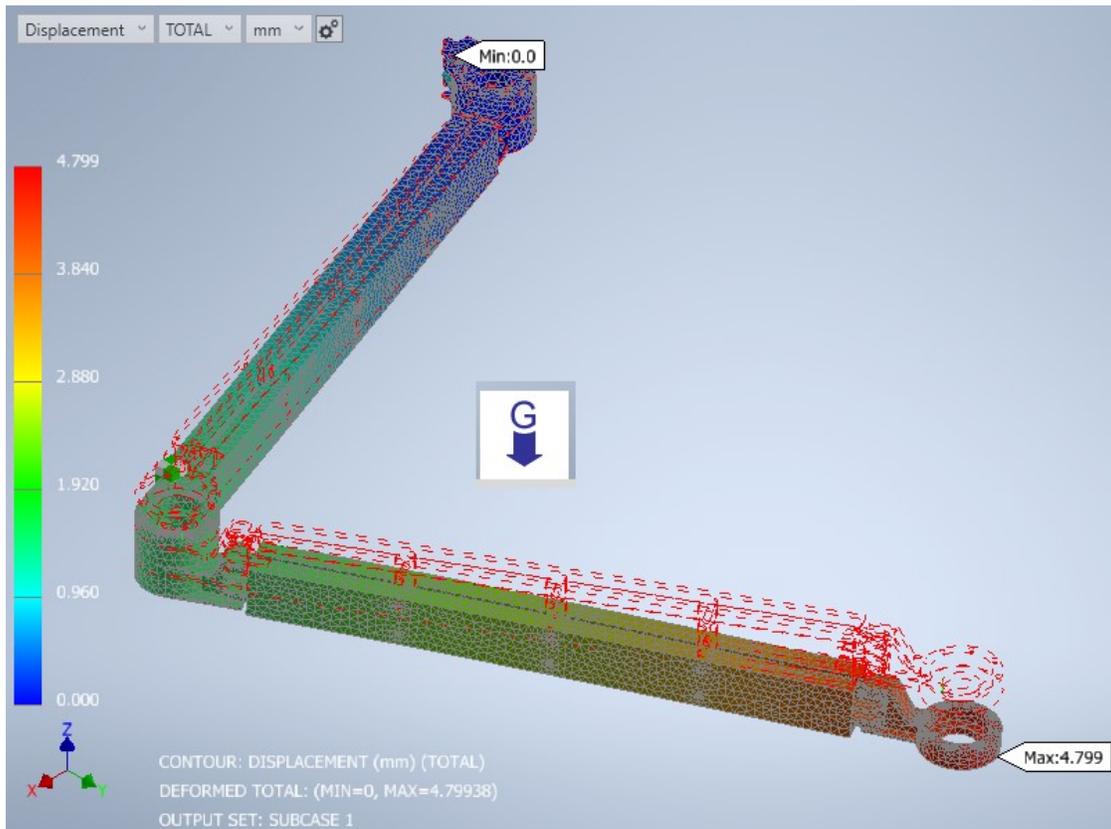


$$SF_{min} = 2.234 \text{ y } F_{max} = 145 \text{ Kgr}$$

Fuente: Elaboración propia, desarrollada en NASTRAN

Los desplazamientos máximos identificados después del análisis FEM realizado al sistema propuesto con el software Autodesk Nastran, se presentan en la **Fig. 5.22** considerando que la carga de análisis es de 65 Kgr en el extremo libre del sistema propuesto.

Fig. 5.22 – Resultados obtenidos para el desplazamiento.

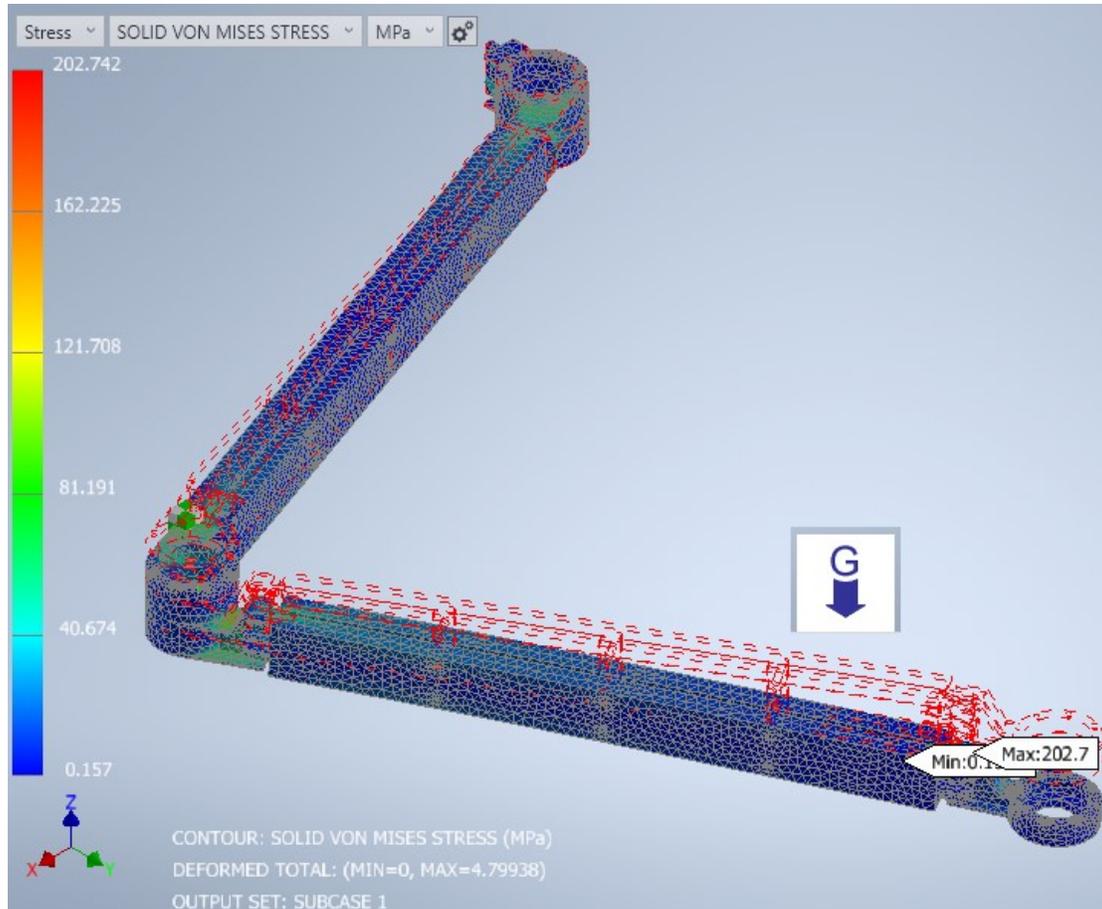


$$\delta_{max} = 4.8 \text{ mm}$$

Fuente: Elaboración propia, desarrollada en NASTRAN

En la **Fig. 5.23**, se presentan los esfuerzos generados por la acción de la carga en todas las secciones del sistema propuesto.

Fig. 5.23 – Resultados obtenidos para los esfuerzos máximos.



$$\sigma_{max} = 202.7 \text{ MPa}$$

Fuente: Elaboración propia, desarrollada en NASTRAN

Resumiendo, presentamos la **Tabla 5.15**, los valores identificados después del análisis por elementos finitos desarrollado en el software de Autodesk Inventor Nastran.

Tabla 5.15 – Valores calculados en Nastran.

Factor de seguridad	SF_{min}	2.23
Deformación o deflexión	δ_{max}	4.8 mm
Esfuerzo Von Mises	σ_{max}	202.74 MPa
	σ_{min}	0.16 MPa

Fuente: Valores calculados

5.5. Evaluación de la inversión.

Necesitamos cuantificar el beneficio de esta implementación frente a la inversión calculada.

5.5.1. Cuantificación de la inversión.

Para calcular el valor total de la inversión, se detalla en la **Tabla 5.16** todos los costos involucrados para la evaluación e implementación de esta propuesta de mejora al área de producción, los aspectos fundamentales a considerar son:

- El costo del desarrollo de la ingeniería de detalle, para detallar y dimensionar los componentes y elementos.
- El costo de mecanizado de cada componente mecánico identificado en la propuesta de diseño.
- El costo de todos los componentes motrices eléctricos, dimensionados y seleccionados.
- Así también, se tienen que considerar todos los elementos eléctricos necesarios para el funcionamiento, programación y control de cada uno de los servos motores y/o actuadores.
- Los costos de instalación eléctrica como son entubados y canalizaciones interiores, propias del conexionado interno del sistema entre los tableros eléctricos.
- Los costos de instalación mecánica de cada componente.
- También se tiene que considerar el costo de todos los servicios auxiliares, como son el de programación.

Tabla 5.16 – Detalles de la inversión.

ITEM	DESCRIPCION	TAG	CODIGO	CNT	UND	P.UNIT	SUB.TOTAL
ID	Ingeniería de detalle						\$ 1,350.00
01	Desarrollo de ingeniería de detalle			1	u	\$ 1,350.00	
DM	Componentes Mecánicos						\$ 9,162.00
01	Columna tubular SCH80			1	u	\$ 650.00	
02	Tomillo de potencia	TP	TR30x10 – Rosca Trapezoidal Métrica DIN103	1	u	\$ 1,345.00	
03	Nuez reforzada p/Operación de ascenso y descenso		ASTM A441	1	u	\$ 542.00	
04	Viga estructural ASTM A36		Perfil C 2 1/4in x 3/4in esp. 3/16in	4	glb	\$ 367.00	
05	Anillo superior p/acople actuador ASTM A441. Incluye rodamiento axial acoplado.		ASTM A441	2	glb	\$ 264.00	
06	Anillo inferior p/acople actuador ASTM A441		ASTM A441	2	glb	\$ 264.00	
07	Anillo superior p/acople actuador Manipulador ASTM A441 Incluye rodamiento axial acoplado.		ASTM A441	1	glb	\$ 264.00	
08	Sistema Manipulador Neumatico Stainless Steel - INOX 316L	MN	Inox 316L	1	glb	\$ 915.00	
09	Accesorios Neumaticos			1	glb	\$ 2,172.00	
10	Cerco de seguridad perimetrico		Cerco Metalico c/sensor de seguridad	1	glb	\$ 750.00	
DE	Componentes Electricos						\$ 18,201.32
01	Servomotor	M1	8LSN46.ee060ffgg-h	1	u	\$ 2,990.79	
02	Reductor	R1	NP025S-MA2-9-0E1-1S	1	u	\$ 1,560.53	
03	Servodrive p/sistema de elevacion. Incluye Reactancia de línea, resistencia de frenado y tarjeta de resolver.			1	glb	\$ 2,763.16	
04	Actuador - Giro Principal	M2	TPM010S-050-5-O1	1	u	\$ 1,044.74	
05	Actuador - Giro articulado	M3	TPM004S-016-5-O1	1	u	\$ 1,044.74	
06	Actuador - Giro Manipulador	M4	TPMP004S-010_-5_O1	1	u	\$ 1,044.74	
07	Servodrive p/sistema de actuadores. Incluye Reactancia de línea, resistencia de frenado y tarjeta de resolver.			3	glb	\$ 1,394.74	
08	Tablero de fuerza y control. Auto soportado 2000x800x600 mm. Considera todo el equipamiento eléctrico para protección y control y comunicación del sistema a controlar. Incluye supresor de picos y Panel HMI 7in			1	glb	\$ 3,568.42	
SA	Servicios Auxiliares						\$ 6,584.89
01	Servicio de Programación	n/a		1	glb	\$ 1,315.79	
02	Servicio de Instalación Eléctrica	n/a		1	glb	\$ 2,708.83	
03	Servicio de Instalación Mecánica	n/a		1	glb	\$ 1,212.82	
04	Instalación y anclaje de columna estructural	n/a		1	glb	\$ 1,347.46	
TOTAL INVERSION							\$ 35,298.21

Fuente: Valores calculados, según presupuestos recibidos.

5.5.2. Cuantificación de los beneficios.

Para cuantificar los beneficios de la inversión, se presenta en la **Tabla 5.17** los costos de ocupación del personal e impactos directamente relacionados en el proceso productivo debido a la falta de un sistema de inmersión de lingotes de zinc.

Tabla 5.17 – Detalles de los costos relacionado en la productividad.

ITEM	DESCRIPCION	CANT	%	UND	P.UNIT	SUB.TOTAL
COSTOS DIRECTAMENTE RELACIONADOS						
A0	Productividad					\$ 476.18
01	Costo de Ocupación x Operador.	1	10%	glb	\$ 859.65	
02	Costo de Ocupación x Ayudantes.	2	25%	glb	\$ 675.44	
03	Costo por implementos de seguridad.	3	10%	glb	\$ 175.00	
A1	Salud Ocupacional					\$ 116.67
01	Estudios ergonómicos, para proceso de galvanizado.	1	5%	glb	\$ 1,166.67	
02	Capacitación al personal, sobre manejo de cargas menores a 30Kgr.	1	5%	glb	\$ 1,166.67	
A2	Seguros corporativos					\$ 240.00
01	Costos por aseguradoras					
	Costo por prima de seguro frente a las actividades de alto riesgo.	3	100%	glb	\$ 80.00	
GASTO MENSUAL						\$ 832.85

Fuente: Valores calculados según el sueldo promedio del operador.

La ley de seguridad y salud en el trabajo (LSST), Ley N°29783 establece el deber del empleador en garantizar la seguridad de sus trabajadores en las labores que realiza dentro del centro de trabajo, debiendo generar medios y condiciones para preservar la vida, la salud y el bienestar de sus colaboradores directos y además de aquellos que, no teniendo vínculo laboral, prestan servicios o se hallan dentro del ámbito laboral frecuente o poco frecuente.

Así mismo, en caso de incumplimiento por parte del empleador esto conlleva a la obligación de pagar indemnizaciones a las víctimas o a sus cohabitantes, por lo accidentes laborales y de las enfermedades ocupacionales, estando está en función del número de trabajadores afectados y de la UIT.

Considerando estos factores se preparó la **Tabla 5.18**, detallando los costos que representan sufrir lesiones con los trabajadores, siendo estas leves o irreversibles, desencadenando multas y pagos vitalicios a los cohabitantes de los trabajadores directamente afectados.

Tabla 5.18 – Costos por atención de accidentes leves y/o irreversibles.

ITEM	DESCRIPCION	CANT	%	UND	P.UNIT	SUB.TOTAL
	COSTOS INDIRECTAMENTE RELACIONADOS					
A3	Transtornos Musculoesqueleticos					\$ 2,578.95
01	Lesion temporal o accidente leve.					
	Costo por procedimientos medicos.	1	50%	glb	\$ 859.65	
	Costo por descanso medico.	1	100%	glb	\$ 859.65	
02	Lesion temporal o accidente incapacitante.					
	Costo por procedimientos medicos.	1	50%	glb	\$ 859.65	
	Costo por descanso medico.	1	100%	glb	\$ 859.65	
A4	Administrativos					\$ 644.74
01	Pagos administrativos y legales.					
	Costos por multas	1	50%	glb	\$ 859.65	
	Costos por auxilio medico	1	25%	glb	\$ 859.65	
A0	Accidente Mortal					\$ 1,022.98
01	Pago vitalicio a conyuge o concubina sin hijos.	1	42%	glb	\$ 859.65	
02	Pago vitalicio a conyuge o concubina con hijos.	1	35%	glb	\$ 859.65	
03	Pago a cada hijo hasta los 18años.	1	14%	glb	\$ 859.65	
04	Pago vitalicio a cada hijo discapacitado.	1	14%	glb	\$ 859.65	
05	Pago vitalicio a padres con discapacidad dependientes y con mas de 60años.	1	14%	glb	\$ 859.65	
RIESGO MENSUAL						\$ 4,246.67

Fuente: Valores calculados según el sueldo promedio del operador.

Representando este monto el máximo riesgo mensual presente, en caso ocurriera un accidente, producto de la actividad operativa de inmersión de lingotes de zinc en lecho de zinc fundido a 450°C por parte de los operadores del área de galvanizado.

