



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Diseño de una máquina para mejorar la manipulación manual de
cargas en los trabajadores del sector de metalmecánica**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Industrial

AUTORA:

Reyes Guerrero, Melissa (ORCID: 0000-0002-2161-0671)

ASESOR:

Ing. Seminario Atarama, Mario Roberto (ORCID: 0000-0002-9210-3650)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas de Gestión de la Seguridad y Calidad

PIURA - PERÚ

2020

Dedicatoria

A mis padres y familia Reyes Guerrero, por su amor y apoyo incondicional.

Agradecimiento

A Dios, por la vida y la sabiduría para alcanzar cada meta.

A María y Roberto.

A mi asesor, a la Universidad Cesar Vallejo, y a todos los docentes que fueron parte de mi formación académica y me brindaron apoyo moral.

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de tablas	vi
Índice de figuras.....	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	9
II. MARCO TEÓRICO	13
III. METODOLOGÍA.....	21
3.1. Tipo y diseño de investigación	21
3.2. Variables y operacionalización	22
3.3. Población, muestra y muestreo	22
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	22
3.5. Procedimiento	23
3.6. Método de análisis de datos.....	25
3.7. Aspectos éticos.....	25
IV. RESULTADOS	26
V. DISCUSIÓN	49
VI. CONCLUSIONES.....	52
VII. RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS	54
ANEXOS.....	61

Índice de tablas

Tabla N° 1: Población	22
Tabla N° 2: Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.	23
Tabla N° 3: Ecuación de límite de peso máximo recomendado.....	26
Tabla N° 4: Límite de peso recomendado, establecido por la ecuación de NIOSH	26
Tabla N° 5: Peso máximo de carga estandarizado en la norma básica de ergonomía y de procedimiento de evaluación de riesgo disergonómico RM375-2008.	27
Tabla N° 6: Registro de peso (kg/m) de material manipulado.....	28
Tabla N° 7: Código de alternativas.....	32
Tabla N° 8: Valores de calificación.....	32
Tabla N° 9: Valoración de criterios.....	33
Tabla N° 10: Peso específico de facilidad de manejo operativo	34
Tabla N° 11: Peso específico de levantamiento de carga	34
Tabla N° 12: Peso específico de longitud de carga	35
Tabla N° 13: Peso específico de ancho de carga.....	35
Tabla N° 14: Peso específico de capacidad de carga	36
Tabla N° 15: Peso específico de facilidad de manejo en superficies.....	36
Tabla N° 16: Peso específico de versatilidad	37
Tabla N° 17: Peso específico de costo.....	37
Tabla N° 18: Resultado del análisis de criterios ponderados.....	38
Tabla N° 19: Asignación de material para pieza principal.....	39
Tabla N° 20: Fuerzas que actúan en el sistema de la maquina.....	40
Tabla N° 21: Registro de ecuación de Momento	42
Tabla N° 22: Descripción de partes y componentes del diseño de la máquina.....	43
Tabla N° 23: Características técnicas del diseño	45
Tabla N° 24: Fuerzas aplicadas en el diseño de la máquina	46

Índice de figuras

Figura N° 1: Máquina 1 - Carreta para tubos de 2 llantas.....	30
Figura N° 2: Máquina 2 – Transportador de tubos con 6 llantas.....	31
Figura N° 3: Máquina 3 – Carrier de 2 llantas para manipular tubería	31
Figura N° 4: Sistema del diseño de la máquina seleccionada	40
Figura N° 5: Posición de la carga.....	42
Figura N° 6: Partes del diseño de la máquina	43
Figura N° 7: Coeficiente de seguridad.....	47
Figura N° 8: Esquema de Momento de la estructura	48

Resumen

Este trabajo de investigación tuvo por objeto diseñar una máquina para mejorar la manipulación manual de cargas en los trabajadores del sector de metalmecánica, de tipo básica descriptiva y con un diseño no experimental, transeccional descriptiva, presentándose una propuesta. Siguiendo el proceso del método de diseño para la máquina, se evidenció la existencia de la problemática entre el peso límite recomendado y la carga que manipulan los operarios, lo que permitió determinar un concepto para el diseño con la elección de una alternativa ideal, el equilibrio del momento de su mecanismo y sus características técnicas. Conociendo la forma de la estructura, se realizó un análisis de esfuerzos para definir el diseño exacto una vez evaluado mediante un software 3D, se verificó que las secciones asignadas satisfacen con las condiciones de carga, es decir, el diseño es viable y la estructura resistente, con esto, finalmente se comunicó el diseño final mediante su costo de fabricación estimado con sus planos finales y una ficha de la máquina.

Palabras claves: diseño, maquina, manipulación manual de cargas, NIOSH, ASME.

Abstract

The objective of this research work was to design a machine to improve the manual handling of loads in workers in the metal-mechanical sector, of a descriptive basic type and with a non-experimental, descriptive transectional design, presenting a proposal. Following the process of the design method for the machine, the existence of the problem between the recommended weight limit and the load handled by the operators was evident, which allowed determining a concept for the design with the choice of an ideal alternative, the balance of the moment of its mechanism and its technical characteristics. Knowing the shape of the structure, a stress analysis was carried out to define the exact design once evaluated using 3D software, it was verified that the assigned sections satisfy the load conditions, that is, the design is viable and the structure resistant. With this, the final design was finally communicated through its estimated manufacturing cost with its final plans and a machine sheet.

Keywords: design, machine, manual handling of loads, NIOSH, ASME.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, con el paso del tiempo, la industrialización avanza por la creciente demanda de productos. La actividad industrial en el Perú ha crecido abriendo sectores de diferentes rubros y la tercerización con servicios prestados a empresas en metalmecánica, actividades profesionales o técnicas, actividades de ingeniería, mantenimiento, supervisión y construcciones, los cuales han representado un gran crecimiento en los últimos años según el Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI (2019). Existen operaciones que se realizan en empresas de metalmecánica que son de mayor envergadura, por tratarse de servicios relacionados a las redes de distribución de gas y petróleo, manipulando materiales de gran peso. Si nos enfocamos en el norte, en la región de Piura, según la revista Gente con Energía, publicación especial de Petróleos del Perú (2014), en Talara existe uno de los proyectos más grandes de la historia del Petróleo en nuestro país, el Proyecto de Modernización de la Refinería Talara (PMRT), este megaproyecto ha generado múltiples puestos de trabajo y ha beneficiado a las empresas de metalmecánica que ofrecen servicios como contratistas y subcontratistas, sean de mantenimiento para tanques, montaje metalmecánico de instrumentos, tuberías, válvulas y accesorios, electricidad y obras civiles.

Según lo observado, en el desarrollo de las actividades diarias en los talleres de metalmecánica, como construcción de estructuras metálicas y montaje, aquellas que llevan a la manipulación de materiales y equipos pesados que no son factibles de transportar por un operario, razón por la que las empresas se ven obligadas a utilizar maquinaria como las grúas hidráulicas, sin embargo, solo disponen de una, o en otras circunstancias, ante la falta de estas, intentan adaptarse encontrando alguna forma para manipular el peso. Existen ayudas mecánicas que permiten manejar el material pesado, no obstante, suelen ser estáticas y las transportables solo se les pueden dar uso en terreno liso, además de ser costosas. Entre algunos ejemplos de elementos y ayudas mecánicas para cargas tenemos a los ganchos, polipastos, carros rodantes, carretillas, apiladores, grúas manuales, entre otras, descritas en la Guía para la selección de ayudas a la manipulación de cargas (2012). Ante las dificultades expuestas para manipular las cargas con maquinaria y equipos, en diversas ocasiones los trabajadores del sector de metalmecánica

intentan adaptar alguna estructura que a su criterio mejor les sirva; en otras condiciones, estos manipulan las cargas en grupo (2 o más personas) con la premisa de dividir por igual el peso entre ellos, desempeñando una actividad nada segura, levantan materiales como tubos, bridas, reducciones, entre otros accesorios industriales, que, al ser materiales basados en estándares internacionales, hacen posible la determinación de su peso con solo conocer su diámetro de espesor ya que son datos normalizados. Estos materiales y accesorios manipulados fácilmente sobrepasan el peso máximo de 25kg, recomendado y establecido en el Perú por la Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico RM375 (2008) basada en la ecuación de NIOSH (1994), National Institute for Occupational Safety and Health, incluso pueden sobrepasar los 100kg de peso, lo que es perjudicial para los operarios y compromete a su salud y seguridad. Ante esto, la Organización Internacional del Trabajo – OIT, (2015) afirmó que la manipulación manual de cargas es causa muy frecuente de accidentes laborales con un 25%, aproximadamente, del total de los producidos, sin contar con las enfermedades musculoesqueléticas que son provocadas.

Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España (2003) y la norma de nuestro país RM375 (2008), hace referencia al uso de ayudas mecánicas como medida técnica para evitar la manipulación manual de la carga, situación en la que los talleres constantemente trabajan, sin embargo, no todos en el sector de metalmecánica que se encuentran en desarrollo están en condiciones de adquirir diversa maquinaria para las diferentes operaciones que realizan, por otro lado, las condiciones adversas inducen al personal a adaptar cualquier estructura metálica para manipular la cargas o a hacerlo de forma manual, individualmente o en grupo, a la medida de su posibilidad, lo que claramente pone en riesgo su integridad física.

La situación explícita se da por no contar con la disponibilidad de una máquina que permita una manipulación adecuada de los materiales y su transporte, por lo general, existen equipos que permiten solo una de estas funciones y suelen tener un costo alto, por ello, hace falta una opción económica que cumpla con las funciones básicas necesarias, de carga y transporte (no solo en terreno liso).

Por tales consecuencias, se consideró el diseño de una máquina que permite el transporte de tubería a través del software de diseño 3D Autodesk Inventor, con el que se podrá realizar el análisis necesario para evaluar su estructura, haciendo el diseño factible y con un precio accesible. Se tuvo en cuenta el proceso de diseño a seguir durante toda la investigación, iniciando por planteamiento del problema, se generó un concepto para determinar las características propias del diseño y, así mismo, se evaluaron los indicadores correspondientes a la máquina con el apoyo del software mencionado, logrando darle un valor estimado a la propuesta presentada.

Se planteó la siguiente pregunta que orienta a esta investigación: ¿Cómo sería el diseño de una máquina para mejorar la manipulación manual de cargas en los trabajadores del sector de metalmecánica?, así mismo se plantearon las siguientes preguntas específicas: ¿Cómo se determinará la problemática entre el peso máximo y la carga manipulada por los trabajadores del sector de metalmecánica?, ¿Cómo se conceptualizará el diseño de la máquina para mejorar la manipulación manual de cargas?, ¿Cómo se evaluará el diseño de la máquina para mejorar la manipulación manual de cargas? Y ¿Cuál será el costo estimado por fabricar el diseño de máquina para mejorar la manipulación manual de cargas?