5.5.3. Elaboración del flujo de caja neto.

Para la evaluación de la inversión solo vamos a considerar los costos de mejora operacional y los generados por lesiones leves (problemas musculoesqueléticos) detallados en las **Tabla 5.17** y **Tabla 5.18**. Así lograremos presentar el flujo de caja neto en la **Tabla 5.19**, para un periodo considerado de cinco años después de la inversión realizada, considerando también los costos de operación anual.

Tabla 5.19 – Flujo de Caja neto anual para el proyecto de mejora de ingeniería.

ITEM	DESCRIPCION	0	1	2	3	4	5
A0	BENEFICIOS ANUALES		\$ 13,236.38	\$ 13,236.38	\$ 13,236.38	\$ 13,236.38	\$ 13,236.38
	COSTOS DIRECTAMENTE RELACIONADOS						
01	Productividad		\$ 6,093.41	\$ 6,093.41	\$ 6,093.41	\$ 6,093.41	\$ 6,093.41
02	Salud Ocupacional		\$ 1,492.91	\$ 1,492.91	\$ 1,492.91	\$ 1,492.91	\$ 1,492.91
03	Seguros corporativos		\$ 3,071.12	\$ 3,071.12	\$ 3,071.12	\$ 3,071.12	\$ 3,071.12
	COSTOS INDIRECTAMENTE RELACIONADOS S/ACCIDENTES						
01	Trastornos Musculoesqueleticos		\$ 2,578.95	\$ 2,578.95	\$ 2,578.95	\$ 2,578.95	\$ 2,578.95
A1	COSTOS DE OPERACIÓN - OPEX		\$ 167.57	\$ 167.57	\$ 167.57	\$ 167.57	\$ 167.57
01	Costo por servicios generales. Energia electro mecanica.		\$ 152.34	\$ 152.34	\$ 152.34	\$ 152.34	\$ 152.34
02	Costos por mantenimiento c/año. Lubricacion y ajuste.		\$ 15.23	\$ 15.23	\$ 15.23	\$ 15.23	\$ 15.23
A2	COSTOS DE IMPLEMENTACION - CAPEX	\$ 35,298.21					
01	Intangibles						
	Ingenieria de detalle	\$ 1,350.00					
02	Inversion en Activos Fijos						
	Componentes Mecanicos	\$ 9,162.00					
	Componentes Electricos	\$ 18,201.32					
	Servicios Auxiliares	\$ 6,584.89					
	FLUJO DE CAJA NETO : A0-(A1+A2)	-\$ 35,298.21	\$ 13,068.81	\$ 13,068.81	\$ 13,068.81	\$ 13,068.81	\$ 13,068.81

Fuente: Valores calculados.

5.5.4. Resultado de los análisis financieros.

Considerando las ecuaciones (2.31; pag.45) y (2.32; pag.45) y (2.33; pag.46), presentamos la **Tabla 5.20**, donde realizaremos la evaluación económica obteniendo los valores del VAN, TIR y TRC.

Tabla 5.20 – Análisis Financiero.

ANÁLISIS FINANCIERO	
	\$ 13,068.81 \$ 13,068.81 \$ 13,068.81 \$ 13,068.81 \$ 13,068.81
	↑ ↑ ↑ ↑ ↑
	0 1 2 3 4 5
0	\$ -35,298.21
1	\$ 11,463.87
2	\$ 10,056.03
3	\$ 8,821.08
4	\$ 7,737.79
5	\$ 6,787.53
Valor presente neto (VAN) \$ 9,568.08 ✓	
Tasa interna de retorno (TIR) 25% ✓	
Índice de rentabilidad (TRC) 1.85 ✓	

Fuente: Fuente propia.

Siendo estos valores financieros los que determinaran la viabilidad del proyecto:

VAN (14%) = USD 9,568.08; (VAN > 0)

Primer indicador, considerado como aprobatorio.

TIR = 25%; (TIR > TEA (14%))

Segundo indicador, considerado como aprobatorio.

TRC = 1.85; (TRC > 1) Tercer indicador, considerado como aprobatorio.

Garantizando con esto no solo la viabilidad financiera de esta implementación, sino también garantizando el bienestar para el problema ergonómico que representa para los operadores esta operación diaria y recurrente.

CAPITULO 6: ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Para discutir sobre los resultados analizados de las tecnologías de inmersión de lingotes de zinc en lecho de zinc fundido a 450°C y mitigar los riesgos laborales de los operadores se presenta cada aspecto considerado dentro de esta evaluación para contrastarlo con la hipótesis planteada.

6.1. Presentación de los resultados.

Criterios de diseño – DIN EN ISO 8373

Control de posición por precisión. El sistema desarrollado, tiene un principio de control de posición con servomotores y enconder que garantizan que cada ángulo y/o avance trabaje con una tolerancia de $\pm 5\%$ error.

Control de inercia. La propuesta desarrollada contempla un giro controlado, según los perfiles de movimiento planteado en el modelador Cymex @ 5, considerando giro de 0 a 90° y de 90° a 180°, en ambos sentidos horario y antihorario.

Componentes convencionales. Los componentes propuestos son de marca comercial y no generan la exclusividad o dependencia al ser de tecnología abierta. (Proyectos evaluados por diversos integradores).

Control de seguridad. Como cualquier sistema autónomo, se tiene considerado un sistema de bloqueo operativo, que garantiza la operación del sistema manipulador en el área programada para su trayectoria.

Criterios de seguridad operacional – UNE EN 1050

Personas no expuestas. Cumpliendo los controles de ingeniería solicitados, se elimina la interacción entre la carga y descarga de los lingotes de zinc (26kgr). Superando el primer problema de ergonomía.

Genera una baja exposición a lesiones. La operación autónoma del sistema manipulador, garantiza que la inmersión de lingotes de zinc no exponga a ningún operador durante esta acción repetitiva en el proceso de galvanizado.

Relación entre exposición y efectos. Debido a que el sistema se deshabilita cada vez que se requiere realizar la recarga del paquete de lingotes de zinc, se elimina la exposición de los operadores, puesto que la actividad la realiza el montacarga y/o paletizador.

No requiere la operación humana. El sistema manipulador trabaja de forma autónoma y solo requiere de la participación del operador para reiniciar o dar inicio a la secuencia de inmersión de lingotes de zinc.

Nivel de seguridad operacional. Para la interacción entre el operador y el dispositivo manipulador, se considera un panel de control de pantalla táctil, con un entorno gráfico que facilita la operación del sistema.

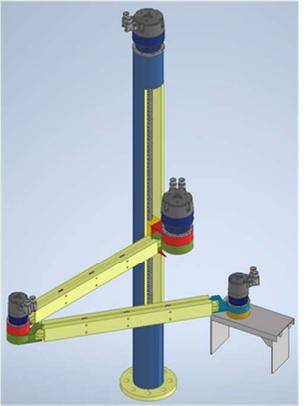
Nivel de seguridad del sistema. Cada dispositivo instalado para lograr la integración de los diferentes componentes motrices, señal, control y programación, cuentan con la certificación de un fabricante comercial local y además al ser de tecnología abierta no limita las condiciones y/o confiabilidad del sistema manipulador planteado para este desarrollo.

6.2. Análisis de los resultados.

6.2.1. Resultado de la evaluación de las tecnologías de inmersión.

Considerando todos los aspectos citados para definir los criterios de diseño y de seguridad operacional, se presenta en la **Fig. 6.1** los resultados cuantitativos de cada modelo y/o sistema propuesto; enfocados en superar la problemática para el operador y sin afectar la operatividad y rentabilidad del proceso de galvanizado en caliente para la etapa de inmersión de lingotes de zinc.

Fig. 6.1 – Resultados de los sistemas evaluados.

TECNOLOGÍAS PARA INMERSIÓN DE LINGOTES DE ZINC, EN LECHO DE ZINC FUNDIDO A 450°C		Sistema manipulado con fuente neumática	Sistema servocontrolado por brazo robótico	Sistema manipulador ingravido	Sistema servocontrolado en plano cartesiano
Criterios de Diseño DIN EN ISO8373	Control de posición por precisión				
	Control de inercia				
	Componentes convencionales				
	Control de seguridad				
Criterios de Seguridad Operacional UNE EN1050	Personas no expuestas				
	Representa una baja exposición a lesiones.				
	Relación entre exposición y efectos				
	No requiere la operación humana				
Nivel de seguridad operacional					
Nivel de seguridad del sistema					
RESULTADO CALIFICADO		🟡 40%	🟡 87%	🔴 33%	🟢 93%

Fuente: Fuente propia.

6.2.2. Resultado de la evaluación dimensional de los componentes motrices.

Considerando los valores de inercia y los perfiles de velocidad calculados, determinamos los valores de aceleración angular y torque máximos en cada sistema motriz implementado. Y con el uso del software utilitario Cymex @ 5, seleccionamos los servomotores con sus respectivos reductores.

Tornillo de potencia, reductor y servomotor (M1).

Servo motor BuR – 8LSN46.ee060ffgg-h.

Reductor planetario de bajo jugo NP025S-MA2-9-0E1-1S

Tornillo de potencia TR 30 x 10 – DIN103

Actuador (M2).

Actuador TPM010S-050-5-O1

Actuador (M3).

Actuador TPM004S-016-5-O1.

Actuador (M4).

Actuador TPMP004S-010-5-O1.

6.2.3. Resultado del análisis del perfil estructural.

Con el modelador de autodesk Inventor, se desarrollaron las propuestas preliminares y se realizó el análisis por elementos finitos con el software Nastran, considerando el sistema ensamblado para esta evaluación.

La estructura y sus componentes han sido desarrolladas considerando acero ASTM A36, para las estructuras tubulares y rectangulares y para los componentes mecanizados como el tornillo de potencia, la nuez y los soportes abisagrados en acero ASTM A441.

Cabe detallar que, para todo el desarrollo de este sistema manipulador, se consideró una carga de 65Kgr, por el peso de todos los componentes involucrados y justificados, obteniendo los valores de esfuerzo máximo, desplazamiento y factor de seguridad.

Factor de seguridad: 2.23

Desplazamiento: 4.8mm

Esfuerzo máximo: 202.7 MPa

El factor de seguridad es la relación entre la tensión límite y la máxima admisible del sistema sometido a evaluación. La norma MV-103, indica que para considerar una estructura satisfactoria debemos de obtener un factor de seguridad entre 1.33 a 1.5, bajo esta indicación nuestro modelo cumple con un factor de seguridad de 2.2; lo cual indica que puede soportar una carga de hasta 120Kgr antes de llegar a su límite de fluencia.

6.2.4. Resultado del análisis financiero.

Es posible generar productividad, eliminando actividades que retrasan o frenan la producción en un proceso industrial. Sumando las condiciones de seguridad laboral y factores ergonómicos que generan lesiones a los colaboradores, necesitamos cuantificar los costos que todo esto representa para poder determinar la viabilidad de una inversión.

Primero, cuantificamos el costo total de la inversión para el desarrollo del proyecto de inmersión de lingotes de zinc, luego tenemos que cuantificar los costos que representan mantener la actividad de inmersión de lingotes de zinc de forma manual y cuantificar el riesgo que representa de forma directa y/o indirecta.

Finalmente, evaluamos la inversión con una proyección de recuperación en un periodo no mayor a cinco años y una TEA del 14%, según los valores del mercado bancario.

VAN (14%) = USD 9,568.08; (VAN > 0)

TIR = 25%; (TIR > TEA (14%))

TRC = 1.85; (TRC > 1)

Logrando con esto determinar un periodo de recuperación después del cuarto año de implementado todo el sistema de manipulación para inmersión de lingotes de zinc.

CONCLUSIONES

1. En este trabajo de investigación se analizaron las tecnologías de inmersión de lingotes de zinc en lecho de zinc fundido a 450°C para mitigar riesgos laborales de operarios. Lo más importante para lograr este análisis, fue establecer los criterios de diseño y de seguridad (DIN EN ISO 8373 y UNE EN 1050) porque se logró de esta forma cuantificar de forma proporcional el valor de cada alternativa; y así comparar el nivel de aporte de cada una en la mitigación de los riesgos operacionales.
2. Se detallaron, desglosaron y evaluaron las actividades que realizan los operadores en el proceso de galvanizado – Decreto supremo N°024-2019-EM(2019) “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería”; porque permite identificar el peligro presente según la actividad que realizan y en base a la probabilidad y severidad de la lesión se puede cuantificar el riesgo que representa para cada operador; así también con el uso de la matriz de evaluación de riesgo se establece qué controles son necesarios de implementar y en donde se requiere realizar una alternativa de eliminación o sustitución, o aplicar un control de ingeniería.
3. Una de las complicaciones para analizar las tecnologías de inmersión de lingotes de zinc y así mitigar riesgos laborales para los operarios, fue establecer un modelo base para desarrollar en el software AUTODESK INVENTOR, para posteriormente calcular los torques necesarios y perfiles de movimiento planteados según el plano cartesiano y con ello seleccionar los componentes motrices; utilizando el catálogo virtual CYMEX@5.

4. En el presente trabajo, se vio limitado al tipo de perfil estructural analizado por el método de elementos finitos – FEM, utilizando el software NASTRAN. Porque utilizando un perfil comercial, no se logró obtener los factores de seguridad, deflexiones y esfuerzos máximos permitidos; resolviendo elaborar un perfil especial compuesto por uniones soldadas y empernadas para garantizar la resistencia a la fatiga del sistema manipulador de lingotes de zinc durante toda su operación.
5. Con este trabajo de investigación no solo se logrará establecer la influencia de las tecnologías de inmersión de lingotes de zinc en la mitigación de los riesgos laborales de operarios, sino también se eliminará la exposición de los operadores al metal líquido a 450°C y también se mejorará el clima laboral porque ya no se tendrán problemas de salud por ergonomía (Trastornos musculoesqueléticos).
6. Los resultados del presente trabajo permiten cuantificar el costo total de la inversión y también los beneficios porque ya no demandará la ocupación de tres operarios adicionales y no se tendrá que detener el proceso productivo para realizar esta actividad de inmersión de lingotes de zinc, permitiendo una reducción en los gastos operativos anuales de hasta **USD 13 068.81**; entre gastos por producción, salud ocupacional, seguros corporativos y atenciones por trastornos musculoesqueléticos. Permitiendo mejorar la rentabilidad de este proceso de galvanizado en caliente.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda no limitar las tecnologías de inmersión de lingotes de zinc en lecho de zinc fundido a 450°C, a las alternativas propuestas. Sino por el contrario queda como trabajo de investigación desarrollar nuevas alternativas que apliquen al mismo objetivo; mitigar los riesgos laborales en esta actividad.
2. Para garantizar la mitigación del riesgo laboral en los operadores; se recomienda que el uso de la tecnología propuesta necesita de la colaboración de cada operador, así como también de la supervisión de producción y del área de seguridad para verificar que los controles de ingeniería se respeten.
3. Para el proceso constructivo del modelo propuesto, se recomienda como trabajo futuro de investigación, detallar los planos de acople entre el actuador y/o servomotor y el reductor con los sistemas tipo bisagra presentes en dos puntos del sistema manipulador de lingotes de zinc modelado en el software Autodesk Inventor.
4. Después de analizar el perfil estructural propuesto para este sistema manipulador de lingotes de zinc, se recomienda no limitar el diseño modelado en Autodesk Inventor a un nuevo análisis; considerando necesario modificar la sección y optimizar el peso de la estructura sin afectar la resistencia a la fatiga, con el uso del software NASTRAN.

5. Después de implementar el sistema manipulador de lingotes de Zinc; se recomienda realizar la difusión y entrenamiento del sistema posicionador propuesto, para garantizar el adecuado uso por parte de los operadores y personal de mantenimiento; además de sensibilizar sobre la importancia que representa este sistema para la seguridad laboral de los operadores y de la organización.

6. Con la experiencia desarrollada en este trabajo de suficiencia recomendamos siempre seguir esta o una nueva metodología que garantice y sustente toda evaluación y/o control de ingeniería que requiera ser implementada bajo el enfoque de seguridad y/o mejora operacional, para cualquier proceso productivo.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. Agnew, J., & Synder, G. (2008). *ELIMINANDO obstaculos para la seguridad*. Atlanta, GA 30326: Performance Management Publications (PMP).
- [2]. American Galvanizers Association. (2015). *Galvanizado en Caliente para Proteccion Contra la Corrosion*. Centennial, Colorado 80112: AGA.
- [3]. Bengolea Rodriguez, R. (2017). *Estudio de Factibilidad para la Ampliacion de la Capacidad Productiva de Planta de Galvanizado en Caliente*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- [4]. Borja Robalino, R., & Morocho Rojas, P. (2017). *Analisis Estructural mediante el metodo de elementos finitos del chasis del vehiculo formula SAE electrico de la universidad politecnica Salesiana*. Cuenca, Ecuador.
- [5]. Calle Ore, L., & Vargas Zuni, M. (2021). *Diseño Automatico de Estacionamiento Vertical Rotativo con Capacidad para 10 Vehiculos SUV Utilizando Energia Solar para el Sistema de Control, Ubicado en la Ciudad de Arequipa*. Arequipa: Universidad Catolica de Santa Maria.
- [6]. Cervera Ruiz, M., & Blanco Diaz, E. (Febrero 2004). *Mecanica de Estructuras Libro 2 Metodos de analisis*. Barcelona: Edicions UPC.
- [7]. Comité Técnico AEN/CTN 81. (1997). *Seguridad de las Maquinas. Principios para la Evaluacion del Riesgo*. Madrid - España: AENOR.
- [8]. E. Flores, M., & L. Ruiz, J. (s.f.). *Recubrimientos y tratamientos superficiales*. Obtenido de Asociacion para la promocion tecnica del acero: http://www.apta.com.es/pdf/galva_caliente.pdf
- [9]. Empleo, M. d. (2021). Notificacion de accidentes de trabajo, incidentes peligrosos y enfermedades ocupacionales. *Boletin Estadistico Mensual*, 29.

- [10]. Estrella Mucha, W. (2020). *Influencia del Sistema de Gestion de Seguridad y Salud Ocupacional en la Productividad de la Planta Concentradora - Castrovirreyña*. Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion.
- [11]. Etxeberria San Martin, A., & Benito Amurrio, M. (2020). *Diseño de un manipulador de carga ingravido para llantas y la elaboracion del expediente tecnico de construccion*. Pamplona: Universidad Publica de Navarra.
- [12]. Loja Herrera, P. (19 de Setiembre de 2013). *Fundicion de Zinc [Video]*. Obtenido de Moldes de Zinc: https://youtu.be/AmN_BzyBO_k
- [13]. Morales Estay, P. (2021). Participacion de los Robots en los Procesos Industriales. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*, 5.
- [14]. Otero Yugat, J. (Abril de 2010). *Revista Tecnica de la Facultad de ingenieria Universidad del Zulia*. Obtenido de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702010000100004
- [15]. Rantanen, J. (1995). *OMS - Estrategia Mundial de Salud Ocupacional para Todos*. Finlandia: MS. Suvi Lehtinen.
- [16]. Rodríguez Galbarro, H. (s.f.). *Ingemecánica*. Obtenido de Ingemecánica: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html>
- [17]. Sabino, A. (2020). *Implicaciones de la Digitalizacion de Procesos Productivos en Industrias 4.0*. Colombia: Telematique.
- [18]. Serrano Chafra, F. (2020). *Elaboracion de una plan de seguridad para prevenir los riesgos laborales aplicado a las areas criticas de un taller de mantenimiento industrial*. Guayaquil: Universidad Nacional de Guayaquil.
- [19]. Stober. (11 de 2021). *ServoFit Servogetriebe*. Obtenido de <https://www.servodrives.ch/downloads/getriebe/servofit-servogetriebe442258-06en.pdf>

- [20]. Tejada Alvarez, R. (2017). *Diseño e Implementacion de un Sistema Mecanico de Levantamiento de Carga y Descarga en el Area de Distribucion de la Empresa Moderna Alimento SA, para la Disminucion de Riesgos Ergonomicos*. Ribamba - Ecuador: Universidad Nacional de Chimborazo.
- [21]. Tertünte, J., & Endrijaitis, L. (2013). *Sistemas de Manipulacion Cartesiana*. (F. A. KG, Ed.) Obtenido de Sistemas de movimiento controlado: https://www.festo.com/net/es-ve_ve/SupportPortal/Files/301263/White_Paper%20_Kartesische_Handling_Systeme_ES.pdf
- [22]. Teutle, A. (15 de Febrero de 2019). *Thermo Panel Industria de Paneles SA*. Obtenido de Ventajas del Acero Galvanizado: <https://thermopanel.net/proceso-de-galvanizado/>
- [23]. URANY SA. (s.f.). *URANY.net*. Obtenido de <https://urany.net/blog/principales-componentes-de-un-sistema-de-control-de-movimiento>
- [24]. Valdiviezo, J. (19 de Octubre de 2019). *Fusion y Moldeo de Zinc*. Obtenido de Linea Outotec y Traslado de Zinc y en Moldes: https://youtu.be/JoJDxY2q_Ek
- [25]. Wittenstein, W. (05 de Febrero de 2020). *Wittenstein alpha GmbH*. Obtenido de Cymex 5 (Version 3.7.0): <https://alpha.wittenstein.de/en-en/cymex-5>

ANEXOS

- [1]. Formato de análisis de seguridad, para la operación de galvanizado de Zinc.
- [2]. Formato de análisis para las tecnologías de inmersión de lingotes de Zinc.
- [3]. Reportes generados para la selección de los actuadores Cymex@5.
 - Servomotor M1 – Eq. Motriz eje vertical.
 - Actuador M2 – Eq. Motriz primer giro.
 - Actuador M3 – Eq. Motriz segundo giro.
 - Actuador M4 – Eq. Motriz manipulador.
- [4]. Planos del modelo desarrollado en AUTODESK INVENTOR.
- [5]. Reporte de análisis de elementos finitos – FEM – NASTRAN.
 - Análisis modal – Columna motorizada c/tornillo de potencia.
 - Análisis de esfuerzo y deformación – Sistema manipulador.

		REGISTRO IPERC LINEA EVALUACION				CODIGO:										
		EMPRESA INSPECCION: TUPEMESA		PROYECTO: MEJORA DE PROCESOS PRODUCTIVOS Y CONDICIONES DE SEGURIDAD LABORAL		RP0010-2022										
PROCESO PRODUCTIVO - LINEA DE GALVANIZADO EN CALIENTE		N° SERVICIO: SSMA 0025 2022		F.REPORTE		15/08/2022										
NOMBRE DEL TRABAJO EN EVALUACION: ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN DE LINGOTES DE ZINC EN LECHO DE ZINC FUNDIDO A 450°C PARA MITIGAR		Personal participante de la elaboración del IPERC (*): Nombre y Firma														
1		6		2		7										
2		7		3		8										
3		8		4		9										
4		9		5		10										
5		10														
MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGOS																
SEVERIDAD	Catastrófico	1	2	4	7	11	NIVEL DE RIESGO	DESCRIPCIÓN	PLAZO DE CORRECCIÓN	TIPO DE CONTROL						
	Mortalidad	2	3	5	8	12				ALTO	Riesgo intolerable, requiere controles inmediatos. Si no se puede controlar el PELIGRO se paraliza los trabajos operacionales en la labor	0-24 HORAS	1	Eliminación		
	Permanente	3	6	9	13	17				MEDIO	Iniciar medidas para eliminar/reducir el riesgo. Evaluar si la acción se puede ejecutar de manera de manera inmediata	0-72 HORAS	2	Sustitución		
	Temporal	4	10	14	18	21							3	Controles de Ingeniería		
	Menor	5	15	19	22	24							4	Señalización, Alertas y/o Controles Administrativos		
		A	B	C	D	E	BAJO	Este riesgo puede ser tolerable	1 MES	5	Uso de Equipo de Protección Personal (EPP)					
		Común	Ha sucedido	Podría suceder	Raro que suceda	Prácticament e imposible que suceda				PROBABILIDAD / FRECUENCIA						
No.	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DEL PELIGRO	RIESGO	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	Nivel del Riesgo	EVALUACIÓN DEL RIESGO			TIPO DE CONTROL	RE-EVALUACIÓN DEL RIESGO					
1	Traslado de paquete de lingotes de Zinc. (Peso 26Kgr x 40u = 1,040Kgr).	Traslado con montacarga de 2.5Ton.	Atropello por mala maniobra, al trasladar los paquetes de lingote de zinc.	D	2	12	Señalizar las areas de transporte de montacarga.	3, 4 y 5	E	2	16					
			Impacto sobre las estructuras y/o componentes de la camara para galvanizado en caliente.	B	3	9	Instalacion de tapas o accesorios para proteccion de componentes criticos.					Instalacion de topes de jebe, para delimitar las zonas de trabajo del montacarga.	Restriccion de acceso para los montacargas en zonas perimetricas a la camara de galvanizado.	D	3	17
			Caida de paquete de lingotes de zinc.	B	4	14	Verificacion del estado de los zunchos, antes de iniciar la maniobra.					Traslado de carga sobre nivel del suelo en 20cm. Aprox.	No transportar mas de un paquete a la vez.	E	4	23
2	Recarga de zinc, para mantener el nivel de zinc fundido a 450°C.	Inmersion de lingotes de zinc en lecho de zinc fundido a 450°C.	Caida a desnivel, dentro de la tina de lecho fundido de zinc a 450°C.	C	1	4	Capacitacion certificada a los operadores, sobre el trabajo con metal liquido.	3	E	1	11					
			Daño ergonomico del operador, por actividades recurrentes.	A	3	6	Facilitar a los operadores, equipos de anclaje que lo mantengan distantes 30cm.					Facilitar equipos de proteccion recubiertos en fibra, para aislarlos termicamente.	2, 3 y 4	E	3	20
			Daño ergonomico del operador, por carga de 26Kgr.	A	3	6	Capacitacion certificada a los operadores, por personal de salud laboral.					Facilitar al operador un sistema articulado ingravido, para realizar la maniobra.				
			Intoxicacion por inalacion de gases y/o vapores de zinc.	B	3	9	Capacitacion certificada a los operadores, por personal de salud laboral.	Facilitar al operador un sistema articulado ingravido, para realizar la maniobra.	Implementar un sistema electromecanico, para realizar la descarga de los lingotes.	D	3	17				
			Lesion por salpicadura de zinc fundido a 450°C.	D	3	17	Facilitar respiradores con filtros para gases y polvos, a cada operador.	Evitar la participacion del operador en un radio de 50cm del proceso de inmersion de piezas de acero en el lecho de zinc fundido a 450°C.	3 y 5	E	3	20				
			Quemaduras por exposicion a superficies calientes.	C	4	18	Capacitacion certificada a los operadores, sobre el trabajo con metal liquido.	Facilitar equipos de proteccion recubiertos en fibra, para aislarlos termicamente.					3 y 5	E	4	23
			ELABORADO		REVISADO		REVISADO		APROBADO							
Nombre y Firma:		Nombre y Firma:		Nombre y Firma:		Nombre y Firma:										
Supervisor Responsable		Ingeniero Supervisor		Jefe/ Ingeniero de Seguridad y Salud Ocupacional		Gerente de Proyecto										
Fecha de Elaboración: 15 / 08 / 2022		Fecha de Revisión: 15 / 08 / 2022		Fecha de Revisión: 15 / 08 / 2022		Fecha de Aprobación: 15 / 08 / 2022										

SEVERIDAD		ASPECTOS		
		Lesión Personal	Daño a la Propiedad	Daño al Proceso
Catastrófico	1	Varias mortalidades. Varias personas con lesiones permanentes.	Perdidas por un monto superior a US\$ 100,000	Paralización del proceso de más de (01) mes o paralización definitiva.
Mortalidad	2	Una mortalidad. Estado vegetal.	Perdidas por un monto entre US\$ 10,000 y US\$ 100,000	Paralización del proceso de más de una (01) semana y menos de (01) mes.
Permanente	3	Lesiones que incapacitan a la persona para su actividad normal de por vida. Enfermedades ocupacionales avanzadas o crónicas.	Perdidas por un monto entre US\$ 5,000 y US\$ 10,000	Paralización del proceso de más de un (01) día hasta una (01) semana.
Temporal	4	Lesiones que incapacitan a la persona temporalmente. Lesiones por posición ergonómica	Perdidas por un monto entre US\$ 1,000 y US\$ 5,000	Paralización de un (01) día.
Menor	5	Lesión que no incapacita a la persona. Lesiones leves.	Perdidas por un monto menor a US\$ 1,000	Paralización menor de un (01) día.

PROBABILIDAD		ASPECTOS	
		Probabilidad de Frecuencia	Frecuencia de Exposición
Común (muy probable)	A	Sucede con demasiada frecuencia	Muchas (6 o más) personas expuestas. Varias veces al día.
Ha sucedido (probable)	B	Sucede con frecuencia	Moderado (3 a 5) personas expuestas varias veces al día.
Podría suceder (posible)	C	Sucede ocasionalmente	Pocas (1 a 2) personas expuestas varias veces al día. Muchas personas expuestas ocasionalmente.
Raro que suceda (poco probable)	D	Rara vez ocurre. No es muy probable que ocurra.	Moderado (3 a 5) personas expuestas ocasionalmente.
Prácticamente imposible que suceda.	E	Muy rara vez ocurre. Imposible que ocurra.	Pocas (1 a 2) personas expuestas ocasionalmente.



REGISTRO EVALUACION DE PROPUESTAS



EMPRESA INSPECCION: TUPEMESA

PROYECTO: MEJORA DE PROCESOS PRODUCTIVOS Y CONDICIONES DE SEGURIDAD LABORAL

CODIGO:

RP0011-2022 (01)

PROCESO PRODUCTIVO - LINEA DE GALVANIZADO EN CALIENTE

N° SERVICIO: SSMA 0025 2022

F.REPORTE

15/08/2022

NOMBRE DEL TRABAJO EN EVALUACION:

ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN DE LINGOTES DE ZINC EN LECHO DE ZINC FUNDIDO A 450°C PARA MITIGAR RIESGOS LABORALES EN OPERARIOS.

Personal participante en la evaluación: Nombre y Firma

1
2
3
4
5

	Análisis de alternativas (0) - No aplica (1) - Bajo (2) - Medio (3) - Alto	Criterios de Diseño DIN EN ISO8373				Criterios de Seguridad Operacional UNE EN1050						Resultado	
		Control de posición por precisión	Control de inercia	Componentes convencionales	Control de seguridad	Personas no expuestas	Representa una baja exposición a lesiones.	Relación entre exposición y efectos	No requiere la operación humana	Nivel de seguridad operacional	Nivel de seguridad del sistema		
(01)	Desarrollo Planteado	CR 01	CR 02	CR 03	CR 04	CR 05	CR 06	CR 07	CR 08	CR 09	CR 10		
		1	0	3	0	1	2	1	1	1	2	✗ 40%	
Sistema Manipulado C/Fuente Neumatica		Anotaciones, referentes a la propuesta planteada.											
		CR 01	Sistema neumático, manualmente dependiente.										
		CR 02	Desarrollado, solo para un tipo de molde y posición de manipulación.										
		CR 03	Accesorios y componentes comerciales.										
		CR 04	Mantiene un perfil de movimiento, para traslación y rotación.										
		CR 05	La operación depende del operador y no lo libera del problema ergonómico.										
		CR 06	La actividad la realiza en el perímetro del lecho de zinc fundido.										
		CR 07	Aun mantiene los problemas ergonómicos y la frecuencia de carga es baja, dos lingotes por turno.										
		CR 08	El funcionamiento depende del operador.										
		CR 09	El sistema es de funcionamiento discreto (step by step), no cuenta con barreas de seguridad.										
CR 10	Al ser un sistema step by step, no contempla un cambio en la secuencia de operación.												