Además, el estudio se justifica de la siguiente forma: Entre las necesidades más importantes en las empresas dedicadas a la construcción de estructuras metálicas está la manipulación de material pesado, ya sea en el taller o donde se realizan las operaciones. Según McDermott et al. (2012), a pesar de que la industrialización ha crecido y que se han automatizado muchas actividades, el trabajo manual con cargas pesadas todavía se realiza, es un problema significativo y tema discutido por diferentes especialistas, pero que hasta la actualidad los operarios de diferentes empresas no se rigen a las normas establecidas, como el peso máximo recomendado cometiendo actos inseguros. Por ende, esta investigación permite encontrar una nueva solución para mejorar las condiciones de manipulación a un bajo costo, diseñando una máquina que podrá ser adaptada por cualquier empresa que se desempeñe en el rubro de metalmecánica, o de quien sea que simplemente necesite maniobrar con material de peso mayor.

La siguiente investigación aportará conocimientos acerca del diseño de una máquina sencilla, eficiente y a un costo accesible, una extensión del Ingeniero industrial en la seguridad y calidad del trabajo, en beneficio a la integridad del trabajador y de la empresa. Además, el estudio propuso la siguiente hipótesis general: El diseño de la máquina evitaría que los trabajadores excedan los 245N al manipular tubería; y un objetivo general: Diseñar una máquina para mejorar la manipulación manual de cargas en los trabajadores del sector de metalmecánica, considerando del mismo modo los objetivos específicos: Determinar la problemática entre el peso máximo y la carga manipulada por los trabajadores del sector de metalmecánica, conceptualizar el diseño de la máquina para mejorar la manipulación manual de cargas, evaluar el diseño de la máquina para mejorar la manipulación manual de cargas y estimar el costo por fabricar el diseño de máquina para mejorar la manipulación manual de cargas.

II. MARCO TEÓRICO

En los trabajos previos tras la indagación correspondiente, se encontraron artículos de índole internacional, nacional y local que se detallan a continuación:

Concepción (2016) llevo a cabo una investigación denominada “Assessment of postures and manual handling of loads at southern brazilian foundries”, que tuvo por objeto evaluar las posturas y la manipulación de cargas en empresas de Brasil. Se estudió una población de 35 operarios, a quienes les aplicaron entrevistas y cuestionarios basados en el método REBA y la ecuación de NIOSH para la recolección de datos. Resultó que el 74,3% de la muestra estudiada presentó molestias y dolores en diferentes partes del cuerpo. El 78,9% de las posturas analizadas poseen niveles de riesgo entre medio y muy alto, de la misma forma, el 100% de los levantamientos de pesos investigados presentaron riesgos de lesiones por lo que requerían correcciones inmediatas.

Ccapa (2019) desarrolló el “Diseño de una herramienta mecánica para reducir el tiempo de cambio de neumático averiado en camiones volquete en proyectos de movimiento de tierra”. La investigación fue descriptiva de tipo experimental y transversal por su relevancia. El autor utilizó diversos instrumentos con el análisis de documentos de la empresa en estudio. La población de la investigación fueron los operadores de los camiones, quienes transportaban material de acarreo en proyectos de movimiento de tierra. La muestra consistió en 5 unidades de camiones volquete y se logró realizar el diseño de una herramienta mecánica con apoyo de herramientas informáticas, consiguiendo minimizar el tiempo en un 56 %, correspondiendo a un cambio de neumático en 36 min dentro del proyecto de movimiento de tierra.

Martínez (2016) en el “Diseño y cálculo de la estructura de una grúa pórtico de 50 t de capacidad y 50 m de luz” logró diseñar estructuralmente una grúa pórtico de gran luz y carga media, siendo una investigación de tipo experimental. Realizó adquisición de información y modelización simplificada de las alternativas estructurales existentes para la construcción de la grúa con la ayuda de un programa informático, donde estableció un diseño final según la alternativa ideal seleccionada. Se estudiaron las actividades realizadas dentro de la empresa

PREFAHOR y tras el análisis ejecutado, resultó que la grúa requerida para tales actividades en estudio fuese una grúa con 50T de capacidad y 50 m de luz.

Montserrat (2017) presentó su tesis “Diseño de una grúa torre” donde describió los elementos principales, selección y el proceso de su diseño. Además, realizó un estudio de esfuerzos y un dimensionamiento en un software donde eligió los componentes para la grúa. La investigación fue de tipo descriptiva, teniendo como unidad de análisis el mismo diseño de la grúa torre, donde empleo el análisis documental según lo registrado en el software empleado para determinar sus componentes. Finalmente, obtuvo como resultado el dimensionamiento principal de 50 metros para su pluma con una capacidad de 1.6T.

Kurniawati (2018) en la revista de Ciencia y Tecnología Aplicativa en Indonesia, desarrolló el “Perancangan alat bantu perakitan four way entry pallet”, fabricando una paleta de cuatro vías de entrada, un tipo de paleta local. En la empresa de estudio los pedidos de palets eran completados por sí misma y por contratistas, el proceso de ensamblaje se realizaba manualmente sin herramientas, y los operadores las necesitaban ya que eso reduciría el tiempo de proceso y evitaría que la empresa realice subcontratos. Por lo tanto, se diseñó una herramienta que permitió obtener un palet ensamblado con aleación de aluminio como material base. El costo del diseño fue Rp. 6.013.055,26, y que llevándose a cabo su implementación ahorraría en un 61.66% el tiempo en montaje y la subcontratación.

Flores (1999) en su tesis presentada “Diseño de una herramienta: cuchilla para trabajo en frío”, estableció alternativas para fabricar cuchillas; definió las características que debe cumplir una cuchilla para procesar un material en específico y pueda ser fabricada. Posterior a ello, determinó la secuencia de tratamiento térmico para la cuchilla, calculó su resistencia al desgaste, tenacidad y vida útil en operaciones de corte en frío. La investigación fue de tipo experimental y como instrumento para recolectar los datos se utilizó la observación y pruebas de tratamientos térmicos. Finalmente, en el diseño de la cuchilla se tomaron en cuenta parámetros para tratamiento térmico, resistencia al desgaste y el diseño para tenacidad obteniendo resultados óptimos representados en tablas.

Vegas (2018) realizó el trabajo “Fabricación de un prototipo de máquina rebanadora de plátano verde para mejorar la productividad del proceso de rebanado” para empresas chifleras de la ciudad de Piura. El autor descubrió diferentes alternativas para los componentes de la máquina, definió objetivos de acuerdo a una metodología de diseño, bajo una investigación descriptiva y experimental, realizó fichas de observación y fichas de registros, donde obtuvo datos para su simulación en un software de diseño. Resultó ser el acero inoxidable el material principal para la fabricación del prototipo, una fuerza de corte de plátano de 4.2 Kg/f y 650 RPM de potencia para todo el sistema. El costo total de fabricación fue de S/3661, mejorando la productividad del rebanado manual.

Por otro lado, la presente investigación consideró los siguientes fundamentos teóricos:

El diseño ha sido parte del desarrollo humano desde el origen, es por esto que ha podido evolucionar y satisfacer necesidades, según García et al. (2017). El diseño se asocia a mejorar la semántica del producto, dibujo para representar o comunicar algo, estas connotaciones nos conducen a deducir que el diseñador contribuye al desarrollo de productos, tomando decisiones sobre materiales, geometría, dimensiones, es decir, características específicas, esto lo reafirma Zapata (2013) donde define diseño de ingeniería básicamente como la creación de planos o como un proceso donde se aplican técnicas y principios científicos para determinar un producto con los detalles para desarrollarlo. Así mismo, Báez et al. (2018) expresan que el diseño es una fase muy importante en el desarrollo de nuevos productos, además considera el diseño como un proceso y un resultado.

En relación con lo que se pretende en la presente investigación, se define diseño mecánico, según Jaramillo Suarez (2001) como un proceso que empieza desde que se concibe una idea, que probablemente dará solución a un problema, pasando por pasos o fases que permitan llevar a la realidad aquella idea, lo que Ortiz Bernardin (2011) reafirma diciendo, que el diseño es un proceso guiado por un método de diseño. Por ende, la metodología seguida para este diseño es la que propone Nigel Cross (2002) que consta de los siguientes pasos: “Exploración del problema, Generación de un concepto, Evaluación y Comunicación del diseño”.

La manipulación manual de cargas, Carrivick, Lee y Yau (2001) la definieron como cualquier actividad que requiera el uso de fuerza ejercida por una persona para el levantamiento, colocación, empuje, transporte, desplazamiento o sujeción de algo. Según el Real Decreto 487/1997 de España (2003), estas mismas acciones representan riesgos al ser condiciones ergonómicas inadecuadas para los trabajadores. En este caso, se involucran las operaciones realizadas en las empresas o talleres de metalmecánica donde se manipula material y accesorios pesados, obligándolos a tener en cuenta el peso que es manipulado por sus operarios y a las normas para trabajar bajo seguridad.

El peso máximo recomendado (RWL: Recommended Weight Limit), según el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional-NIOSH (1994), es el peso de la carga que casi todos los trabajadores sanos podrían manipular durante un período de tiempo considerable sin riesgo a desarrollar enfermedades o lesiones. Haciendo referencia por trabajadores sanos a aquellos libres de condiciones de salud adversas que incrementarían el riesgo de lesiones musculoesqueléticas. Dicho peso es de 23kg en condiciones ideales para que no represente daños graves, aunque este valor también ha variado a 25kg como se estableció en nuestro país dentro de la Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico RM375 (2008). En estudios realizados anteriormente por Gonçalves (1998) se demostró que el daño empieza a partir del levantamiento constante de cargas de 17.5kg, dichos estudios han obligado a las empresas a tomar las medidas respectivas en relación a la manipulación de cargas en sus trabajadores.