ELABORADO Nombre y Firma:	REVISADO Nombre y Firma:	REVISADO Nombre y Firma:	APROBADO Nombre y Firma:
Supervisor Responsable Fecha de Elaboración: 15 / 08 / 2022	Ingeniero Supervisor Fecha de Revisión: 15 / 08 / 2022	Jefe/ Ingeniero de Seguridad y Salud Ocupacional Fecha de Revisión: 15 / 08 / 2022	Gerente de Proyecto Fecha de Aprobación: 15 / 08 / 2022



REGISTRO EVALUACION DE PROPUESTAS



EMPRESA INSPECCION: TUPEMESA	PROYECTO: MEJORA DE PROCESOS PRODUCTIVOS Y CONDICIONES DE SEGURIDAD LABORAL	CODIGO:
		RP0011-2022 (02)
PROCESO PRODUCTIVO - LINEA DE GALVANIZADO EN CALIENTE	N° SERVICIO: SSMA 0025 2022	F.REPORTE
		15/08/2022

NOMBRE DEL TRABAJO EN EVALUACION: ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN DE LINGOTES DE ZINC EN LECHO DE ZINC FUNDIDO A 450°C PARA MITIGAR RIESGOS LABORALES EN OPERARIOS.	Personal participante en la evaluación: Nombre y Firma	
	1	_____
	2	_____
	3	_____
	4	_____
	5	_____

	Criterios de Diseño DIN EN ISO8373				Criterios de Seguridad Operacional UNE EN1050						Resultado
	Control de posición por precisión	Control de inercia	Componentes convencionales	Control de seguridad	Personas no expuestas	Representa una baja exposición a lesiones.	Relación entre exposición y efectos	No requiere la operación humana	Nivel de seguridad operacional	Nivel de seguridad del sistema	
Análisis de alternativas (0) - No aplica (1) - Bajo (2) - Medio (3) - Alto	CR 01	CR 02	CR 03	CR 04	CR 05	CR 06	CR 07	CR 08	CR 09	CR 10	
(02) Desarrollo Planteado	3	3	1	3	3	3	1	3	3	3	87%

Sistema Servocontrolado por Brazo Robotico		Anotaciones, referentes a la propuesta planteada.											
		CR 01	Sistema totalmente automático, programable y reconfigurable.										
		CR 02	Permite poder manipular, cualquier forma de objeto.										
		CR 03	Accesorios y componentes no comerciales. Sin embargo, cuentan con una garantía de alto desempeño.										
		CR 04	El área de operación, esta sujeta al radio de acción del sistema en movimiento.										
		CR 05	El sistema no requiere la participación de un operador, solo para iniciar y activar la secuencia.										
		CR 06	El sistema realiza toda la operación de carga y descarga de lingotes de zinc.										
		CR 07	El sistema requiere la asistencia de un alimentador electromecánico.										
		CR 08	El sistema es 100% automático, una vez que se realizo la programación de la operación.										
		CR 09	Sistema requiere del bloqueo de seguridad en la región de trabajo para la normal operación.										
CR 10	Adicional se requiere una malla de seguridad para su operación.												

ELABORADO Nombre y Firma:	REVISADO Nombre y Firma:	REVISADO Nombre y Firma:	APROBADO Nombre y Firma:
Supervisor Responsable Fecha de Elaboración: 15 / 08 / 2022	Ingeniero Supervisor Fecha de Revisión: 15 / 08 / 2022	Jefe/ Ingeniero de Seguridad y Salud Ocupacional Fecha de Revisión: 15 / 08 / 2022	Gerente de Proyecto Fecha de Aprobación: 15 / 08 / 2022



REGISTRO EVALUACION DE PROPUESTAS



EMPRESA INSPECCION: TUPEMESA	PROYECTO: MEJORA DE PROCESOS PRODUCTIVOS Y CONDICIONES DE SEGURIDAD LABORAL	CODIGO:
		RP0011-2022 (04)
PROCESO PRODUCTIVO - LINEA DE GALVANIZADO EN CALIENTE	N° SERVICIO: SSMA 0025 2022	F.REPORTE
		15/08/2022

NOMBRE DEL TRABAJO EN EVALUACION: ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN DE LINGOTES DE ZINC EN LECHO DE ZINC FUNDIDO A 450°C PARA MITIGAR RIESGOS LABORALES EN OPERARIOS.	Personal participante en la evaluación: Nombre y Firma	
	1	_____
	2	_____
	3	_____
	4	_____
	5	_____

Análisis de alternativas (0) - No aplica (1) - Bajo (2) - Medio (3) - Alto	Criterios de Diseño DIN EN ISO8373				Criterios de Seguridad Operacional UNE EN1050						
	Control de posición por precisión	Control de inercia	Componentes convencionales	Control de seguridad	Personas no expuestas	Representa una baja exposición a lesiones.	Relación entre exposición y efectos	No requiere la operación humana	Nivel de seguridad operacional	Nivel de seguridad del sistema	

(03)	Desarrollo Planteado	CR 01	CR 02	CR 03	CR 04	CR 05	CR 06	CR 07	CR 08	CR 09	CR 10	Resultado
		0	0	3	0	1	2	1	1	1	1	✘ 33%

Sistema manipulador ingravido		Anotaciones, referentes a la propuesta planteada.											
		CR 01	El sistema es operado con minimo esfuerzo de forma manual.										
		CR 02	No existe un control de inercia, toda la operación es manual y controlada electricamente.										
		CR 03	Los componentes son comerciales y de facil mantenimiento.										
		CR 04	Al ser un sistema manual, no presenta ningun control de seguridad.										
		CR 05	Genera la dependencia con un operador, para la manipulacion de cada lingote.										
		CR 06	Representa una ocupacion para el operador, asi como un impedimento para su normal operación.										
		CR 07	No libera la exposicion del operador al metal fundido.										
		CR 08	Depende en su totalidad del operador, para su operación.										
		CR 09	No tiene ninguna restriccion de seguridad para su normal operación.										
		CR 10	Solo cuenta con un sistema de bloqueo electrico. Sin embargo esta debe de ser accionada por el operador.										

ELABORADO Nombre y Firma:	REVISADO Nombre y Firma:	REVISADO Nombre y Firma:	APROBADO Nombre y Firma:
Supervisor Responsable Fecha de Elaboración: 15 / 08 / 2022	Ingeniero Supervisor Fecha de Revisión: 15 / 08 / 2022	Jefe/ Ingeniero de Seguridad y Salud Ocupacional Fecha de Revisión: 15 / 08 / 2022	Gerente de Proyecto Fecha de Aprobación: 15 / 08 / 2022



REGISTRO EVALUACION DE PROPUESTAS



EMPRESA INSPECCION: TUPEMESA	PROYECTO: MEJORA DE PROCESOS PRODUCTIVOS Y CONDICIONES DE SEGURIDAD LABORAL	CODIGO:
		RP0011-2022 (03)
PROCESO PRODUCTIVO - LINEA DE GALVANIZADO EN CALIENTE	N° SERVICIO: SSMA 0025 2022	F.REPORTE
		15/08/2022

NOMBRE DEL TRABAJO EN EVALUACION: ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN DE LINGOTES DE ZINC EN LECHO DE ZINC FUNDIDO A 450°C PARA MITIGAR RIESGOS LABORALES EN OPERARIOS.	Personal participante en la evaluación: Nombre y Firma	
	1	_____
	2	_____
	3	_____
	4	_____
	5	_____

	Criterios de Diseño DIN EN ISO8373				Criterios de Seguridad Operacional UNE EN1050						Resultado
	Control de posición por precisión	Control de inercia	Componentes convencionales	Control de seguridad	Personas no expuestas	Representa una baja exposición a lesiones.	Relación entre exposición y efectos	No requiere la operación humana	Nivel de seguridad operacional	Nivel de seguridad del sistema	
Análisis de alternativas (0) - No aplica (1) - Bajo (2) - Medio (3) - Alto	CR 01	CR 02	CR 03	CR 04	CR 05	CR 06	CR 07	CR 08	CR 09	CR 10	
(03) Desarrollo Planteado	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	<input checked="" type="checkbox"/> 93%

Sistema Servocontrolado en Plano Cartesiano		Anotaciones, referentes a la propuesta planteada.										
		CR 01	Sistema totalmente automático, programable y reconfigurable.									
		CR 02	Permite poder manipular cualquier forma de bloque.									
		CR 03	Accesorios y componentes comerciales - Electromecánico y neumático. Faculta el control de respuestas.									
		CR 04	La operación del sistema, se realiza en un radio controlado y área específica.									
		CR 05	El sistema no requiere la participación de un operador, solo para iniciar y activar la secuencia.									
		CR 06	El sistema realiza toda la operación de carga y descarga de lingotes de zinc.									
		CR 07	El sistema trabaja a condición, cada vez que se posiciona el paquete para la recarga de lingotes de zinc.									
		CR 08	Requiere supervisión visual no permanente, durante su operación.									
		CR 09	El sistema cuenta con un control de seguridad perimétrico.									
CR 10	Cuenta con un sistema de seguridad, que impide acceder al operador y/o cualquier otro agente de cambio.											

ELABORADO Nombre y Firma:	REVISADO Nombre y Firma:	REVISADO Nombre y Firma:	APROBADO Nombre y Firma:
Supervisor Responsable Fecha de Elaboración: 15 / 08 / 2022	Ingeniero Supervisor Fecha de Revisión: 15 / 08 / 2022	Jefe/ Ingeniero de Seguridad y Salud Ocupacional Fecha de Revisión: 15 / 08 / 2022	Gerente de Proyecto Fecha de Aprobación: 15 / 08 / 2022

Datos del cliente		Su contacto	
Empresa	HUARO SRL	HUARO SRL	
Persona de contacto	Jhonal Espinoza	Jhonal Jorge Espinoza Zorrilla	
Calle	Cal. los Cipreces Mza. G Lote. 1 Int. 1-e Lot. Chillón (Cruce Av Tulipanes con Cerezos)	Cal. los Cipreces Mza. G Lote. 1 Int. 1-e Lot. Chillón (Cruce Av Tulipanes con Cerezos)	
C.P. Ciudad	15116 Lima	15121 Lima	
Teléfono	918801383	918801383	
E-Mail	jespinoza@huaro.pe	jespinoza@huaro.pe	
Su proyecto:	Sist.Manipulador	Fecha:	20/03/2023
Su variante:	Ling.ZN		
Sus ejes:	Eje Tornillo		

1 Notas generales

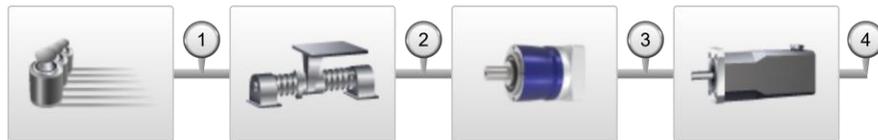
Los datos facilitados por usted constituyen la base del cálculo realizado con cymex®. WITTENSTEIN alpha no asume responsabilidad alguna por la exactitud e integridad de estos datos; mediante su pedido usted confirma la exactitud de los datos facilitados por usted.

La documentación de cálculo está basada en su diseño personalizado. Esta recomendación no vinculante no lo exime de sus deberes o responsabilidades, que incluyen el cumplimiento de las normas legales y de seguridad, así como la realización de una prueba funcional. Le recordamos que los valores de carga permitidos para los productos seleccionados no deberán superarse bajo ninguna condición de funcionamiento.

Esta recomendación, que está basada en el cálculo realizado con cymex®, no es apta para ser aplicada y/o transferida a otros productos, datos, aplicaciones, etc.

Tenga presente que la documentación de cálculo cymex® está protegida por derechos de autor.

2 Su aplicación

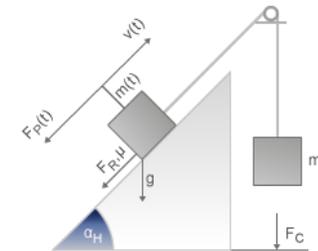


2.1 Descripción del proyecto

PRODAC. Manipulador de lingotes de bivalva.

2.2 Aplicación de carga lineal

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Coefficiente de rozamiento μ	0,1	Masa total en movimiento m	106,56 kg
Fuerza de rozamiento F_R	25 N	Fuerza máxima de proceso F_P	0 N
Ángulo a la horizontal α_H	0 °	Velocidad máxima v_{max}	0,11 m/s
Fuerza de compensación F_C	0 N	Aceleración máxima a_{max}	0,0071 m/s ²
Contrapeso m_C	0 kg		



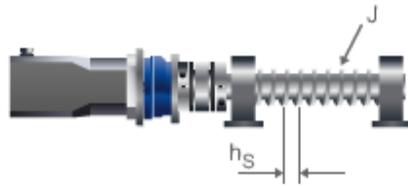
Los datos que faltan han sido reemplazados por datos empíricos, que se tienen que comprobar y corregir en caso necesario.

2.3 Reloj medidor 1

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Velocidad lineal máxima v_{Max}	0,11 m/s	Velocidad lineal nominal v_m	0,029 m/s
Aceleración máxima a_{Max}	0,0071 m/s ²	Fuerza de avance máxima F_{tMax}	130,29 N
Influencia general del juego Δs	0,02 mm	Reducción total i_{sys}	1
Inercia J			

2.4 Mecanismo de husillo

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Momento de inercia J	4,07 kgcm ²	Rendimiento η	50 %
Paso de husillo a bolas h_s	10 mm		

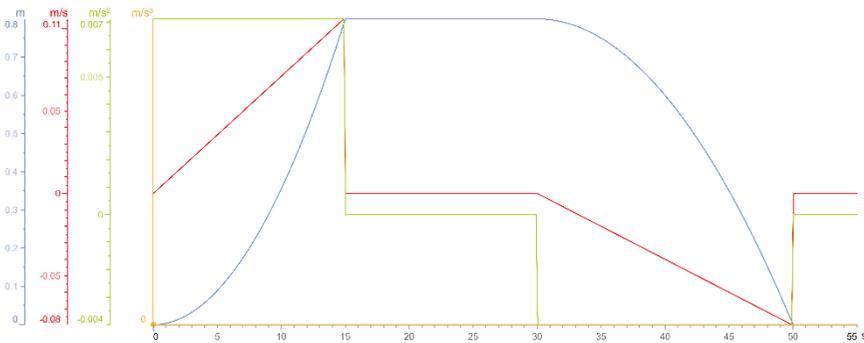


Los datos que faltan han sido reemplazados por datos empíricos, que se tienen que comprobar y corregir en caso necesario.