Cabe resaltar que, aunque el peso mayor sea repartido entre 2 o 3 operarios, no significa que el peso o la capacidad en las personas involucradas será la misma, de hecho, según la guía técnica de Manipulación Manual de Cargas (2003), cuando se maneja una carga entre dos o más personas, la capacidad individual disminuye, lo que se debe a la dificultad de sincronizar los movimientos o por dificultarse la visión unos a otros. En un grupo de dos personas, la capacidad de levantamiento es dos tercios de la suma de las capacidades individuales. Cuando el grupo es de tres personas, la capacidad de levantamiento del equipo se reduciría a la mitad de la suma de las capacidades individuales teóricas, por lo general. Entonces, si existe

trabajo relacionado con peso, es importante que sea dentro de los parámetros recomendados para reducir el riesgo y no afectar la integridad de los involucrados. Según la norma ISO 11228-1 (2003), la manipulación manual de cargas implicaría riesgo de trastornos musculoesqueléticos.

En los talleres o empresas de metalmecánica se manipula constantemente materiales de gran peso, específicamente tubería, cuyos pesos ya se encuentran estandarizados por normas internaciones como la ASME B36.10 para acero al carbono (Anexo N°4) y ASME B36.19 para acero inoxidable (Anexo N°5) (Engineering ToolBox, 2003), éstas normas contienen las dimensiones de los tubos empleados en la construcción de sistemas para el transporte de líquidos como petróleo, gas, agua, entre otros, donde se puede apreciar el peso en kg/m de cada tubo según su diámetro y espesor. El peso va desde los mínimos que fácilmente se pueden manipular, hasta los que sobrepasan los 25kg, evidenciándose la carga excesiva.

Ante el problema significativo existente con la carga, la norma ISO 11228 (2009) recomienda, que de no ser posible la eliminación del riesgo, se debe adaptar la operación diseñando una nueva forma de llevar a cabo el trabajo, ya sea con un sistema mecanizado o automatizado, por ello, el cambio de método empleado o la utilidad de una maquina se hace indispensable para reducir al mínimo el riesgo por trabajar con cargas que exceden el límite recomendado. Consecuentemente, las empresas buscan el bienestar de sus colaboradores, beneficiándose en productividad y evitando perdidas por accidentes ocurridos al trabajar con material pesado.

Una máquina es un conjunto de elementos fijos o móviles, utilizada por el hombre, para reducir el esfuerzo al realizar un trabajo, hacerlo más cómodo o reducir el tiempo necesario, según lo mencionado por Landín (2011), así mismo, indica que cada máquina tiene mecanismos con el fin de transmitir y transformar las fuerzas y movimientos desde un elemento motriz a un elemento receptor. Entre ellos, tenemos al mecanismo de la palanca, que básicamente es una barra rígida sobre un punto de apoyo denominado fulcro, este mecanismo se mantiene en equilibrio cuando el producto de la fuerza motriz (F) por el brazo de la fuerza motriz (b_m) es igual al producto de la resistencia (R) por el brazo de la resistencia (b_r).

Barragán (2012) señala que las fuerzas aplicadas son perpendiculares a la barra, el brazo de fuerza motriz representa la distancia desde el punto de apoyo hasta donde se aplica la fuerza motriz, y el brazo de resistencia es la distancia desde el punto de apoyo a la resistencia. Por lo que se puede deducir que cuanto mayor sea la distancia de la fuerza aplicada hacia el punto de apoyo, mayor será la ventaja mecánica sobre la fuerza resistente.

Existen diferentes máquinas para transporte y carga de tuberías, desde simples y sencillas a máquinas complejas. Entre las máquinas ideales para ser utilizadas en los talleres según el Distribuidor Tecni Yale (Felinix LTDA) se encuentran los pórticos fijos y móviles, aunque pueden llegar a cargar hasta 5 toneladas con polipastos manuales o eléctricos que se le adicionan, los fijos impiden el traslado y los móviles solo permiten el transporte en superficies lisas que suelen tener un precio altísimo. Otro distribuidor como Pipe Tools (Direct Industry) presenta máquinas de transporte como carretillas de diversos modelos pero que al igual que en muchos casos solo permiten el movimiento en terreno liso y de costo alto. Entre las opciones más complejas y costosas se utiliza el brazo hidráulico para desplazar una carga de un lugar a otro. (Carvajal y Soña, 2008).

Respecto a la selección del diseño ideal, para definir y elegir la mejor opción posible, se analizaron las alternativas generadas para la solución del problema mediante un análisis de criterios ponderados, el cual Perpiñan (2013) fundamenta como la búsqueda de una alternativa con mayor puntuación luego de darle un valor a cada criterio, estos están ligados a las características importantes del modelo, Kendall K. y Kendall J. (1997) también señalan que los valores de los atributos se multiplican con porcentajes de importancia, se examina a cada atributo en cada alternativa y con el resultado global se elige la opción con mayor calificación. Según Ouye (2013), la matriz de criterios ponderados representa una ventaja valiosa para tomar decisiones, se evalúa en base a criterios con ponderados según su importancia, dándole finalmente un valor a la alternativa que se analiza. La herramienta es trascendental porque trata a los criterios de forma independiente, evita una influencia excesiva o un énfasis en criterios individuales específicos.

Dentro del proceso que se sigue para desarrollar el diseño, se utiliza una herramienta técnica especializada que puede ser el CAD y el CAE para realizar un

esquema denominado “prototipado rápido”, la herramienta CAD es la parte encargada del diseño del producto, básicamente la apariencia o el dibujo. En el CAE se verifica lo que se ha diseñado, pasando todos los requerimientos a los que se someterá, se mide cómo va a comportarse la pieza o la estructura en la realidad ante los esfuerzos, como lo reafirma Lui (2006) el software integrado permite calcular, fabricar e inspeccionar de forma similar a la realidad solo utilizando el ordenador.

Bonilla (2003) sostiene que la herramienta informática otorga la posibilidad de corregir los errores de diseño, calcular el comportamiento del producto ante los esfuerzos, ahorrar tiempo en cuanto a modificaciones, mayor precisión y mejor comunicación del diseño. Entre los softwares más utilizados para tales fines se encuentra Autodesk Inventor, un programa para realizar un prototipo virtual ligero, resistente y económico según las especificaciones necesarias y permitiendo realizar un análisis mecánico de los componente. Según Autodesk Inc. (2009), define al software como un conjunto completo y flexible para 3D, diseño mecánico, simulación, creación de herramientas y diseño. Permite comunicar el modelo y realizar un prototipo digital de tal forma que se puede construir en menos tiempo. Este software es un programa de diseño asistido por computador en 3D y 2D, Dong (2008) sostiene que estos programas permiten extraer los planos técnicos necesarios e información para el diseño y tiene como base las técnicas de modelado con sistemas CAD y CAE.

El diseño implica, de acuerdo con Mott (2006), la selección de componentes según los criterios de evaluación que posteriormente serán agrupados para cumplir con la función deseada. Estos componentes son parte de las características del proyecto y deben ser elegidos de tal forma que se acoplen entre sí para funcionar de forma segura y eficiente, Ccapa (2019) indica que esto se relaciona con las características del diseño como las dimensiones y el tipo de material.

Zapata (2013) menciona que es importante el dimensionamiento apropiado de los componentes para que soporten con seguridad los esfuerzos y las cargas a las que estará sometida la pieza diseñada. Dependiendo de la geometría del modelo, los esfuerzos necesariamente deben ser calculados, ya que en los componentes o en todo el modelo como tal actúan cargas de diferente clase.

La estructura que la investigación presenta se sometió a pesos y fuerzas, donde podemos encontrar al momento y los esfuerzos. Torres (2014) define momento como una fuerza que intenta provocar un desplazamiento en un cuerpo, este trata de impedir el movimiento contraponiéndole una fuerza del mismo valor.

En otras circunstancias, el punto donde se aplica la fuerza no coincide con el punto de aplicación en el cuerpo, y esto sucede porque la fuerza actúa sobre cierta distancia mediante un elemento que traslada esa acción de esta fuerza hasta el objeto. Matemáticamente resulta del producto de la fuerza por la distancia entre el eje y la fuerza aplicada, en ese contexto, para que una estructura esté en equilibrio, la acción de un momento debe ser respondido con otro del mismo valor, lo que se relaciona con el mecanismo de la palanca.

Por otro lado, Torres (2014) define a los esfuerzos como el conjunto de fuerzas internas a las que se somete un elemento por una acción sobre él. Cuando una fuerza (o un momento) actúa sobre una estructura, se afectan las partículas del mismo, alterando su estado, lo que produce que las partículas intenten mantener el equilibrio y cohesión reaccionando con un conjunto de fuerzas internas que pretenden mantener unido el cuerpo. Estas fuerzas internas son los esfuerzos o tensiones, estas fuerzas serán calculadas para el dimensionamiento apropiado del diseño y definir los materiales que se evaluaron integrando todas las características para asegurar el eficiente funcionamiento de la máquina.

El análisis de costo se empleó para estimar un valor posible monetario para el diseño de la máquina, donde se involucró el costo fijo para los materiales que se emplearían en el mecanismo y el costo por mano de obra que contemplaría el ensamblado y la soldadura.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación es de tipo básica, descriptiva. Los autores Hernández, Fernández y Baptista (2014) se refieren a la investigación descriptiva como aquel estudio que busca especificar las propiedades importantes del objeto que sea sometido a análisis, en este caso, se estudia el proceso del diseño de la máquina para determinar las características necesarias para un diseño que permita mejorar la manipulación manual de cargas en los trabajadores del sector de metalmecánica. Podemos decir que se examinan las variables independientemente y luego se pueden integrar para finalmente describir la forma óptima de solución ante el problema en cuestión.

La investigación es propositiva, porque el diseño que se desarrolla es una propuesta para disponerse en una fabricación futura, esta investigación fue definida por Hernández, Fernández y Baptista (2014) como la que se ocupa de analizar la forma de cómo deberían ser las cosas para alcanzar un fin y funcionar adecuadamente. Para este caso, a partir del estudio descriptivo se identificará la necesidad y se propondrá una solución a través de la propuesta de la máquina para mejorar la manipulación manual de cargas.

El diseño de la investigación fue no experimental, transeccional descriptiva, porque se recolectaron los datos en un tiempo único determinado, se describieron las variables y se analizó su incidencia (Rodríguez y Vargas (2013). Por ello, se representó de la siguiente forma: (M) (O), donde la M representa a la muestra que se le realiza al estudio, en este caso a la población; y la O constituye la medición de la variable que se investiga, en otras palabras, el proceso del diseño de la máquina.

3.2. Variables y operacionalización

La investigación presenta dos variables: la variable dependiente “Manipulación manual de cargas” y la variable independiente “Diseño de una máquina”, dispuestas junto a su operacionalización en la tabla del Anexo N°3.