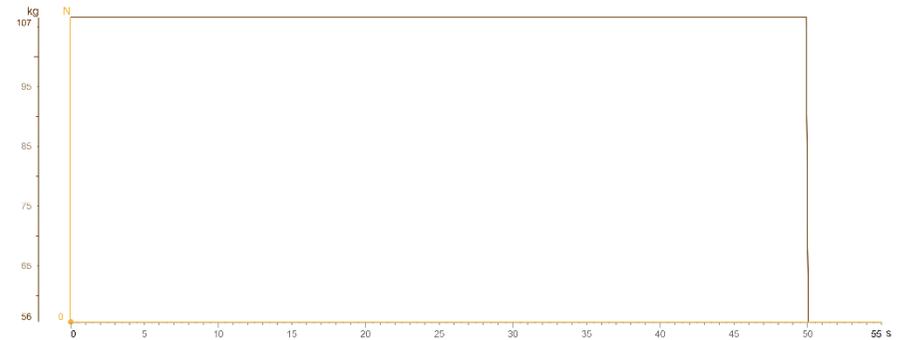
2.5 Datos del ciclo

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Duración del movimiento t_{mov}	35 s	Factor de servicio ED	64 %
Duración de ciclo t_{cyc}	55 s	Número de ciclos por hora n/h	0

2.6 Perfil de movimiento



2.7 Perfil de carga



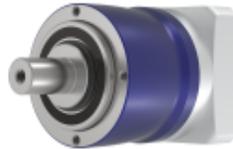
3 Diseño del tren de accionamiento

3.1 Reloj medidor 2

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Par máximo T_{Max}	0,42 Nm	Par nominal T_n	0,42 Nm
Velocidad máxima n_{Max}	640 min^{-1}	Velocidad nominal n_m	174,55 min^{-1}
Fuerza axial máxima F_{AMax}	130,29 N	Fuerza axial nominal F_{Am}	130,13 N
Fuerza radial máxima F_{RMax}	0 N	Fuerza radial nominal F_{Rm}	0 N
Aceleración angular máxima α_{Max}	4,47 rad/s^2	Relación de inercia lambda λ	0,0059
Influencia general del juego Δs	9,6 arcmin	Reducción total i_{sys}	628,319
Inercia J	6,77 kgcm^2		

3.2 Reductor

Tipo: Reductores planetarios de bajo juego NP PAR ALTO
Designación: NP025S-MA2-9-0E1-1S
Utilización total: 72 %

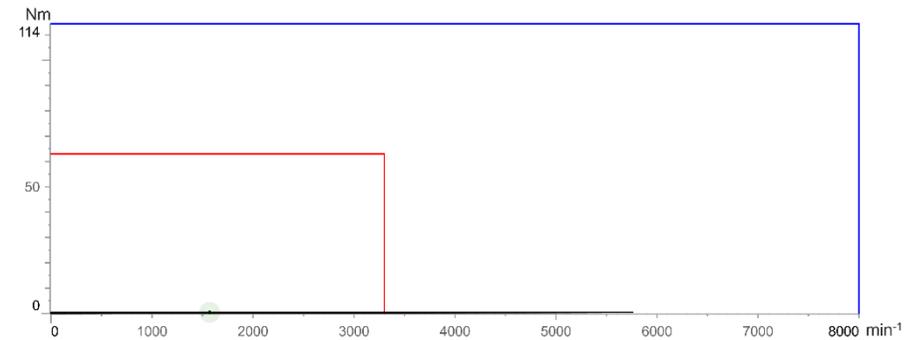


Característica	Valor
Reducción i	9
Diseño de la salida	Eje liso
Valor máximo de juego j_t	≤ 10 arcmin
Diseño de palabra clave	Estándar

Parámetro	Valor calculado	Valor admisible	Utilización
Par de aceleración máximo en salida (con factor de impactos 1) T_{2d} (fs)	0,42 Nm	114,4 Nm	0 %
Par nominal en la salida T_{2N}	0,42 Nm	63 Nm	1 %
Velocidad máxima de entrada n_{1Max}	5760 min ⁻¹	8000 min ⁻¹	72 %
Velocidad nominal de entrada n_{1N}	1570,91 min ⁻¹	3300 min ⁻¹	48 %
Fuerza axial máxima F_{2AMax}	130,29 N	1900 N	7 %
Fuerza radial máxima F_{2RMax}	0 N	2800 N	0 %
Par de vuelco máximo M_{2KMax}	0 Nm	137 Nm	0 %
Relación de inercia lambda λ con respecto a la salida del reductor	0,0059	-	-
Seguridad del eje contra cizalladura S_F	342,82	-	-
Seguridad del eje contra la fractura por fatiga S_D	534,64	-	-
Vida útil del rodamiento L_{h10}	>20000 h	-	-

¹⁾ WITTENSTEIN recomienda usar este valor λ para determinar la precisión del control

Curva característica del reductor



Leyenda de gráfico del reductor

Gris	Aplicación de curva característica
Negro	Aplicación de curva característica (con factor de carga 1)
Verde	Punto de funcionamiento de la aplicación (T_N y n_{1N})
Rojo	Curva característica S1
Azul	Curva característica S5

Mensajes

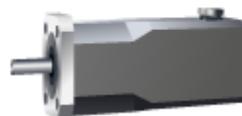
- ✖ Errores
-
- ⚠ Advertencias
-
- i Notas
-

3.3 Reloj medidor 3

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Par máximo T_{Max}	0,28 Nm	Par nominal T_n	0,28 Nm
Velocidad máxima n_{Max}	5760 min ⁻¹	Velocidad nominal n_m	1570,91 min ⁻¹
Fuerza axial máxima F_{AMax}	0 N	Fuerza axial nominal F_{Am}	0 N
Fuerza radial máxima F_{RMax}	0 N	Fuerza radial nominal F_{Rm}	0 N
Aceleración angular máxima α_{Max}	40,21 rad/s ²	Relación de inercia lambda λ	0,049
Influencia general del juego Δs	0 arcmin	Reducción total i_{sys}	5654,867
Inercia J	0,66 kgcm ²		

3.4 Motor

Fabricante: BuR
Tipo: 8LSN46.ee060ffgg-h
Utilización total: 80 %

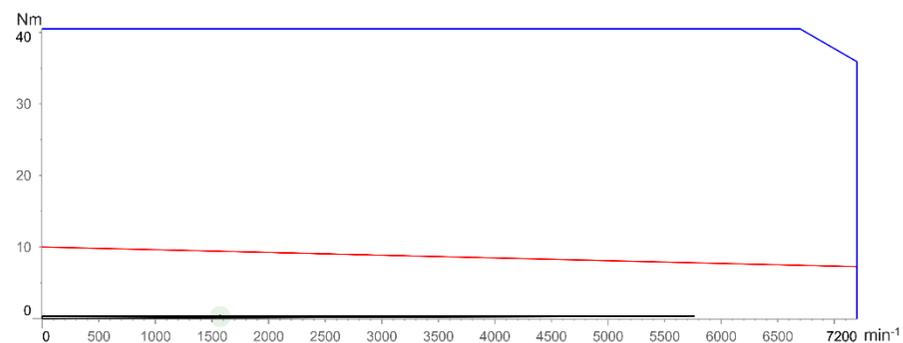


Característica	Valor
Inercia J	13,65 kgcm ²
Diámetro de eje d	19 mm

Parámetro	Valor calculado	Valor admisible	Utilización
Par máximo T_{Max}	0,34 Nm	40,5 Nm	1 %
Velocidad máxima n_{Max}	5760 min ⁻¹	7200 min ⁻¹	80 %
Velocidad nominal n_N	1570,91 min ⁻¹	6000 min ⁻¹	26 %
Relación de inercia lambda λ con respecto al eje del motor	0,049	-	-
Par medio T_{RMS}	0,26 Nm	Véase curva característica S1	-
Curva de utilización (S1)	-	-	3 %
Curva de grado de utilización (S5)	-	-	80 %

El motor en el diseño de la aplicación está incluido únicamente para fines ilustrativos. La responsabilidad de confirmar la idoneidad del motor recae sobre el fabricante. Tenga presente que cabe la posibilidad de que algunos valores no estén definidos por ciertos fabricantes. Tenga en cuenta que antes de la puesta en funcionamiento podría ser necesaria una limitación de la corriente del motor para no superar los valores admisibles del reductor.

Curvas características del motor



Leyenda de gráfico del motor

Negro	Aplicación de curva característica
Verde	Punto de funcionamiento de la aplicación (T_{RMS} y n_N)
Rojo	Curva característica S1
Azul	Curva característica S5

3.5 Reloj medidor 4

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Par máximo T_{Max}	0,34 Nm	Par nominal T_n	0,32 Nm
Velocidad máxima n_{Max}	5760 min ⁻¹	Velocidad nominal n_m	1570,91 min ⁻¹
Influencia general del juego Δs	0 arcmin	Reducción total i_{sys}	5654,867
Inercia J	14,31 kgcm ²		

Ficha de datos de producto



alpha

NP

Reductores planetarios de bajo juego



Datos del reductor	
Designación: NP025S-MA2-9-0E1-1S	
Tipo de reductor	NP
Tamaño del reductor	025
Diseño de palabra clave	Estándar
Variante de reductor	Montaje del reductor al motor
Modelo de reductor	PAR ALTO
Número de etapas	2
Relación de reducción i	9
Diseño de la salida	Eje liso
Diámetro del buje	19 mm
Juego del reductor	Estándar
Número de material de la reductora	20083354

Piezas de montaje del moto (incluidas en la entrega)	
Incluidas las piezas para el montaje al servomotor	BuR 8LSN46.ee060ffgg-h
Brida	10032923

Designación del pedido
NP025S-MA2-9-0E1-1S / BuR 8LSN46.ee060ffgg-h

Especificaciones técnicas		
Par de aceleración máx. en salida (En función de las condiciones específicas de la aplicación)	$T_{2\alpha}$	185 Nm
Par de aceleración máximo (máx. 1000 ciclos por hora)	T_{2B}	125 Nm
Par de salida nominal (con n_N)	T_{2N}	63 Nm
Par de parada de emergencia (permitido 1000 veces durante la vida útil del reductor)	T_{2Not}	190 Nm
Velocidad de entrada nominal (con T_{2N} y 20°C de temperatura ambiente) ^{a)}	n_{1N}	3300 min ⁻¹
Velocidad de entrada máxima	n_{1Max}	8000 min ⁻¹
Par medio de funcionamiento sin carga	T_{012}	0,23 Nm
Juego torsional máximo	j_t	≤ 10 arcmin
Rigidez torsional ^{b)}	C_{t21}	12 Nm/arcmin
Rigidez de vuelco	C_{2K}	24 Nm/arcmin
Fuerza axial máxima ^{c)}	F_{2AMax}	1900 N
Fuerza radial máxima ^{c)}	F_{2RMax}	2800 N
Par de vuelco máximo	M_{2KMax}	137 Nm
Rendimiento a plena carga	η	95 %
Vida útil (para realizar el cálculo, véase el capítulo "Información" en nuestro catálogo de productos)	L_h	> 20000 h
Peso, incluyendo una brida estándar	m	4,1 kg
Ruido de funcionamiento (con $n_1=3000$ min ⁻¹ sin carga)	L_{PA}	≤ 65 dB(A)
Temperatura máxima permitida de la carcasa		90 °C
Temperatura ambiente		-15 °C hasta 40 °C
Lubricación		Lubricado de por vida
Pintura		Innovation Blue
Clase de protección		IP 64
Inercia (relacionada con el accionamiento)	J_1	0,58 kgcm ²

a) Para temperaturas ambiente más elevadas, reduzca la velocidad de entrada

b) Depende del diámetro del buje

c) Se refiere al centro del eje de salida o de la brida

Ficha de datos del motor



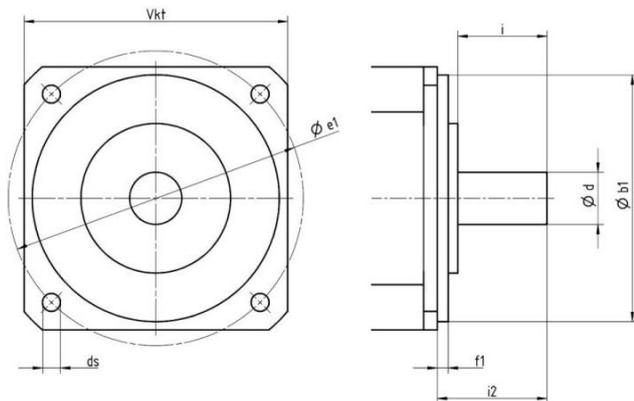
alpha

BuR

8LSN46.ee060ffgg-h

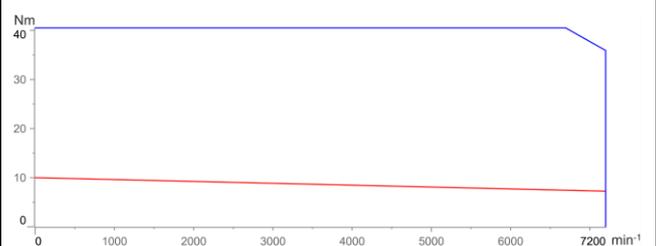


Datos geométricos		
Tipo de motor		B5
Cuadrado del motor	Vkt	116 mm
Brida del motor, diámetro primitivo	e1	130 mm
Ajuste de longitud de eje del motor	i	37 mm
Diámetro de centrado	b1	110 mm
Diámetro de eje del motor	d	19 mm
Diámetro de eje mínimo	dmin	19,002 mm
Diámetro de eje máximo	dmax	19,015 mm
Profundidad de centrado	f1	3 mm
Longitud total de eje del motor	i2	40 mm
Diámetro de orificio	ds	M8 mm



Especificaciones técnicas		
Freno		No
Par máximo	T _{Max}	40,5 Nm
Par nominal	T _N	7,7 Nm
Par de frenado	T _{BR}	0 Nm
Par con carga en reposo	T ₀	10 Nm
Velocidad máxima	n _{Max}	7200 min ⁻¹
Velocidad nominal	n _N	6000 min ⁻¹
Inercia	J	13,65 kgcm ²
Voltaje	U	400 V
Peso	m	12 kg
Refrigeración		Refrigeración por convección
Tipo de control		
Factor Kt		0,81 Nm/A

Curvas características



Leyenda

Rojo	Curva S1
Azul	Curva S5

La selección del motor para el dimensionamiento de la aplicación no constituye una decisión vinculante. El fabricante del motor debe confirmar la idoneidad del mismo. Tenga en cuenta que es posible que, en función del fabricante, algunos valores no estén definidos.

Datos del cliente		Su contacto	
Empresa	HUARO SRL	HUARO SRL	
Persona de contacto	Jhonal Espinoza	Jhonal Jorge Espinoza Zorrilla	
Calle	Cal. los Cipreces Mza. G Lote. 1 Int. 1-e Lot. Chillón (Cruce Av Tulipanes con Cerezos)	Cal. los Cipreces Mza. G Lote. 1 Int. 1-e Lot. Chillón (Cruce Av Tulipanes con Cerezos)	
C.P. Ciudad	15116 Lima	15121 Lima	
Teléfono	918801383	918801383	
E-Mail	jespinoza@huaro.pe	jespinoza@huaro.pe	
Su proyecto:	Sist.Manipulador	Fecha:	20/03/2023
Su variante:	Ling.ZN		
Sus ejes:	Art.Principal		

1 Notas generales

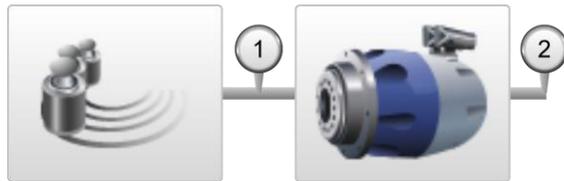
Los datos facilitados por usted constituyen la base del cálculo realizado con cymex®. WITTENSTEIN alpha no asume responsabilidad alguna por la exactitud e integridad de estos datos; mediante su pedido usted confirma la exactitud de los datos facilitados por usted.

La documentación de cálculo está basada en su diseño personalizado. Esta recomendación no vinculante no lo exime de sus deberes o responsabilidades, que incluyen el cumplimiento de las normas legales y de seguridad, así como la realización de una prueba funcional. Le recordamos que los valores de carga permitidos para los productos seleccionados no deberán superarse bajo ninguna condición de funcionamiento.

Esta recomendación, que está basada en el cálculo realizado con cymex®, no es apta para ser aplicada y/o transferida a otros productos, datos, aplicaciones, etc.

Tenga presente que la documentación de cálculo cymex® está protegida por derechos de autor.

2 Su aplicación

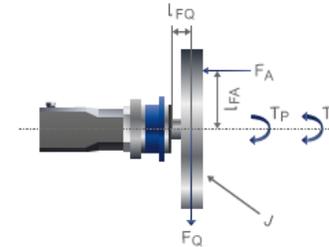


2.1 Descripción del proyecto

PRODAC. Manipulador de lingotes de bezinal.