3.3. Población, muestra y muestreo

Según los datos que se procesaron, se concluyó con lo expuesto en la Tabla N°1, excluyendo el rubro de muestra y muestreo al trabajarse con toda la población (1), es decir, el diseño de la máquina y la documentación estandarizada en particular.

Tabla N° 1: Población

Indicador	Unidad de análisis	Población
Momento	Diseño de la máquina	Diseño de la máquina
N° de características técnicas	Diseño de la máquina	Diseño de la máquina
Esfuerzos	Diseño de la máquina	Diseño de la máquina
Costo de fabricación	Diseño de la máquina	Diseño de la máquina
Peso máximo recomendado	Documentación estandarizada	Documentación estandarizada
Peso de la carga manipulada	Documentación estandarizada	Documentación estandarizada

Elaboración propia.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En este apartado se estableció los instrumentos que hicieron posible la recolección de datos, dándole uso al análisis documental con los cálculos realizados, los informes generados por el software 3D Autodesk Inventor, los registros, la ficha de análisis de costos y normas estandarizadas.

En la Tabla N°2, se detalla la interacción entre indicador, técnica e instrumento.

Tabla N° 2: Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.

Indicador	Técnica	Instrumento
Momento	Análisis documental	Registro de ecuación de Momento (Tabla N°21)
N° de características técnicas	Análisis documental	Diseño de la máquina en el software 3D Autodesk Inventor (Anexo N°6)
Esfuerzos	Análisis documental	Informe del análisis en el software 3D Autodesk Inventor (Anexo N°8)
Costo de fabricación	Análisis documental	Ficha de análisis de costos (Anexo N°9)
Peso máximo adecuado	Análisis documental	Registro de peso máximo de carga estandarizado en la norma básica de ergonomía y de procedimiento de evaluación de riesgo disergonómico RM375-2008. (Tabla N°5)
Peso de la carga manipulada	Análisis documental	Registro de Peso (kg/m) de material manipulado, según Norma ASME B36.10/19. (Tabla N°6)

Elaboración propia.

3.5. Procedimiento

En esta investigación se procedió con lo siguiente para el cumplimiento de cada objetivo, basados en la metodología de diseño presentada por Nigel Cross (2002): Para la determinación de la problemática entre el peso máximo y la carga manipulada por los trabajadores del sector de metalmecánica se hizo un análisis y un planteamiento de la misma a través de la recolección de información y datos estandarizados. A través de la revisión documentaria relacionada a la Ecuación de NIOSH, el estudio base para la determinación del peso máximo ideal en la manipulación manual de cargas, realizada originalmente en el año 1981, y revisada en 1994 donde el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos publicó una nueva ecuación de diseño y evaluación de tareas de levantamiento manual, considerando nuevas variables tras la investigación (Anexo N°10).

Por otro lado, para la determinación del peso de la carga manipulada por los trabajadores de metalmecánica, se revisaron las normas aplicadas para la fabricación de tubería proporcionadas por ASME - American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) que es la que ha generado códigos de diseño y construcción de aceptación mundial para este tipo de materiales industriales, en armonía con ASTM Internacional - American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales), específicamente la ASME B 36.10 Welded and Seamless Wrought Steel Pipe (tubo de acero forjado soldado y sin costura) y la ASME B36.19 Stainless Steel Pipe (tubería de acero inoxidable), donde se establece el tamaño de la tubería, diámetro externo, espesor de pared, presión de trabajo y más (Anexo N°4, N°5).

Para la determinación específica del peso del tubo manipulado se considera, principalmente, el tamaño de la tubería (diámetro), espesor o cédula, y la longitud del tubo, que depende del trabajo a realizar y que comercialmente es de 6 metros. Los datos encontrados en las normas revisadas son estandarizados y para esta investigación se determinó lo expuesto en la tabla N°6: Peso (kg/m) de material manipulado.

Se puso en evidencia la existencia del problema por el peso máximo recomendado y el peso de la carga, que los trabajadores manipulan, ya determinado por las normas ASME B36.10/19, además de la necesidad para desarrollar el modelo, cumpliéndose con la primera fase de diseño “exploración del problema”.

En la conceptualización del diseño de la máquina para mejorar la manipulación manual de cargas, se eligió la alternativa más adecuada de diseño tras el análisis de 3 alternativas mediante el análisis de criterios ponderados considerando factores técnicos importantes para el diseño; una vez elegida la mejor opción se procedió a realizar el cálculo correspondiente del momento del mecanismo, relacionándose con la ley de equilibrio de la palanca. Los datos obtenidos se plasmaron en el software 3D Autodesk Inventor como parte del diseño desarrollado, cumpliendo con la finalidad de la segunda fase del diseño “generación de un concepto”, que, como lo menciona Barriga (2016) es la fase donde se concreta el diseño, haciendo posible el encuentro de la solución del proyecto y sus características, dimensiones,

material, estructura y capacidad. La proyección del diseño permitió determinar las características técnicas que se evaluarían posteriormente.

En la evaluación del diseño de la máquina para mejorar la manipulación manual de cargas, se evaluó la proyección realizada con sus características técnicas y los esfuerzos a los que sería sometida, es decir, se determinó si finalmente la alternativa seleccionada es la ideal bajo las fuerzas aplicadas a través de un análisis en el mismo software 3D Autodesk Inventor, este logró sintetizar el cálculo de las tensiones sobre la estructura, cumpliéndose con la tercera etapa del método del diseño “evaluación del diseño”. Al resultar eficiente la evaluación, se procedió a la comunicación del mismo como modelo final.

La estimación del costo por fabricar el diseño de la máquina para mejorar la manipulación manual de cargas, se acopló con la última fase del método de diseño “comunicación del diseño” que, como lo indicó Cross (2002) en esta fase se disponen los detalles de fabricación y la factibilidad económica. Ccpa (2019) reafirma que en esta etapa ya se pueden ver los planos finales, detalle del diseño y dimensiones en general, lo que se consideró para la valoración mediante una ficha de análisis de costos del diseño final. Además de los planos, se tomó en cuenta una ficha de descripción del funcionamiento de la máquina para una mejor comunicación del diseño.

3.6. Método de análisis de datos

Definidas las técnicas e instrumentos de recolección de datos hay que hacer un análisis de datos eficiente, puesto que la existencia de los datos en su estado recolectado sin procesar tiene poco uso sin algún tipo de procesamiento (Sample, 2000).

Por lo tanto, en la presente investigación se empleó el análisis de las tablas estandarizadas en las normas estudiadas, sintetizando en tablas de registros. Se empleó Autodesk Inventor para generar los planos y reportes correspondientes al análisis de esfuerzos para una interpretación puntual.

3.7. Aspectos éticos

El presente estudio mantiene la confidencialidad en el aspecto del análisis de costos, se reservó el nombre de aquellas entidades que no autorizaron la divulgación de sus precios ni el nombre de las mismas.

IV. RESULTADOS

4.1. Determinación de la problemática entre el peso máximo y la carga manipulada por los trabajadores del sector de metalmecánica.

Peso de carga máxima:

Tabla N° 3: Ecuación de límite de peso máximo recomendado

Límite de peso recomendado:

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$$

Dónde:

LC : constante de carga

HM : factor de distancia horizontal

VM : factor de altura

DM : factor de desplazamiento vertical

AM : factor de asimetría

FM : factor de frecuencia

CM : factor de agarre

Elaboración propia, según la ecuación de NIOSH (1994)

En la tabla N°3 se muestra la ecuación propuesta por NIOSH utilizada internacionalmente para determinar el peso máximo recomendado.

Tabla N° 4: Límite de peso recomendado, establecido por la ecuación de NIOSH

Genero	Peso máximo recomendado	% de población protegida
Masculino	23kg	90%
Femenino	23kg	75%

Elaboración propia, según la ecuación de NIOSH (1994)

En la tabla N°4, la ecuación de levantamiento NIOSH involucra el peso y otros factores que contribuyen a riesgos por lesión en la manipulación de cargas. Para condiciones ideales, el peso límite se redujo de un peso base (carga constante=LC) a un peso límite recomendado (RWL), es decir, la carga constante (LC) fue de 23 kg, establecida por el NIOSH como una carga que en condiciones óptimas, es segura para el 90% de los hombres y el 75% de las mujeres.

Tabla N° 5: Peso máximo de carga estandarizado en la norma básica de ergonomía y de procedimiento de evaluación de riesgo disergonómico RM375-2008.

Genero	Peso máximo recomendado	% de población protegida
Masculino	25kg	85%
Femenino	15kg	85%

Elaboración propia, según la Norma RM375-2008.

En la tabla N°5, la norma RM375-2008 estableció 25 kg como peso máximo recomendado de carga segura en condiciones ideales para el 85% de los hombres y 15kg para el 85% de las mujeres, también basada en la ecuación de NIOSH.

Tabla N° 6: Registro de peso (kg/m) de material manipulado

Tamaño de tubo (in)	Espesor (mm) - Peso (Kg/m)								
	SCH 5S	SCH 5	SCH 10S	SCH 10	SCH 20	SCH 30	SCH 40S	STD	SCH 40
1/8			1,24			1,45		1,73	
			0,27			0,32		0,37	
			0,28			0,32		0,37	
1/4			1,65			1,85		2,24	
			0,49			0,54		0,63	
			0,50			0,55		0,64	
3/8			1,65			1,85		2,31	
			0,63			0,70		0,85	
			0,64			0,71		0,86	
1/2	1,65		2,11			2,41		2,77	
	0,8		1,00			1,13		1,27	
	0,81		1,02			1,14		1,27	
3/4	1,65		2,11			2,41		2,87	
	1,02		1,28			1,44		1,68	
	1,03		1,30			1,46		1,71	
1	1,65		2,77			2,90		3,38	
	1,29		2,10			2,18		2,50	
	1,31		2,13			2,22		2,54	
1 1/4	1,65		2,77			2,97		3,56	
	1,65		2,70			2,87		3,37	
	1,67		2,73			2,92		3,44	
1 1/2	1,65		2,77			3,18		3,68	
	1,90		3,10			3,54		4,05	
	1,92		3,15			3,59		4,11	
2	1,65		2,77			3,18		3,91	
	2,39		3,93			4,48		5,44	
	2,42		3,99			4,55		5,52	
2 1/2	2,11		3,05			4,78		5,16	
	3,69		5,26			8,05		8,64	
	3,75		5,35			8,17		8,77	
3	2,11		3,05			4,78		5,49	
	4,52		6,46			9,92		11,29	
	4,59		6,56			10,07		11,47	

Elaboración propia, según ASME B36.10/19

- Fila negra: espesor (mm).
- Fila azul: aceros al carbono - peso (Kg/m)
- Fila roja: aceros inoxidables - peso (Kg/m)

Tabla N°6: Registro de peso (kg/m) de material manipulado

Tamaño de tubo (in)	Espesor (mm) - Peso (Kg/m)								
	SCH 5S	SCH 5	SCH 10S	SCH 10	SCH 20	SCH 30	SCH 40S	STD	SCH 40
3½	2,11		3,05			4,78		5,74	
	5,18		7,41			11,41		13,57	
	5,26		7,53			11,57		13,78	
4	2,11		3,05			4,78		6,02	
	5,84		8,37			12,91		16,08	
	5,93		8,50			13,11		16,32	
5	2,77		3,40					6,55	
	9,46		11,56					21,77	
	9,61		11,74					22,10	
6	2,77		3,40					7,11	
	11,31		13,82					28,26	
	11,48		14,04					28,69	
8	2,77		3,76		6,35	7,04		8,18	
	14,78		19,97		33,31	36,81		42,54	
	15,00		20,27		33,83	37,38		43,20	
10	3,40		4,19		6,35	7,80		9,27	
	22,61		27,78		41,76	51,02		60,30	
	22,96		28,21		42,41	51,81		61,23	
12	3,96		4,57		6,35	8,38	9,53		10,31
	31,24		35,98		49,72	65,19	73,90		79,72
	31,72		36,54		50,48	66,20	75,00		80,94

Elaboración propia, según ASME B36.10/19

- Fila negra: espesor (mm).
- Fila azul: aceros al carbono - peso (Kg/m)
- Fila roja: aceros inoxidables - peso (Kg/m)

En la tabla N°6 se contempla el peso en kilogramos por un metro, resultando valores menores y mayores a 25 kg, pero si se considera la longitud comercial del tubo (6 metros), un tubo de 2" SCH30 ya excede el peso ideal con 26.88kg, y si se toma en cuenta el ultimo valor registrado de la tabla, un tubo de 12" SCH 40 resulta un peso de 478.32kg lo que evidentemente requiere de una ayuda mecánica para ser manipulado. El peso del tubo varía según la longitud con la que se trabaja hasta su longitud comercial.

4.2. Conceptualización del diseño de la máquina para mejorar la manipulación manual de cargas.

Para la generación de un concepto del diseño se analizaron 3 alternativas para elegir la mejor según sus características mediante un análisis de criterios ponderados, expuesta por Alarcón y Males (2014). Los criterios considerados para la matriz representan los atributos o características del diseño que se basan en el problema expuesto y de los modelos existentes, del mismo modo que Cross (2002) sugiere, al mencionar que es importante considerar atributos que cubran la necesidad en el problema, estos ayudan a definir las características a tomar en cuenta en lo que se diseñará y se plantean independiente para una solución particular.

Entre las características principales del diseño se consideró la capacidad de carga, las dimensiones de la carga a transportar, la superficie por donde se va a realizar la acción y el costo que representa. Las alternativas correspondieron a un nivel de diseño intermedio que Cross (2002) definió como el nivel donde se pretende incluir un nuevo producto o un rediseño en la gama existente de aparatos, para este caso en particular, mejorar una idea e incorporar un nuevo prototipo en los existentes del mercado para transportar tubería.



Figura N° 1: Máquina 1 - Carreta para tubos de 2 llantas

Fuente: Proveedor DWT GMBH

La primera alternativa cumple con la única función de transportar tubos por un operario, presenta 2 llantas de un diámetro menor a 8". Esta alternativa tiene una

capacidad de carga de 450kg para tubos de hasta 12" x 6m de longitud. La desventaja que presenta este modelo es la dificultad para manejar la carga cuando esta es la máxima, además de ser una máquina para ser utilizada en terreno liso (Anexo N°14).



Figura N° 2: Máquina 2 – Transportador de tubos con 6 llantas
Fuente: Proveedor DWT GMBH

La segunda alternativa también cumple con la única función de transporte para tubos, aunque tiene una gran capacidad de carga con 900kg, es una máquina que solo se puede emplear en superficies lisas y con tubos de una longitud menor o igual a 5 metros (Anexo N°15).



Figura N° 3: Máquina 3 – Carrier de 2 llantas para manipular tubería
Fuente: Elaboración propia

La tercera alternativa es el diseño presentado con un sistema mecánico simple de palanca, con una capacidad de 500kg para tubería de hasta 12" x 6 metros de longitud, considerando una ventaja importante la posibilidad que otorga para transportar sobre superficies no lisas y la versatilidad para manipular incluso tubería en general (accesorios o válvulas).

Tabla N° 7: Código de alternativas

Código	Alternativa
Alternativa A	Maquina 1 - Carreta para tubos de 2 llantas.
Alternativa B	Maquina 2 – Transportador de tubos con 6 llantas.
Alternativa C	Máquina 3 – Carrier de 2 llantas para manipular tubería.

Elaboración propia

La tabla N°7 muestra la forma simplificada de cómo se representó a cada opción en la matriz de ponderación para una mejor comprensión del análisis.

Presentadas las alternativas, se procedió a evaluarlas mediante el método de criterios ponderados donde se tomó en cuenta una serie de parámetros relevantes relacionados a las características dentro del diseño y según su importancia se estableció la ponderación. Las calificaciones consideradas para cada criterio se muestran en la Tabla N°8.

Tabla N° 8: Valores de calificación

Valoración	Criterio
1	Si el criterio de la fila es mejor que el de la columna
0.5	Si el criterio de la fila es equivalente que el de la columna
0	Si el criterio de la fila es peor que el de la columna

Elaboración propia

Entre los criterios de la matriz se encuentra la facilidad de manejo operativo, levantamiento de la carga, longitud de carga, ancho de carga, capacidad de carga,

facilidad de manejo en superficies, versatilidad y costo. La tabla N°9 muestra la valoración de cada criterio.

Tabla N° 9: Valoración de criterios

Criterios	Facilidad de manejo operativo	Levantamiento de la carga	Longitud de carga	Ancho de carga	Capacidad de carga	Facilidad de manejo en superficies	Versatilidad	Costo	\sum_{+1}	Ponderado total
Facilidad de manejo operativo	-	0.5	1	1	0	0	0.5	0	4	0.108
Levantamiento de la carga	0.5	-	1	1	0	0	1	0	4.5	0.121
Longitud de carga	0	0	-	0.5	0.5	0	1	0	3	0.081
Ancho de carga	0	0	0.5	-	0.5	0	0.5	0	3.5	0.095
Capacidad de carga	1	1	0.5	0.5	-	0.5	0.5	0.5	5.5	0.149
Facilidad de manejo en superficies	1	1	1	1	0.5	-	0.5	0	6	0.162
Versatilidad	0.5	0	0	0.5	0.5	0.5	-	0.5	3.5	0.095
Costo	1	1	1	1	0.5	1	0.5	-	7	0.189
									37	1.000

Elaboración propia

Determinado el ponderado de cada criterio, se continuó con el peso específico de cada uno en relación a las alternativas.

El criterio de facilidad de manejo operativo indicó cuál de las maquinas tiene una operación simplificada para ser operada, es decir, no requerir mucha participación de usuarios y facilidad para direccionarla en el traslado de la carga. Las tres alternativas posibilitan su manejo por un operario, la diferencia es la forma del

manejo, la alternativa A tiene posicionado el manubrio más al extremo izquierdo y se emplea una mano, la alternativa B no tiene un solo manubrio, esta se puede manipular desde las 4 barras que le dan altura con una o ambas manos, mientras que la alternativa C tiene un manubrio centrado que se utiliza con ambas manos para un mejor equilibrio. En la tabla N°10 se muestra la evaluación para el peso específico de la facilidad de manejo operativo.

Tabla N° 10: Peso específico de facilidad de manejo operativo

Facilidad de manejo operativo	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa A	-	0	0	1	0.166
Alternativa B	1	-	0.5	2.5	0.417
Alternativa C	1	0.5	-	2.5	0.417
				6	1.00

Elaboración propia

El criterio para levantamiento de carga consistió en indicar que opción permite mayor elevación o altura de la carga, sea por el diámetro de las llantas para facilitar el transporte y mejorar la manipulación, además, se tomó en cuenta que a mayor diámetro del neumático, mayor distancia. La alternativa A contiene 2 llantas con un diámetro menor a 8", la alternativa B con llantas de diámetro menor a 6" y la alternativa C que contemplaría llantas de 16". En la tabla N°11 se muestra la evaluación para el peso específico de levantamiento de carga.

Tabla N° 11: Peso específico de levantamiento de carga

Levantamiento de carga	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa A	-	1	0	2	0.333
Alternativa B	0	-	0	1	0.167
Alternativa C	1	1	-	3	0.500
				6	1.000

Elaboración propia

La longitud de la carga representó la característica en cuanto a la mayor longitud de la tubería que la alternativa puede manipular. La primera alternativa permite el transporte de tubos hasta de 6 metros, al igual que la tercera alternativa, mientras que la segunda opción permite solo 5 metros de longitud de tubería. La tabla N°12 muestra la evaluación para el peso específico de longitud de carga.

Tabla N° 12: Peso específico de longitud de carga

Longitud de carga	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa A	-	1	0.5	2.5	0.417
Alternativa B	0	-	0	1	0.166
Alternativa C	0.5	1	-	2.5	0.417
				6	1.000

Elaboración propia

El criterio por ancho de la carga representó la característica en cuanto al diámetro de la tubería que la alternativa puede manipular. Las tres alternativas presentadas pueden llegar a manipular tubería de hasta 12" (300mm), considerando que la primera opción solo permite el transporte de tubos, mientras que las otras dos opciones son más versátiles en cuanto al diámetro que pueden manipular (>12") y el tipo de carga (involucrando accesorios, válvulas, entre otros). La tabla N°13 muestra la evaluación para el peso específico de ancho de carga.

Tabla N° 13: Peso específico de ancho de carga

Ancho de carga	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa A	-	0.5	0	1.5	0.250
Alternativa B	0.5	-	0	1.5	0.250
Alternativa C	1	1	-	3	0.500
				6	1.000

Elaboración propia

La capacidad de carga indicó la alternativa que mayor peso permite manipular. La alternativa A tiene una capacidad máxima de 450kg, la alternativa B, 900kg y la alternativa C, 500kg. La tabla N°14 muestra la evaluación para el peso específico de capacidad de carga.