2.2 Aplicación de carga giratoria

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Fuerza axial F_A	0 N	Inercia J	106,56 kgm ²
Fuerza radial F_Q	0 N	Par máximo de proceso T_P	0 Nm
Brazo de palanca de la fuerza axial en el eje l_{FA}	0 mm	Velocidad angular máxima n_{Max}	12 min ⁻¹
Brazo de palanca de la fuerza radial en el eje l_{FQ}	0 mm	Aceleración angular máxima α_{Max}	0,61 rad/s ²
Par de rozamiento T_R	0 Nm	Inercia para el cálculo de lambda J_{Lambda}	106,56 kgm ²

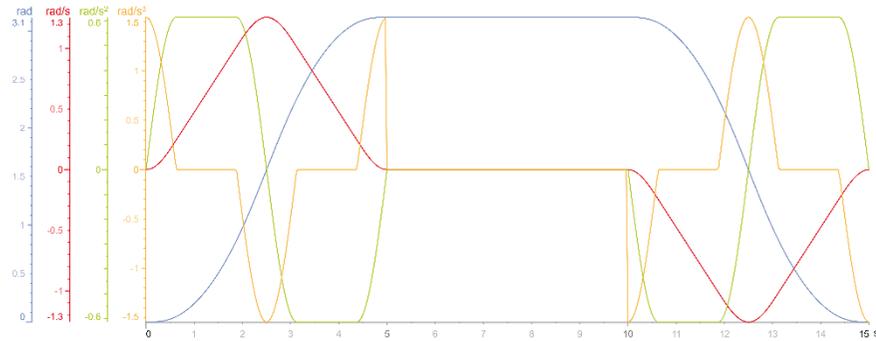


Los datos que faltan han sido reemplazados por datos empíricos, que se tienen que comprobar y corregir en caso necesario.

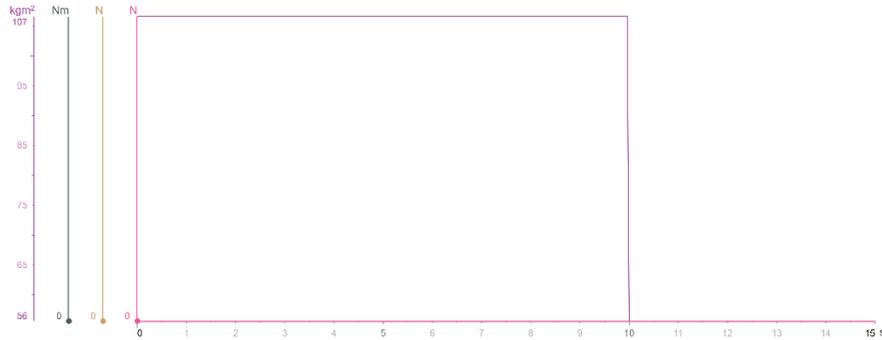
2.3 Datos del ciclo

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Duración del movimiento t_{mov}	10 s	Factor de servicio ED	67 %
Duración de ciclo t_{cyc}	15 s	Número de ciclos por hora n/h	480

2.4 Perfil de movimiento



2.5 Perfil de carga



3 Diseño del tren de accionamiento

3.1 Reloj medidor 1

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Par máximo T_{Max}	65,46 Nm	Par nominal T_n	48,48 Nm
Velocidad máxima n_{Max}	12 min^{-1}	Velocidad nominal n_m	4 min^{-1}
Fuerza axial máxima F_{AMax}	0 N	Fuerza axial nominal F_{Am}	0 N
Fuerza radial máxima F_{RMax}	0 N	Fuerza radial nominal F_{Rm}	0 N
Aceleración angular máxima α_{Max}	0,61 rad/s^2	Relación de inercia λ	592,82
Influencia general del juego Δs	2,9 arcmin	Reducción total i_{sys}	1
Inercia J	1065600 $kgcm^2$		

3.2 Servoactuador

Tipo: TPM+ power
Código de pedido: TPMP010S-050R-5PO1-094A-W4-000
Utilización total: 56 %

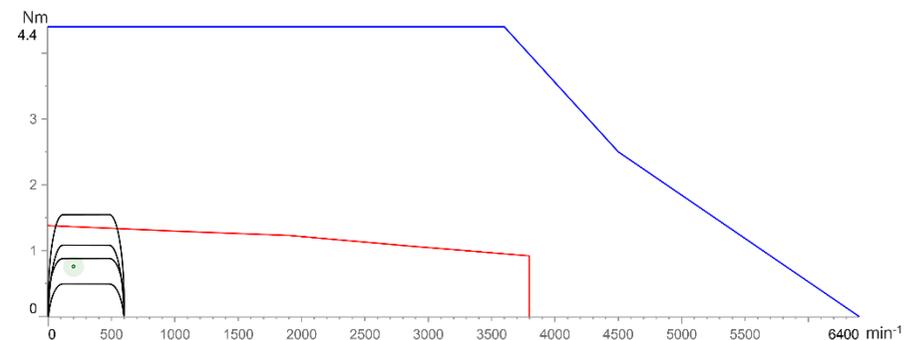


Característica	Valor
Reducción i	50
Valor máximo de juego j_t	≤ 3 arcmin
Diseño de la salida	Brida
Voltaje de circuito intermedio U_D	320 V
Momento de inercia J_1 (en eje del motor)	0,719 $kgcm^2$
Freno de parada	No
Modelo	power

Parámetro	Valor calculado	Valor admisible	Utilización
Par de aceleración máximo en salida (con factor de impactos 1) T_{2B} (fs)	65,456 Nm	130 Nm	50 %
Par nominal en la salida T_{2N}	48,483 Nm	90 Nm	54 %
Velocidad máxima en la salida n_{2Max}	12 min ⁻¹	120 min ⁻¹	10 %
Velocidad nominal en la salida n_{2N}	4 min ⁻¹	76 min ⁻¹	5 %
Punto de trabajo T_{1RMS}	0,759 Nm	Véase curva característica S1	-
Utilización de la curva S1	-	-	56 %
Utilización de la curva S5	-	-	35 %
Fuerza axial máxima F_{2AMax}	0 N	2150 N	0 %
Par de vuelco máximo M_{2KMMax}	0 Nm	270 Nm	0 %
Relación de inercia lambda λ con respecto a la salida del reductor ¹⁾	592,823	-	-
Relación de inercia lambda λ con respecto al eje del motor	603,758	-	-
Vida útil L_{h10}	>20000 h	-	-

¹⁾ WITTENSTEIN alpha recomienda usar este valor λ para determinar la precisión del control

Curvas características del motor



Leyenda de gráfico del motor

Negro	Aplicación de curva característica
Verde	Punto de funcionamiento de la aplicación (T_{1RMS} y n_{1N})
Rojo	Curva característica S1
Azul	Curva característica S5

3.3 Reloj medidor 2

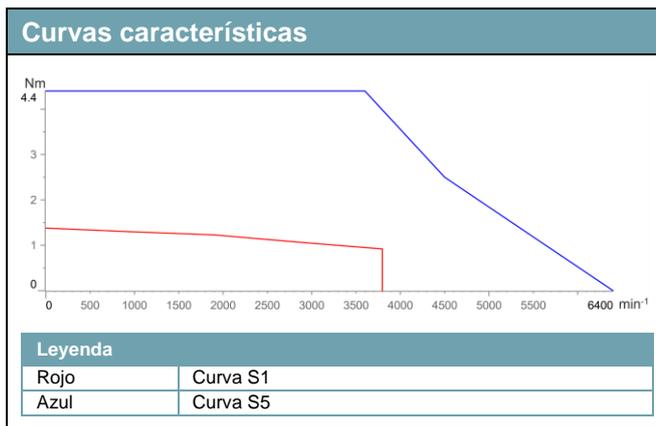
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Par máximo T_{Max}	1,55 Nm	Par nominal T_n	1,01 Nm
Velocidad máxima n_{Max}	600 min ⁻¹	Velocidad nominal n_m	200 min ⁻¹
Influencia general del juego Δs	0 arcmin	Reducción total i_{sys}	50
Inercia J	426,96 kgcm ²		

TPM+ power

Servoactuador



Datos de pedido	
Código de pedido: TPMP010S-050R-5PO1-094A-W4-000	
Tipo de actuador	TPMP
Modelo de actuador	power
Tamaño de actuador	010
Relación de reducción del actuador	50
Sistema de retroalimentación	Resolver, 2 polos
Tensión de circuito intermedio	320 V
Sensor de temperatura	Sensor de temperatura PTC
Freno	No
Juego	Estándar
Conexión eléctrica	Conector angular
Asignación de pines	Sensor de temperatura mediante cable de alimentación



Especificaciones técnicas		
Par de aceleración máximo en salida (máx. 1000 ciclos por hora)	T _{2B}	130 Nm
Par de salida estático	T ₂₀	61,5 Nm
Par de retención de frenado en salida, 100°C	T _{2BR}	0 Nm ¹⁾
Velocidad máxima	n _{2Max}	120 min ⁻¹
Par de aceleración máximo del motor	T _{1Max}	4,4 Nm
Corriente de aceleración máxima del motor	I _{Maxdyn}	10,4 A
Corriente nominal a rotor parado (Motor)	I ₀	3,2 A
Momento de inercia (en eje del motor, con Resolver)	J ₁	0,719 kgcm ²
Juego torsional	j _t	≤ 3 arcmin
Rigidez torsional	C _t	30 Nm/arcmin
Rigidez de vuelco	C _κ	225 Nm/arcmin
Fuerza axial máxima	F _{2AMax}	2150 N
Par de vuelco máximo (distancia de punto de rotación a brida de salida 82,5 mm)	M _{2KMax}	270 Nm
Peso (con Resolver, sin freno)	m	6 kg
Temperatura máxima permitida de la carcasa		90 °C
Temperatura ambiente		0 °C a 40 °C
Clase de protección		IP 65
Pos. montaje		libre
Lubricación		UL estándar
Clase de material aislante		F

Tolerancias T, l y n: Máximo +/- 10%

¹⁾ mayor que T₂₀ del reductor; En caso de una parada de emergencia, puede utilizarse aprox. 1000 veces mientras el motor está girando.

Datos del cliente		Su contacto	
Empresa	HUARO SRL	HUARO SRL	
Persona de contacto	Jhonal Espinoza	Jhonal Jorge Espinoza Zorrilla	
Calle	Cal. los Cipreces Mza. G Lote. 1 Int. 1-e Lot. Chillón (Cruce Av Tulipanes con Cerezos)	Cal. los Cipreces Mza. G Lote. 1 Int. 1-e Lot. Chillón (Cruce Av Tulipanes con Cerezos)	
C.P. Ciudad	15116 Lima	15121 Lima	
Teléfono	918801383	918801383	
E-Mail	jespinoza@huaro.pe	jespinoza@huaro.pe	
Su proyecto:	Sist.Manipulador	Fecha:	20/03/2023
Su variante:	Ling.ZN		
Sus ejes:	Art.Central		

1 Notas generales

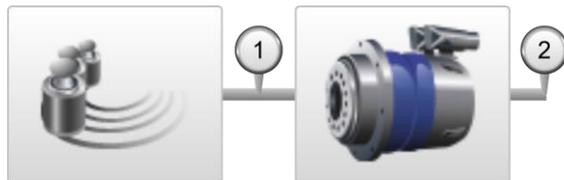
Los datos facilitados por usted constituyen la base del cálculo realizado con cymex®. WITTENSTEIN alpha no asume responsabilidad alguna por la exactitud e integridad de estos datos; mediante su pedido usted confirma la exactitud de los datos facilitados por usted.

La documentación de cálculo está basada en su diseño personalizado. Esta recomendación no vinculante no lo exime de sus deberes o responsabilidades, que incluyen el cumplimiento de las normas legales y de seguridad, así como la realización de una prueba funcional. Le recordamos que los valores de carga permitidos para los productos seleccionados no deberán superarse bajo ninguna condición de funcionamiento.

Esta recomendación, que está basada en el cálculo realizado con cymex®, no es apta para ser aplicada y/o transferida a otros productos, datos, aplicaciones, etc.

Tenga presente que la documentación de cálculo cymex® está protegida por derechos de autor.

2 Su aplicación

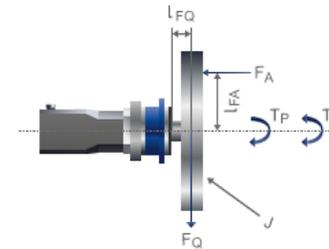


2.1 Descripción del proyecto

PRODAC. Manipulador de lingotes de bezinal.

2.2 Aplicación de carga giratoria

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Fuerza axial F_A	0 N	Inercia J	25,4 kgm ²
Fuerza radial F_Q	0 N	Par máximo de proceso T_P	0 Nm
Brazo de palanca de la fuerza axial en el eje l_{FA}	0 mm	Velocidad angular máxima n_{Max}	6 min ⁻¹
Brazo de palanca de la fuerza radial en el eje l_{FQ}	0 mm	Aceleración angular máxima α_{Max}	0,31 rad/s ²
Par de rozamiento T_R	0 Nm	Inercia para el cálculo de lambda J_{Lambda}	25,4 kgm ²

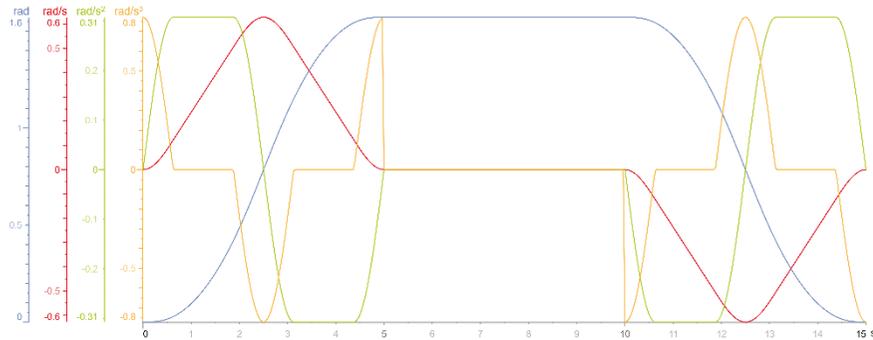


Los datos que faltan han sido reemplazados por datos empíricos, que se tienen que comprobar y corregir en caso necesario.

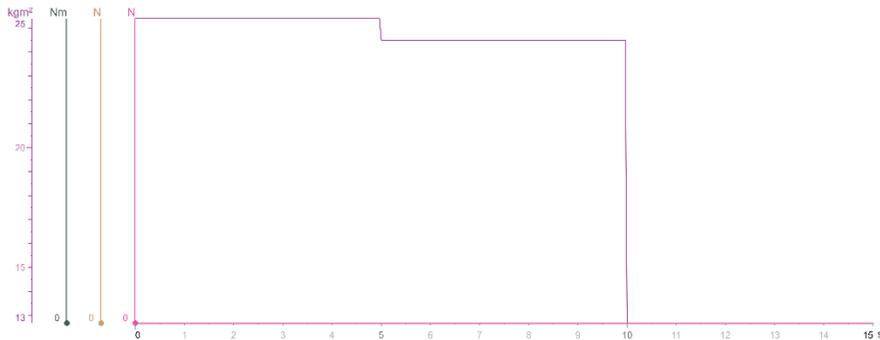
2.3 Datos del ciclo

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Duración del movimiento t_{mov}	10 s	Factor de servicio ED	67 %
Duración de ciclo t_{cyc}	15 s	Número de ciclos por hora n/h	480

2.4 Perfil de movimiento



2.5 Perfil de carga



3 Diseño del tren de accionamiento

3.1 Reloj medidor 1

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Par máximo T_{Max}	7,8 Nm	Par nominal T_n	5,75 Nm
Velocidad máxima n_{Max}	6 min^{-1}	Velocidad nominal n_m	2 min^{-1}
Fuerza axial máxima F_{AMax}	0 N	Fuerza axial nominal F_{Am}	0 N
Fuerza radial máxima F_{RMax}	0 N	Fuerza radial nominal F_{Rm}	0 N
Aceleración angular máxima α_{Max}	0,31 rad/s^2	Relación de inercia λ	4793,18
Influencia general del juego Δs	3,8 arcmin	Reducción total i_{sys}	1
Inercia J	254000 $kgcm^2$		

3.2 Servoactuador

Tipo: TPM+ dynamic
Código de pedido: TPM 004S-016R-5PO1-053B-W4-000
Utilización total: 45 %