Tabla N° 14: Peso específico de capacidad de carga

Capacidad de carga	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa A	-	0	0	1	0.167
Alternativa B	1	-	1	3	0.500
Alternativa C	1	0	-	2	0.333
				6	1.000

Elaboración propia

La facilidad de manejo en superficies representó la opción que mejor permite el traslado sobre superficies lisas y no lisas, contemplando que el área de labores mayormente no es de concreto o asfalto, es pedregoso o accidentado. Este criterio se relaciona con el tipo de llantas de cada máquina, la alternativa A tiene 2 llantas de un diámetro promedio que permiten su manejo por un terreno liso y no liso, la alternativa B presenta 6 llantas con un diámetro mínimo para operar en áreas planas y la alternativa C presenta 2 llantas de mayor diámetro con la posibilidad de operarse en diversas superficies. La tabla N°15 muestra la evaluación para el peso específico de facilidad de manejo en superficies.

Tabla N° 15: Peso específico de facilidad de manejo en superficies

Facilidad de manejo en superficies	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa A	-	1	0	2	0.333
Alternativa B	0	-	0	1	0.167
Alternativa C	1	1	-	3	0.500
				6	1.000

Elaboración propia

El criterio por versatilidad ayudó a identificar la máquina que permite la manipulación de diferentes tipos de carga, por ejemplo, la alternativa A solo permite transporte de tubos, mientras que las otras dos alternativas otorgan la posibilidad de transportar, además de tubos, accesorios, bridas, válvulas o misceláneos de acero. En la tabla N°16 se ubica la evaluación para el peso específico de versatilidad.

Tabla N° 16: Peso específico de versatilidad

Versatilidad	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa A	-	0	0	1	0.166
Alternativa B	1	-	0.5	2.5	0.417
Alternativa C	1	0.5	-	2.5	0.417
				6	1.000

Elaboración propia

El criterio por costo permitió indicar la alternativa más económica y accesible, aquella que mejor se adaptó a la problemática expuesta a bajo costo. La alternativa C se proyectó a ser la más económica con un valor menor a S/.1800.00, la alternativa A supera los S/1900.00 y la alternativa B supera los S/2900.00. En la tabla N°17 se encuentra la evaluación del peso específico de costo.

Tabla N° 17: Peso específico de costo

Costo	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\sum +1$	Ponderado
Alternativa A	-	1	0	2	0.333
Alternativa B	0	-	0	1	0.167
Alternativa C	1	1	-	3	0.500
				6	1.000

Elaboración propia

Luego de precisar el peso específico de los criterios para cada alternativa, se calculó el resultado general del análisis con la sumatoria de los productos del ponderado por el peso específico del criterio, donde se arrojó que la alternativa C, el diseño de la máquina 3: el carrier de dos llantas para manipular tubería, es la

opción ideal a desarrollar para cubrir de forma eficiente los criterios según el problema. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla N°18 bajo la siguiente ecuación:

$$S_j = \sum W_i \times F_{ij},$$

Dónde:

S_j = es el resultado global de cada alternativa j.

W_i = es la ponderación de cada criterio.

F_{ij} = es peso específico de la alternativa j por cada criterio i.

Tabla N° 18: Resultado del análisis de criterios ponderados

Criterios	Ponderado	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Peso espec.	Total A	Peso espec.	Total B	Peso espec.	Total C
Facilidad de manejo operativo	0.108	0.166	0.0179	0.417	0.0450	0.417	0.0450
Levantamiento de carga	0.121	0.333	0.0403	0.167	0.0202	0.500	0.0605
Longitud de carga	0.081	0.417	0.0338	0.166	0.0134	0.417	0.0338
Ancho de carga	0.095	0.250	0.0238	0.250	0.0238	0.500	0.0475
Capacidad de carga	0.149	0.167	0.0249	0.500	0.0745	0.333	0.0496
Facilidad de manejo en superficies	0.162	0.333	0.0539	0.167	0.0271	0.500	0.0810
Versatilidad	0.095	0.166	0.0158	0.417	0.0396	0.417	0.0396
Costo	0.189	0.333	0.0629	0.167	0.0316	0.500	0.0945
		Total	0.2733	Total	0.2752	Total	0.4515

Elaboración propia.

Entonces, tomando en cuenta el diseño seleccionado y su mecanismo, se hizo el cálculo necesario para el Momento de la máquina con el objeto de conseguir el equilibrio del sistema; mediante este razonamiento se logró obtener las dimensiones y fuerzas principales como datos para introducirlos al software de diseño Autodesk Inventor, con el cual se logró el dimensionamiento completo de la máquina mostrando sus características y capacidades. Previo al cálculo, fue necesario determinar el material de la pieza principal de la máquina para considerar su peso dentro de las fuerzas y su dimensión para el Momento, bajo la premisa de que debe ser un material que no genere exceso en el esfuerzo del operario y que sería validado posteriormente en el programa.

Por ello, como material de la pieza principal se seleccionó un tubo de acero al carbono ASTM A36, ya que según Mott (2006) este material es el más útil en las estructuras de maquinaria por sus buenas propiedades transversales para elementos cargados, por su gran resistencia, rigidez y facilidad de fabricación, asignándose lo siguiente:

Tabla N° 19: Asignación de material para pieza principal

Descripción	Material	Dimensiones		Espesor	Peso teórico	Longitud
		mm	In	mm	kg/m	m
Pieza principal de la maquina	Tubo cuadrado ASTM A36	92 x 92	4" X 4"	3	9.174	6

Elaboración propia.

Ahora, para las demás fuerzas, la capacidad de carga que se proyectó para el desarrollo del diseño de la maquina es de 500kg, según el tubo de 12" x 6m SCH 40 (478.32kg), lo que incluye a tubos de diferentes dimensiones siempre que estén bajo el peso indicado. Considerando siempre que la maquina será manipulada por un operario con una fuerza proporcional al peso limite recomendado, para un mejor funcionamiento y el momento de la maquina se encuentre en equilibrio, se distribuyó el peso en dos partes para el sistema, con mayor cuantía en el punto de

resistencia y en menor cuantía en el brazo de la fuerza motriz, utilizando el mismo peso de la carga como ayuda para el equilibrio del momento. Las fuerzas actuantes respecto a la carga se representan en la Tabla N°20 con una gravedad de 9.8m/s^2 .

Tabla N° 20: Fuerzas que actúan en el sistema de la maquina

Descripción	Fuerza	
	kg	N
Fuerza aplicada por el operario	25	245
Peso teórico del tubo cuadrado (pieza principal)	55.044	539.4312
Capacidad de carga	$X + Y = 500$	$X + Y = 4900$

Elaboración propia

En la figura N°4 se representa el sistema de la maquina junto con las fuerzas que actúan sobre él, además de los brazos (distancias) asignadas según la longitud comercial y bajo la premisa del mecanismo de la palanca, de cuanto mayor sea la distancia hacia el punto de apoyo, menor será la fuerza aplicada.

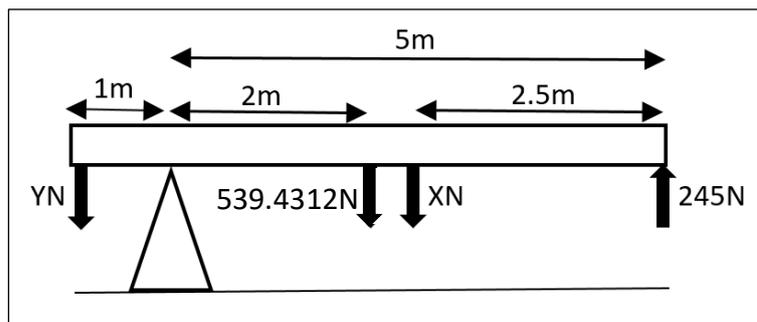


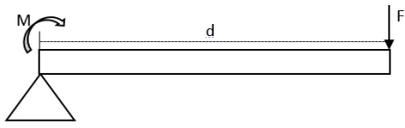
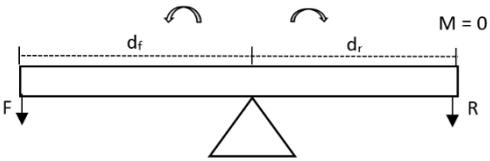
Figura N° 4: Sistema del diseño de la maquina seleccionada

Elaboración propia.

En la figura N°4 se observa que el peso de la pieza principal se posiciona en el centro de la misma (539.4312N), mientras que el peso de la carga a soportar ($Y\text{N} + X\text{N}$) se distribuye en el extremo del brazo más corto (1m) como resistencia y en la mitad del brazo más largo (5m).

A continuación, el cálculo de la distribución ideal del peso de la carga para el equilibrio del sistema:

Ecuación de Momento:

Momento	Ley de equilibrio
$M = F \times d$	$\sum M = 0$ $F \times d_f = R \times d_r$
Dónde: M = Momento F = Fuerza (N) D = Distancia (m)	Dónde: F = Fuerza aplicada o motriz (N) D _f = Brazo de fuerza aplicada R = Resistencia (N) D _r = Brazo de resistencia
	

Desarrollo:

Ecuación 1:

$$XN + YN = 4900N$$

$$XN = 4900N - YN$$

Ecuación 2:

$$-245N(5m) + XN(2.5m) + 539.4312N(2m) = YN(1m)$$

$$-1225Nm + 2.5XNm + 1078.86Nm = YNm$$

Ecuación 1 en 2:

$$-1225Nm + (4900N - YN)(2.5m) + 1078.8624Nm = YNm$$

$$-1225Nm + 12250Nm + 1078.8624Nm = YNm + 2.5YNm$$

$$12103.8624Nm = 3.5YNm$$

$$3458.2464N = YN$$

Ecuación 2 en 1:

$$XN = 4900N - 3458.2464N$$

$$XN = 1441.7536N$$

Los resultados de XN y YN permiten deducir que para distribuir en mayor proporción el peso de la tubería a manipular en la parte frontal de la máquina, se debe posicionar el tubo de tal forma que sobresalga por la delantera, es decir, para cualquier tubería a manipular se debe colocar siempre la mayor parte (longitud o peso) hacia adelante, tal como se muestra en la figura N°5, de esta forma el mecanismo podrá mantenerse en equilibrio (Tabla N°21) y evitar que el trabajador aplique un exceso de esfuerzo.