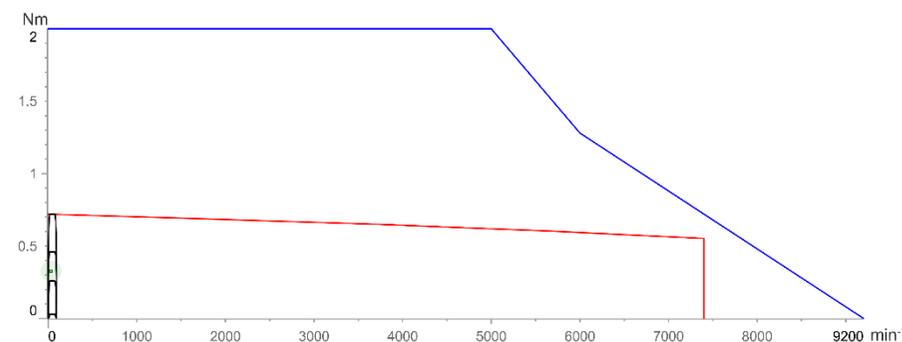


Característica	Valor
Reducción i	16
Valor máximo de juego j_i	≤ 4 arcmin
Diseño de la salida	Brida
Voltaje de circuito intermedio U_b	320 V
Momento de inercia J_1 (en eje del motor)	0,207 $kgcm^2$
Freno de parada	No
Modelo	dynamic

Parámetro	Valor calculado	Valor admisible	Utilización
Par de aceleración máximo en salida (con factor de impactos 1) T_{2B} (fs)	7,801 Nm	32 Nm	24 %
Par nominal en la salida T_{2N}	5,748 Nm	15 Nm	38 %
Velocidad máxima en la salida n_{2Max}	6 min ⁻¹	375 min ⁻¹	2 %
Velocidad nominal en la salida n_{2N}	2 min ⁻¹	275 min ⁻¹	1 %
Punto de trabajo T_{1RMS}	0,326 Nm	Véase curva característica S1	-
Utilización de la curva S1	-	-	45 %
Utilización de la curva S5	-	-	36 %
Fuerza axial máxima F_{2AMax}	0 N	1630 N	0 %
Par de vuelco máximo M_{2KMMax}	0 Nm	110 Nm	0 %
Relación de inercia lambda λ con respecto a la salida del reductor ¹⁾	4793,176	-	-
Relación de inercia lambda λ con respecto al eje del motor	5451,717	-	-
Vida útil L_{h10}	>20000 h	-	-

¹⁾ WITTENSTEIN alpha recomienda usar este valor λ para determinar la precisión del control

Curvas características del motor



Leyenda de gráfico del motor

Negro	Aplicación de curva característica
Verde	Punto de funcionamiento de la aplicación (T_{1RMS} y n_{1N})
Rojo	Curva característica S1
Azul	Curva característica S5

3.3 Reloj medidor 2

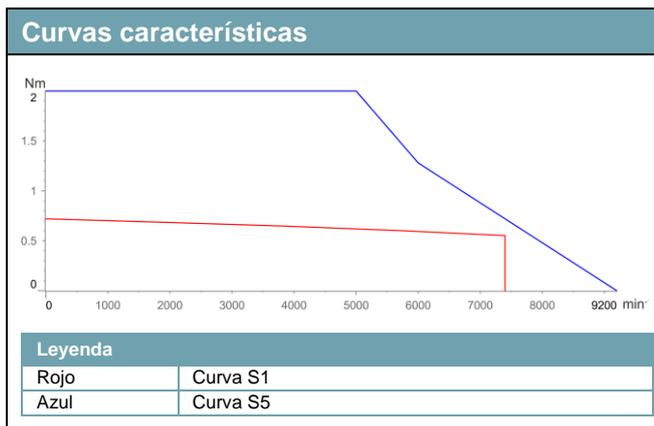
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Par máximo T_{Max}	0,72 Nm	Par nominal T_n	0,45 Nm
Velocidad máxima n_{Max}	96 min ⁻¹	Velocidad nominal n_m	32 min ⁻¹
Influencia general del juego Δs	0 arcmin	Reducción total i_{sys}	16
Inercia J	992,39 kgcm ²		

TPM+ dynamic

Servoactuador



Datos de pedido	
Código de pedido: TPM 004S-016R-5PO1-053B-W4-000	
Tipo de actuador	TPM
Modelo de actuador	dynamic
Tamaño de actuador	004
Relación de reducción del actuador	16
Sistema de retroalimentación	Resolver, 2 polos
Tensión de circuito intermedio	320 V
Sensor de temperatura	Sensor de temperatura PTC
Freno	No
Juego	Estándar
Conexión eléctrica	Conector angular
Asignación de pines	Sensor de temperatura mediante cable de alimentación



Especificaciones técnicas		
Par de aceleración máximo en salida (máx. 1000 ciclos por hora)	T _{2B}	30,1 Nm
Par de salida estático	T ₂₀	8,32 Nm
Par de retención de frenado en salida, 100°C	T _{2BR}	0 Nm ¹⁾
Velocidad máxima	n _{2Max}	375 min ⁻¹
Par de aceleración máximo del motor	T _{1Max}	2 Nm
Corriente de aceleración máxima del motor	I _{Maxdyn}	5,5 A
Corriente nominal a rotor parado (Motor)	I ₀	1,9 A
Momento de inercia (en eje del motor, con Resolver)	J ₁	0,207 kgcm ²
Juego torsional	j _t	≤ 4 arcmin
Rigidez torsional	C _t	12 Nm/arcmin
Rigidez de vuelco	C _K	65 Nm/arcmin
Fuerza axial máxima	F _{2AMax}	1630 N
Par de vuelco máximo (distancia de punto de rotación a brida de salida 57,8 mm)	M _{2KMax}	110 Nm
Peso (con Resolver, sin freno)	m	2,2 kg
Temperatura máxima permitida de la carcasa		90 °C
Temperatura ambiente		0 °C a 40 °C
Clase de protección		IP 65
Pos. montaje		libre
Lubricación		UL estándar
Clase de material aislante		F

Tolerancias T, I y n: Máximo +/- 10%

¹⁾ mayor que T₂₀ del reductor; En caso de una parada de emergencia, puede utilizarse aprox. 1000 veces mientras el motor está girando.

Datos del cliente		Su contacto	
Empresa	HUARO SRL	HUARO SRL	
Persona de contacto	Jhonal Espinoza	Jhonal Jorge Espinoza Zorrilla	
Calle	Cal. los Cipreces Mza. G Lote. 1 Int. 1-e Lot. Chillón (Cruce Av Tulipanes con Cerezos)	Cal. los Cipreces Mza. G Lote. 1 Int. 1-e Lot. Chillón (Cruce Av Tulipanes con Cerezos)	
C.P. Ciudad	15116 Lima	15121 Lima	
Teléfono	918801383	918801383	
E-Mail	jespinoza@huaro.pe	jespinoza@huaro.pe	
Su proyecto:	Sist.Manipulador	Fecha:	20/03/2023
Su variante:	Ling.ZN		
Sus ejes:	Art.Manipulador		

1 Notas generales

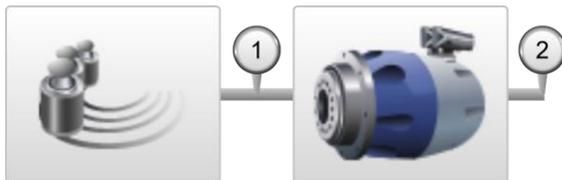
Los datos facilitados por usted constituyen la base del cálculo realizado con cymex®. WITTENSTEIN alpha no asume responsabilidad alguna por la exactitud e integridad de estos datos; mediante su pedido usted confirma la exactitud de los datos facilitados por usted.

La documentación de cálculo está basada en su diseño personalizado. Esta recomendación no vinculante no lo exime de sus deberes o responsabilidades, que incluyen el cumplimiento de las normas legales y de seguridad, así como la realización de una prueba funcional. Le recordamos que los valores de carga permitidos para los productos seleccionados no deberán superarse bajo ninguna condición de funcionamiento.

Esta recomendación, que está basada en el cálculo realizado con cymex®, no es apta para ser aplicada y/o transferida a otros productos, datos, aplicaciones, etc.

Tenga presente que la documentación de cálculo cymex® está protegida por derechos de autor.

2 Su aplicación

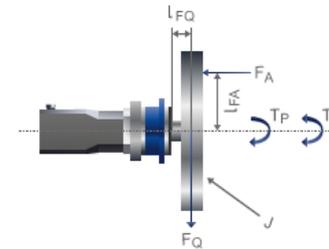


2.1 Descripción del proyecto

PRODAC. Manipulador de lingotes de bezinal.

2.2 Aplicación de carga giratoria

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Fuerza axial F_A	0 N	Inercia J	0,6952 kgm ²
Fuerza radial F_Q	0 N	Par máximo de proceso T_P	0 Nm
Brazo de palanca de la fuerza axial en el eje l_{FA}	0 mm	Velocidad angular máxima n_{Max}	30 min ⁻¹
Brazo de palanca de la fuerza radial en el eje l_{FQ}	0 mm	Aceleración angular máxima α_{Max}	7,68 rad/s ²
Par de rozamiento T_R	0 Nm	Inercia para el cálculo de lambda J_{Lambda}	0,6952 kgm ²



Los datos que faltan han sido reemplazados por datos empíricos, que se tienen que comprobar y corregir en caso necesario.

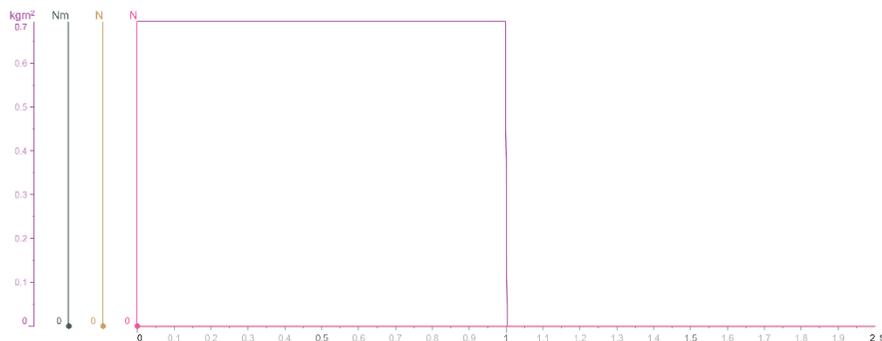
2.3 Datos del ciclo

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Duración del movimiento t_{mov}	2 s	Factor de servicio ED	100 %
Duración de ciclo t_{cyc}	2 s	Número de ciclos por hora n/h	3600

2.4 Perfil de movimiento



2.5 Perfil de carga



3 Diseño del tren de accionamiento

3.1 Reloj medidor 1

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Par máximo T_{Max}	5,34 Nm	Par nominal T_n	3,78 Nm
Velocidad máxima n_{Max}	30 min^{-1}	Velocidad nominal n_m	15 min^{-1}
Fuerza axial máxima F_{AMax}	0 N	Fuerza axial nominal F_{Am}	0 N
Fuerza radial máxima F_{RMax}	0 N	Fuerza radial nominal F_{Rm}	0 N
Aceleración angular máxima α_{Max}	7,68 rad/s^2	Relación de inercia λ	222,11
Influencia general del juego Δs	3,8 arcmin	Reducción total i_{sys}	1
Inercia J	6952 $kgcm^2$		

3.2 Servoactuador

Tipo:

TPM+ power

Código de pedido:

TPMP004S-010R-5PO1-064B-W4-000

Utilización total:

27 %

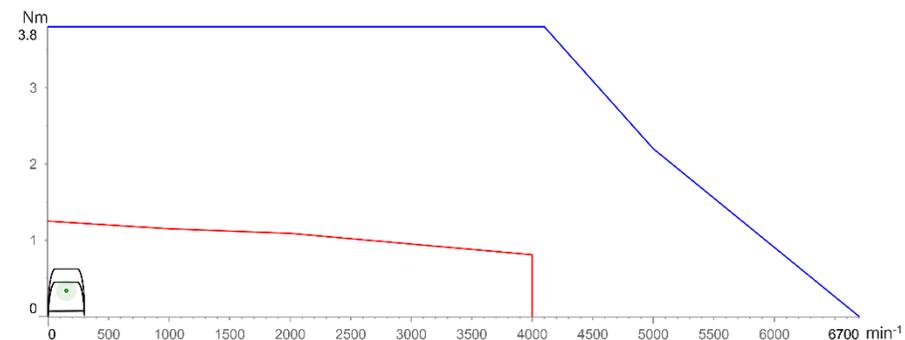


Característica	Valor
Reducción i	10
Valor máximo de juego j_i	≤ 4 arcmin
Diseño de la salida	Brida
Voltaje de circuito intermedio U_b	320 V
Momento de inercia J_1 (en eje del motor)	0,313 $kgcm^2$
Freno de parada	No
Modelo	power

Parámetro	Valor calculado	Valor admisible	Utilización
Par de aceleración máximo en salida (con factor de impactos 1,3) T_{2B} (fs)	6,961 Nm	26 Nm	27 %
Par nominal en la salida T_{2N}	3,783 Nm	18 Nm	21 %
Velocidad máxima en la salida n_{2Max}	30 min ⁻¹	600 min ⁻¹	5 %
Velocidad nominal en la salida n_{2N}	15 min ⁻¹	400 min ⁻¹	4 %
Punto de trabajo T_{1RMS}	0,337 Nm	Véase curva característica S1	-
Utilización de la curva S1	-	-	27 %
Utilización de la curva S5	-	-	16 %
Fuerza axial máxima F_{2AMax}	0 N	1630 N	0 %
Par de vuelco máximo M_{2KMMax}	0 Nm	110 Nm	0 %
Relación de inercia lambda λ con respecto a la salida del reductor ¹⁾	222,109	-	-
Relación de inercia lambda λ con respecto al eje del motor	233,339	-	-
Vida útil L_{h10}	>20000 h	-	-

¹⁾ WITTENSTEIN alpha recomienda usar este valor λ para determinar la precisión del control

Curvas características del motor



Leyenda de gráfico del motor

Negro	Aplicación de curva característica
Verde	Punto de funcionamiento de la aplicación (T_{1RMS} y n_{1N})
Rojo	Curva característica S1
Azul	Curva característica S5

3.3 Reloj medidor 2

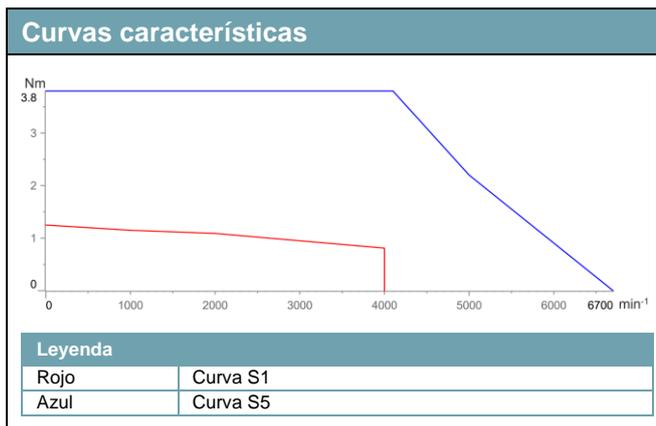
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Par máximo T_{Max}	0,62 Nm	Par nominal T_n	0,39 Nm
Velocidad máxima n_{Max}	300 min ⁻¹	Velocidad nominal n_m	150 min ⁻¹
Influencia general del juego Δs	0 arcmin	Reducción total i_{sys}	10
Inercia J	69,83 kgcm ²		