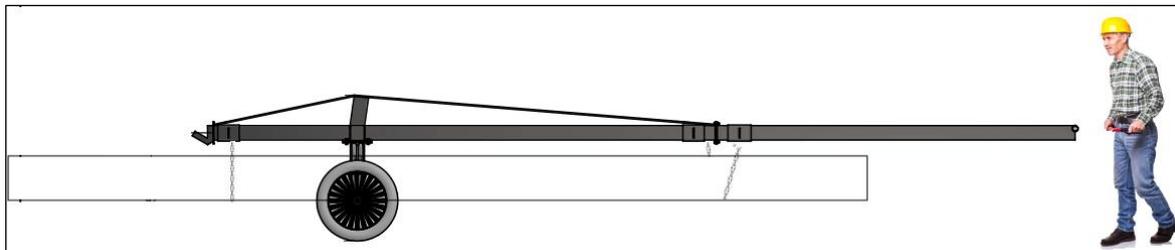


Figura N° 5: Posición de la carga

Elaboración propia

Tabla N° 21: Registro de ecuación de Momento

Momento de la máquina en equilibrio

$$-245N(5m) + 1441.7536N(2.5m) + 539.4312N(2m) = 3458.2464N(1m)$$

$$3458.2464Nm = 3458.2464Nm$$

Elaboración propia

Los datos obtenidos se trasladaron hacia el software y en él se pudieron dimensionar y asignar el resto de los componentes de la máquina. En la figura N°6 se presenta el diseño desarrollado y sus partes para mejor comprensión del mismo. Además, el material y dimensión de sus componentes se registran en la tabla N°22.

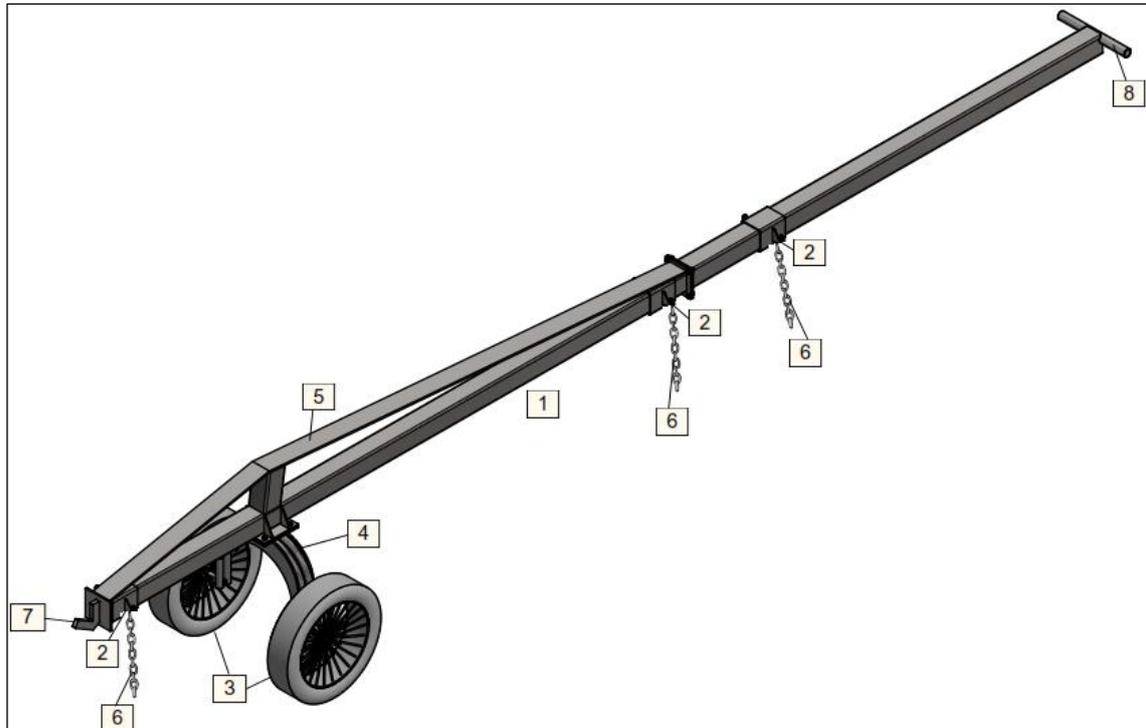


Figura N° 6: Partes del diseño de la maquina

Elaboración propia

Tabla N° 22: Descripción de partes y componentes del diseño de la máquina.

Ítem	Parte	Componente	
		Cant.	Descripción
1	Pieza principal	1	Tubo cuadrado ASTM A36 de 4" x 4" x 3mm, 6m L.
		2	Planchas ASTM A36 de 147mm x 147mm (8mm: espesor) con 4 agujeros de 3/8"
		4	Cartelas – plancha ASTM A36 de 95mmx49mm (6mm: espesor)
		1	Plancha ASTM A36 de 199mmx199mm (10mm: espesor) con 4 agujeros de 3/8"
2	Ganchos de carga	3	Tubo al cuadrado ASTM A500 de 4" (100mm) con 100mm L.
		6	Planchas ASTM A36 de 67mmx70mm (3/16": espesor)
		3	Pernos ojo con tuerca de acero de 1/2"
3	Neumáticos	2	Neumáticos 110/90 R16 (capacidad de carga: 59 243kg)

4	Soporte de neumáticos	1	Plancha ASTM A36 de 199mmx199mm (10mm: espesor) con 4 agujeros de 3/8"
		2	Tubo rolado de 1 ¼" (3mm: espesor) con 1.3m de L.
		2	Plancha ASTM A36 250mmx500mm (10mm: espesor)
		2	Eje de neumático, acero al carbono (ver detalles en anexo N°7)
5	Templador	1	Plancha ASTM A36 de 3700mmx91mm (5mm: espesor)
6	Cadena de carga	1	Cadena comercial recta de ¼" (L:6m – 3 partes)
7	Gancho frontal	1	Plancha ASTM A36 de 146mmx134mm (3/4": espesor)
		1	Plancha ASTM A36 de 147mm x 147mm (8mm: espesor) con 4 agujeros de ½.
8	Manubrio	1	Plancha ASTM A36 de 147mm x 147mm (8mm: espesor).
		1	Tubo de 1" L:546mm

Elaboración propia.

Los datos del diseño se visualizan mejor en los planos (Anexo N°7).

Cabe resaltar que dentro de los datos registrados en la tabla N°22, se consideró lo siguiente:

En cuanto a las planchas cuadradas unidas por pernos en la pieza principal de la máquina, se tomaron en cuenta para evitar el esfuerzo por la soldadura del templador en una sola sección del tubo cuadrado. Se emplearon las cartelas y las planchas correspondientes para unir la parte principal con el soporte de los neumáticos.

Los ganchos de carga se diseñaron para que puedan ser móviles y fijos (mediante los pernos ojo) dándole versatilidad a la máquina. El soporte de los neumáticos fue diseñado de tal forma que las planchas ayuden a mantener en posición los tubos cuando la estructura esté cargando material, en el dimensionamiento se tuvo en cuenta los diámetros de la tubería y una altura prudente (699mm) según mediciones de Chan Yah (2012); además, se emplearon neumáticos versátiles para facilitar el movimiento sobre diferentes superficies y con una capacidad de carga validada (Anexo N°12).

Acorde al cálculo realizado, para aportar mayor rigidez a la estructura de la máquina se adicionó un templador a la estructura, otorgándole triangulación, que según Torres (2014), esta geometría permite reducir la deformación de la estructura. El templador le proporciona apoyo para distribuir y soportar la carga, como lo reafirma Fierro (2000) en su investigación.

La cadena se seleccionó en base a características ya validadas (Anexo N°11) considerando la longitud de circunferencia de la tubería de máxima carga (12") ($L = 2 \times \pi \times r$) y la altura del soporte de los neumáticos para su longitud, la que se multiplica por 3 partes correspondientes a los 3 ganchos de carga.

Luego, para la dimensión del manubrio (546mm) también se tomaron en cuenta las mediciones de Chan Yah (2012).

Finalmente, tras el análisis realizado a los datos obtenidos, se logró determinar 5 características técnicas del diseño de la máquina, las cuales se muestran en la tabla N° 23.

Tabla N° 23: Características técnicas del diseño

Ítem	Característica técnica
1	Nombre de la máquina: Carrier
2	Material de componentes
3	Dimensión de componentes
4	Capacidad de carga
5	Versatilidad

Elaboración propia.

En la Tabla N°23 se muestra el nombre asignado para el diseño "Carrier", además de considerar como características técnicas los materiales, dimensiones, capacidad de la maquina como especificaciones. Se incluyó la versatilidad por la peculiaridad del diseño al pretender permitir el transporte por diversas superficies y manipular, además de tubos, accesorios u otros materiales que se encuentren dentro de la capacidad de la máquina.

4.3. Evaluación del diseño de la máquina para mejorar la manipulación manual de cargas.

Con la conceptualización del diseño, se procedió a la evaluación correspondiente para verificar que las características técnicas asignadas sean las ideales para cumplir con el funcionamiento esperado y que la estructura sea resistente ante las fuerzas que actúan en ella.

Se realizó la evaluación del diseño en el software Autodesk Inventor 3D, aplicando las fuerzas correspondientes a la carga máxima antes calculadas, la del material de la pieza principal, del operario y según la figura N°4: Sistema del diseño de la maquina seleccionado. Se aplicó $Y_N = 3458.2464N$ donde se sitúa el primer gancho de carga y $X_N = 1441.7536N$, dividida en dos al aplicarse en dos puntos donde se sitúan los otros dos ganchos de carga (Tabla N°24).

Tabla N° 24: Fuerzas aplicadas en el diseño de la máquina

Fuerzas	Descripción	Cantidad
Fuerza 1	Parte del peso de la carga en el primer gancho de carga (Y_N)	3458.2464N
Fuerza 2	Parte del peso de la carga en el segundo gancho de carga ($X_N/2$)	720.8768N
Fuerza 3	Parte del peso de la carga en el tercer gancho de carga ($X_N/2$)	720.8768N
Fuerza 4	Fuerza aplicada por el operario	245N

Elaboración propia.

En los resultados del análisis se muestran gráficas de colores que demuestran la aprobación del diseño a través de la Tensión de Von mises, el desplazamiento y el coeficiente de seguridad, lo que indicaron que la estructura de la máquina, ante las fuerzas aplicadas, es resistente, validando el diseño como aceptable. El coeficiente de seguridad (1.57), en síntesis, demuestra que el diseño no presentará fallas ni se deformará (Figura N°6) ante la carga máxima. Además, según Rutheravan (2016), es un valor ideal que indica que los materiales utilizados son altamente confiables, dándole consideración importante al peso.