TPM+ power

Servoactuador



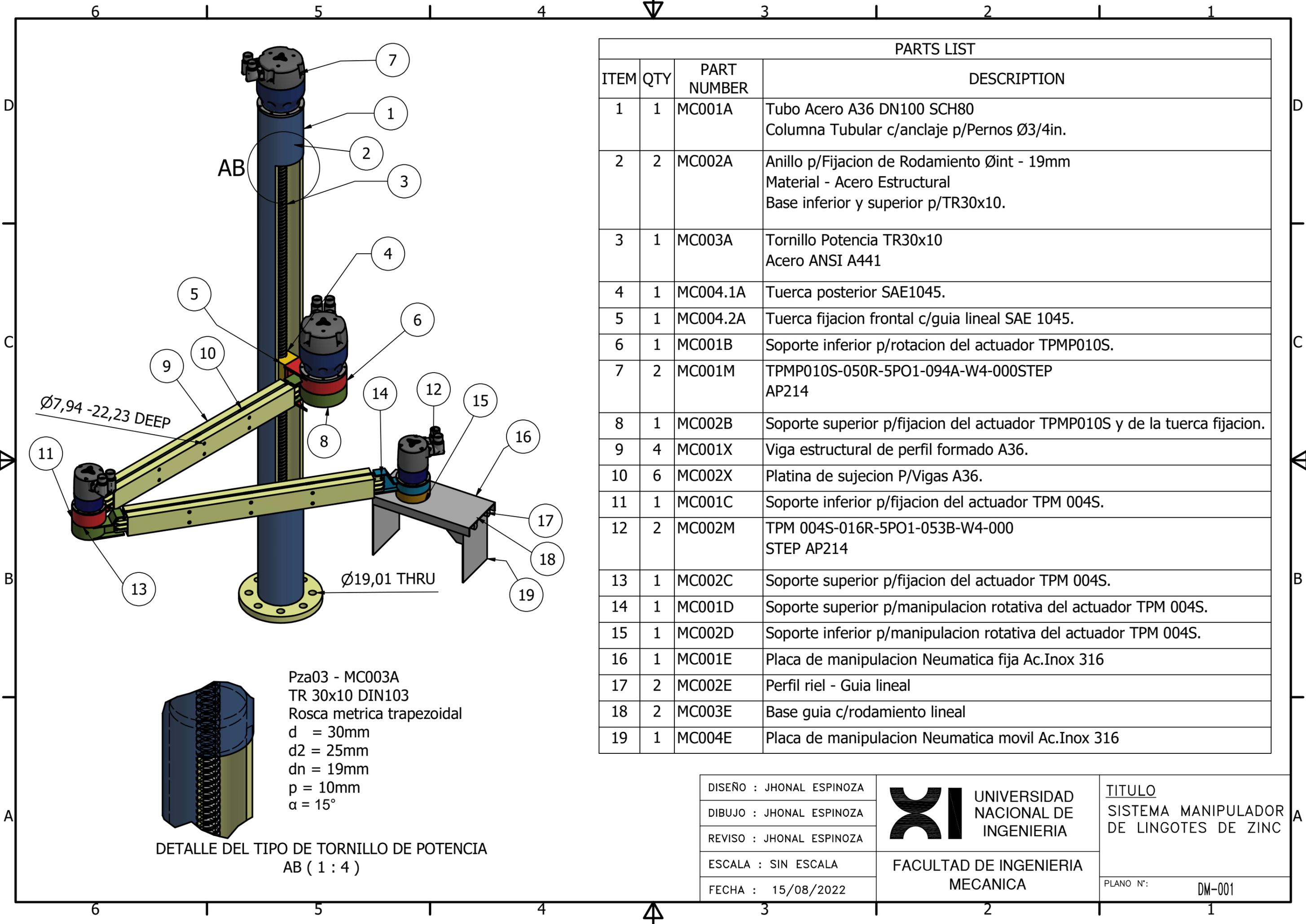
Datos de pedido	
Código de pedido: TPMP004S-010R-5PO1-064B-W4-000	
Tipo de actuador	TPMP
Modelo de actuador	power
Tamaño de actuador	004
Relación de reducción del actuador	10
Sistema de retroalimentación	Resolver, 2 polos
Tensión de circuito intermedio	320 V
Sensor de temperatura	Sensor de temperatura PTC
Freno	No
Juego	Estándar
Conexión eléctrica	Conector angular
Asignación de pines	Sensor de temperatura mediante cable de alimentación



Especificaciones técnicas		
Par de aceleración máximo en salida (máx. 1000 ciclos por hora)	T _{2B}	26 Nm
Par de salida estático	T ₂₀	11,8 Nm
Par de retención de frenado en salida, 100°C	T _{2BR}	0 Nm ¹⁾
Velocidad máxima	n _{2Max}	600 min ⁻¹
Par de aceleración máximo del motor	T _{1Max}	3,8 Nm
Corriente de aceleración máxima del motor	I _{Maxdyn}	9 A
Corriente nominal a rotor parado (Motor)	I ₀	2,7 A
Momento de inercia (en eje del motor, con Resolver)	J ₁	0,313 kgcm ²
Juego torsional	j _t	≤ 4 arcmin
Rigidez torsional	C _t	8 Nm/arcmin
Rigidez de vuelco	C _K	65 Nm/arcmin
Fuerza axial máxima	F _{2AMax}	1630 N
Par de vuelco máximo (distancia de punto de rotación a brida de salida 57,8 mm)	M _{2KMax}	110 Nm
Peso (con Resolver, sin freno)	m	3,6 kg
Temperatura máxima permitida de la carcasa		90 °C
Temperatura ambiente		0 °C a 40 °C
Clase de protección		IP 65
Pos. montaje		libre
Lubricación		UL estándar
Clase de material aislante		F

Tolerancias T, I y n: Máximo +/- 10%

¹⁾ mayor que T₂₀ del reductor; En caso de una parada de emergencia, puede utilizarse aprox. 1000 veces mientras el motor está girando.



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	MC001A	Tubo Acero A36 DN100 SCH80 Columna Tubular c/anclaje p/Pernos Ø3/4in.
2	2	MC002A	Anillo p/Fijacion de Rodamiento Øint - 19mm Material - Acero Estructural Base inferior y superior p/TR30x10.
3	1	MC003A	Tornillo Potencia TR30x10 Acero ANSI A441
4	1	MC004.1A	Tuerca posterior SAE1045.
5	1	MC004.2A	Tuerca fijacion frontal c/guia lineal SAE 1045.
6	1	MC001B	Soporte inferior p/rotacion del actuador TPMP010S.
7	2	MC001M	TPMP010S-050R-5PO1-094A-W4-000STEP AP214
8	1	MC002B	Soporte superior p/fijacion del actuador TPMP010S y de la tuerca fijacion.
9	4	MC001X	Viga estructural de perfil formado A36.
10	6	MC002X	Platina de sujecion P/Vigas A36.
11	1	MC001C	Soporte inferior p/fijacion del actuador TPM 004S.
12	2	MC002M	TPM 004S-016R-5PO1-053B-W4-000 STEP AP214
13	1	MC002C	Soporte superior p/fijacion del actuador TPM 004S.
14	1	MC001D	Soporte superior p/manipulacion rotativa del actuador TPM 004S.
15	1	MC002D	Soporte inferior p/manipulacion rotativa del actuador TPM 004S.
16	1	MC001E	Placa de manipulacion Neumatica fija Ac.Inox 316
17	2	MC002E	Perfil riel - Guia lineal
18	2	MC003E	Base guia c/rodamiento lineal
19	1	MC004E	Placa de manipulacion Neumatica movil Ac.Inox 316

Pza03 - MC003A
 TR 30x10 DIN103
 Rosca metrica trapezoidal
 d = 30mm
 d2 = 25mm
 dn = 19mm
 p = 10mm
 α = 15°

DETALLE DEL TIPO DE TORNILLO DE POTENCIA
 AB (1 : 4)

DISEÑO : JHONAL ESPINOZA
 DIBUJO : JHONAL ESPINOZA
 REVISO : JHONAL ESPINOZA
 ESCALA : SIN ESCALA
 FECHA : 15/08/2022


 UNIVERSIDAD
 NACIONAL DE
 INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 MECANICA

TITULO
 SISTEMA MANIPULADOR
 DE LINGOTES DE ZINC
 PLANO N°: DM-001



REGISTRO ANALISIS MEF DE LA ESTRUCTURA

EMPRESA INSPECCION: TUPEMESA

PROYECTO: MEJORA DE PROCESOS PRODUCTIVOS Y CONDICIONES DE SEGURIDAD LABORAL

CODIGO: RP0011-2022 (03)

PROCESO PRODUCTIVO - LINEA DE GALVANIZADO EN CALIENTE

N° SERVICIO: SSMA 0025 2022

F.REPORTE

15/08/2022



NOMBRE DEL TRABAJO EN EVALUACION:

ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN DE LINGOTES DE ZINC EN LECHO DE ZINC FUNDIDO A 450°C PARA MITIGAR RIESGOS LABORALES EN OPERARIOS.

Personal participante en la evaluación: Nombre y Firma

1.	3.	5.
2.	4.	6.

DATOS Y RESULTADOS DEL COMPONENTE MEDIANTE EL METODO DE ANALISIS FINITOS - FEM (AUTODESK INVENTOR NASTRAN)

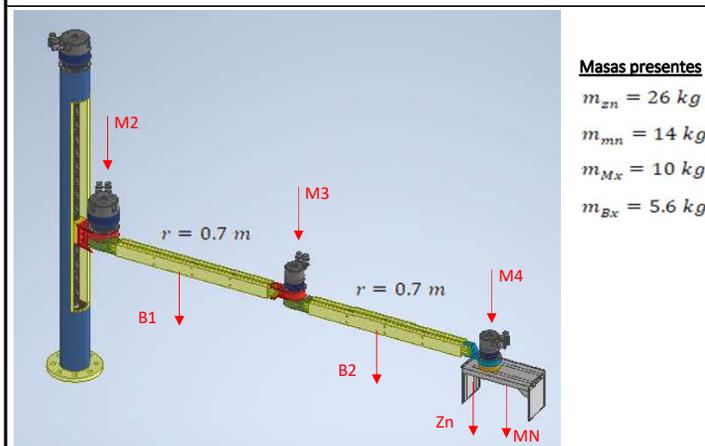
I. CONSIDERACIONES TECNICAS DEL MODELO A TRABAJAR

DESCRIPCION DEL COMPONENTE: Análisis Modal para la Columna Tubular con Tornillo de Potencia TR 30 x10 DIN103. Considerando condicion critica de operación.

MATERIAL 01:	Acero ASTM 441, para el tornillo de potencia TR 30 x 10	ESFUERZO FLUENCIA:	379.21 Mpa	MODULO DE YOUNG:	2.0477 e+5 Mpa
MATERIAL 02:	Acero estructural ASTM A36	ESFUERZO FLUENCIA:	248.22 Mpa	MODULO DE YOUNG:	1.9999 e+5 Mpa

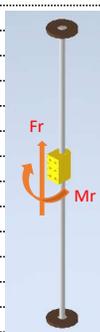
II. RESULTADO GRAFICO DEL ANALISIS POR ELEMENTOS FINITOS

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE



CALCULOS JUSTIFICATIVOS Y METODO DE ANALISIS

Fuerza y Momento de Reaccion Resultante



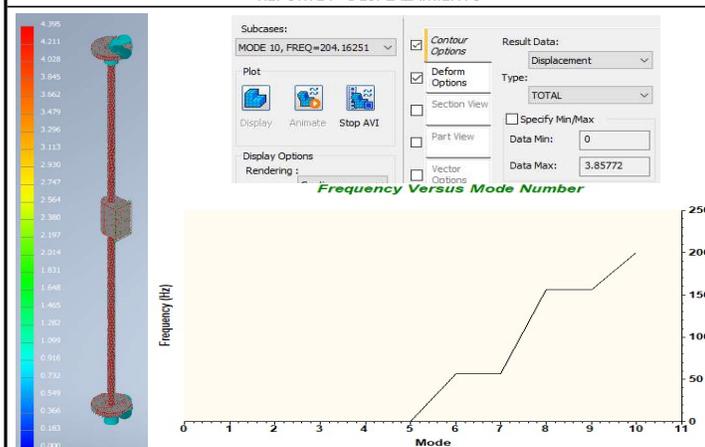
$$F_r = \sum m_{MX} \times 9.81 \text{ [N]}$$

$$F_r = 3 \times 10 \times 9.81 + 2 \times 5.6 \times 9.81 + (14 + 26) \times 9.81 \text{ [N]}$$
$$F_r = 796.6 \text{ [N]}$$

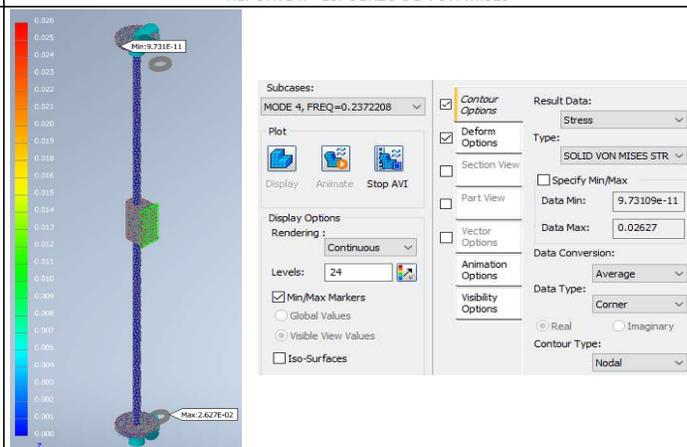
$$M_r = \sum F_r \times d_r \text{ [N.m]}$$

$$M_r = 10 \times 9.81 (0.1 + 0.8 + 1.5) + 5.6 \times 9.81 \left(\frac{0.7}{2} + 0.1 + \frac{0.7}{2} + 0.8 \right) + (14 + 26) \times 9.81 \times 1.5 \text{ [N.m]}$$
$$M_r = 912 \text{ [N.m]}$$

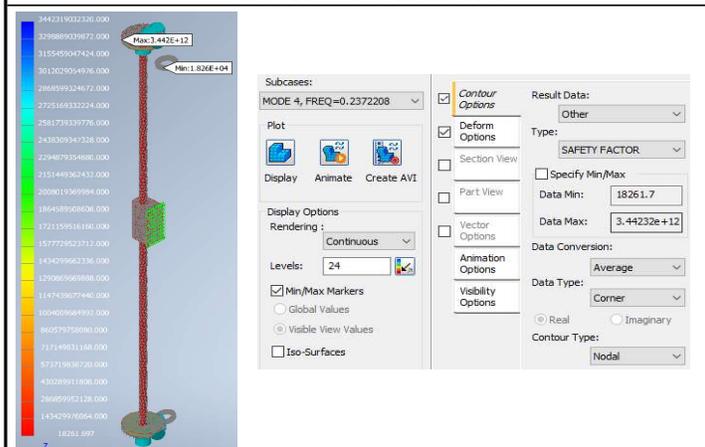
REPORTE I - DESPLAZAMIENTO



REPORTE II - ESFUERZO DE VON MISES



REPORTE III - FACTOR DE SEGURIDAD



REPORTE FINAL

Desplazamiento:	El tornillo de potencia tiene un Diam.Raiz de 19 mm. Enfrenta una deformacion maxima de 3.85 mm.
Esfuerzo de Von Mises:	El esfuerzo maximo generado es de 0.02627 Mpa. Considerando que no se supera la frecuencia de 14 ciclos/min.
Factor de Seguridad:	Se presenta un valor superior al minimo permitido. Debido a la baja frecuencia de operación.

COMENTARIOS

- Del analisis modal, podemos identificar que el sistema puede trabajar en un ritmo **maximo de 14 ciclos / minuto.**
- Se identifica un nivel de resonancia a partir del cuarto modo de operación del sistema, verificando que no se superan los limites para deformacion, esfuerzo y factor de seguridad para todo el sistema manipulador.
- El sistema de traslacion vertical con tornillo de potencia, a sido analizado por el metodo modal para identificar su nivel de resistencia frente a condiciones de maxima exigencia, dentro de su normal operación, con el brazo totalmente extendido.
- Se recomienda que la estructura soporte del tornillo de potencia TR30 x 10, tiene que tener anclados los puntos inferiores y superiores a la zona de operación.
- Todos los analisis realizados, consideran la carga del lingote de zinc de 26kg.

ELABORADO Nombre y Firma:	REVISADO Nombre y Firma:	REVISADO Nombre y Firma:	APROBADO Nombre y Firma:
Supervisor Responsable Fecha de Elaboración: 15 / 08 / 2022	Ingeniero Supervisor Fecha de Revisión: 15 / 08 / 2022	Jefe/ Ingeniero de Seguridad y Salud Ocupacional Fecha de Revisión: 15 / 08 / 2022	Gerente de Proyecto Fecha de Aprobación: 15 / 08 / 2022