Figura N° 7: Coeficiente de seguridad

Elaboración propia, según informe de análisis en Autodesk Inventor 3D

4.4. Estimación del costo por fabricar el diseño de la máquina para mejorar la manipulación manual de cargas.

En el costo estimado para el diseño de la máquina se consideró la materia prima detallada en la tabla N°21 y la mano de obra por trabajos de soldadura y corte. Los precios se obtuvieron según proveedores al por mayor, resultando finalmente un costo de S/ 950.75 (Anexo N°9), cabe resaltar que es un valor inferior en comparación con el de las otras dos alternativas presentadas, además, el costo estimado podría variar, puesto que la maquina podrá ser fabricada por los mismos operarios de la empresa y la misma tiene la posibilidad de reutilizar material restante de sus actividades, es decir, emplear sus recursos disponibles.

Como parte de la fase final de diseño, para la comunicación del mismo, se presentan planos en 3D (Anexo N°7) y una ficha de la máquina (Anexo N°16).

Con el cumplimiento de cada objetivo específico, se logró diseñar la máquina que finalmente permitiría que los trabajadores manipulen tubería sin exceder su esfuerzo máximo recomendado ($25\text{kg} = 245\text{N}$), es importante resaltar que mediante el cálculo del momento en equilibrio de la maquina en el segundo objetivo, se determinaron las dimensiones y la distribución de las fuerzas de tal forma que fuera posible cargar hasta 500kg sin perjudicar al operario. Además, a continuación, mediante el mismo calculo, se demostró que la estructura de la maquina por sí sola mantiene el esfuerzo del operador dentro del rango ideal para ser manipulada, comprobando íntegramente la hipótesis planteada para la investigación.

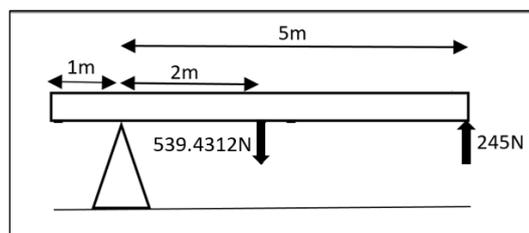


Figura N° 8: Esquema de Momento de la estructura

Elaboración propia

$$M = 0$$

$$245N (5m) = -539.4312N(2m)$$

$$1225Nm = -1078.8624Nm$$

En el cálculo, se muestra que el peso de la estructura, gracias al mecanismo de la máquina (similar a una palanca), puede ser contrarrestado con el esfuerzo ejercido por la persona que la manipula sin excederse del rango recomendado.

V. DISCUSIÓN

Los primeros dos indicadores corresponden a la determinación de la problemática entre el peso máximo y la carga manipulada por los trabajadores del sector de metalmecánica, el mismo que consistió en demostrar el problema existente por manipulación manual de cargas a través de la comparación del peso del material que manipulan los operarios y el peso máximo recomendado, resultando ser 25kg, un peso ya regulado por la norma vigente de nuestro país (Perú), la norma básica de ergonomía y de procedimiento de evaluación de riesgo disergonómico RM375-2008, la que registra este peso como el ideal para proteger al 85% de la población. Además, del mismo modo que la presente investigación, la norma también se basa en estudios originales de NIOSH.

Los pesos que los operarios manipulan respecto a la tubería mostrados en la tabla N°6 fácilmente superan lo recomendado (>25kg), llegando hasta los 478.32kg por un tubo de 12" SCH40 con 6m de longitud, que crean la necesidad de ayuda mecánica, estos pesos son los mismos que se registran en las normas ASME B36.10 de acero al carbono y ASME B36.19 de acero inoxidable utilizadas internacionalmente. La ventaja de recurrir a documentación ya estandarizada por entidades internacionales y nacionales para la determinación de los pesos permite obtener resultados normalizados que no varían, y si lo hacen, se mantienen siempre bajo la norma, esto se aprovecha de tal forma que hace innecesario el hecho de realizar el estudio para determinar, por ejemplo, el peso máximo recomendado, o hacer el cálculo manualmente para conocer cuánto pesa un tubo de cierto tamaño.

En el caso de la conceptualización del diseño de la máquina para mejorar la manipulación manual de cargas, fue necesario el análisis de 3 alternativas de diseño para seleccionar la ideal que permitiera una solución más eficiente, esta selección se hizo mediante una matriz de ponderación. Con el modelo elegido, según su mecanismo, se procedió con el cálculo del Momento y el número de características técnicas, indicadores que hicieron posible concretar la ideal del diseño final. Emplear la fórmula del momento permitió realizar la distribución de fuerzas correspondientes para encontrar el equilibrio en el mecanismo del diseño que le permitiera al trabajador no aplicar un esfuerzo mayor al recomendado

(245N), además, de comprobar que las dimensiones principales eran compatibles. Una vez definido esto se introdujeron los datos a una herramienta informática como apoyo, Autodesk Inventor, donde se materializó digitalmente el diseño con las dimensiones y materiales de los componentes. Tras el análisis, se determinaron 5 características técnicas.

Los métodos aplicados para la conceptualización del diseño son los mismos aplicados por Ccapa (2019) en su trabajo de diseño, generó alternativas, eligió la ideal mediante la ponderación y mediante un software concretó su modelo, asignando dimensiones y material a cada componente. Del mismo modo, autores como Martínez (2016) y Monserrat (2017) seleccionaron su alternativa ideal y concretaron su diseño mediante un programa informático con características técnicas correctas. La ventaja de darle uso a una matriz de ponderación, según Ouye (2013) es que al final de esta siempre arroja el resultado ideal que prioriza los criterios o factores más relevantes que se determinaron para el caso, como en este estudio, que se asignaron criterios importantes para darle respuesta la pregunta general de la investigación y para ser considerados como parte de las características técnicas. Además, el uso de herramientas informáticas aceleró la concepción del diseño, y no solo en esta tesis, si no es otras ya anteriormente expuestas, entre otras ventajas que representa el uso de un software 3D es el ahorro económico, ya que al crearse un prototipo virtual se pueden hacer todos los cambios necesarios en cuanto a medidas o materia prima sin tener que fabricar y rehacer, como lo reafirma Bonilla (2003), una herramienta informática permite corregir los errores de diseño, ahorrar tiempo por modificaciones y otorga mayor precisión del diseño. Por otro lado, Lui (2006) también menciona que dicha herramienta facilita la fabricación e inspección de forma similar a la realidad.

Respeto a la evaluación del diseño de la máquina para mejorar la manipulación manual de cargas, se consiguió mediante el indicador de esfuerzos, que al determinarse y evaluarse mediante el software Autodesk Inventor permitió darle conformidad al diseño desarrollado, obteniéndose en síntesis un factor de seguridad de 1.57, resultado que indica que ante la máxima fuerza aplicada (500kg) la estructura es resistente y los materiales eficientes, como Rutheravan (2016) lo reafirma en su investigación. La estrategia aplicada para la evaluación del modelo

se asemeja con otras investigaciones, como la presentada por Monserrat (2017), donde le dio validez a su diseño con un software para verificar que los materiales y las dimensiones que asignó sean las indicadas para su capacidad de carga (1.6T). Así mismo, Vargas (2018) también empleó un software para aprobar su diseño. Bonilla (2003) sostuvo que mediante el software correspondiente se puede calcular el comportamiento del modelo ante los esfuerzos, lo que hace viable la evaluación del diseño; específicamente para este trabajo, Autodesk Inc. (2009) indica que su software facilita el diseño y el análisis de sus componentes para verificar que sea eficiente y cumpla con su funcionamiento.

Finalmente, para la estimación del costo por fabricar el diseño de la máquina para mejorar la manipulación manual de cargas, se determinó el indicador de costo de fabricación con la ficha de análisis de costos, donde se plasmó la materia prima y la mano de obra, resultando un valor total de S/ 950.75, procediéndose finalmente a la comunicación del diseño final con sus planos y su costo estimado. En comparación con los precios de las alternativas A (S/ 2038.75) y B (S/ 3066.03), el diseño desarrollado es más económico, de acuerdo con el proveedor DWT GMBH (Anexo N°13). La metodología empleada para alcanzar la finalidad del objetivo fue similar en comparación con los estudios elaborados por Kurniawati (2018) y Vargas (2018), quienes también han considerado en primera instancia la materia prima, la mano de obra, entre otros factores que corresponden a otra realidad, como la implementación que para este estudio no se realizó, obteniendo Rp. 6.013.055,26 (S/1488.12) y S/3661.00 respectivamente. Según el IES (2020), el análisis de costos incluye aquello que será parte de la obtención de un producto, favorece en la descripción de los recursos necesarios para llevar a cabo una idea, recopila información y les agrega un valor para estimar el coste, en particular, se muestra con mayor detalle el costo de cada componente según las dimensiones requeridas en específico para el diseño que se desarrolló, incluyendo el trabajo que el personal correspondiente tendría que realizar para el ensamble de la estructura.

VI. CONCLUSIONES

Conforme con la finalidad de la investigación, se logró diseñar la máquina para mejorar la manipulación manual de cargas en los trabajadores del sector de metalmecánica, con un mecanismo similar al de una palanca, de 500kg como capacidad máxima y 6m en longitud, mediante el cumplimiento de cada objetivo:

1. En base a las normas ASME B36.10/19, se determinó que el peso del material que manipulan los trabajadores en el sector de metalmecánica excede al peso límite recomendado (25kg), lo que hizo necesario el desarrollo de un diseño que les permitiera facilitar sus operaciones y mejorar sus condiciones.
2. En la conceptualización del diseño, a través de una matriz de ponderación, se seleccionó la alternativa ideal de diseño a desarrollar, a partir del cual se determinó el equilibrio ideal de las fuerzas mediante el momento del mecanismo para que el operario no aplique un esfuerzo mayor a 245N. Seguido, con apoyo de Autodesk Inventor, se plasmó el diseño, asignándole el material y las dimensiones correspondientes de sus componentes, resultando finalmente, tras el análisis, 5 características técnicas con una idea concreta del diseño.
3. Según el análisis en el software, la estructura del diseño es resistente ante los máximos esfuerzos que sería sometida (500kg), obteniendo conformidad de las características técnicas determinadas anteriormente con un factor de seguridad de 1.57.
4. Se estimó un costo de S/ 950.75 para la fabricación de la máquina, además, el costo podría variar en una ventaja económica, considerando que la empresa o taller tiene la posibilidad de utilizar sus propios recursos disponibles.

VII. RECOMENDACIONES

Al encargado de seguridad de cada empresa de metalmecánica, efectuar un seguimiento minucioso sobre las cargas y las condiciones en que los trabajadores operan.

En futuras investigaciones, realizar un cálculo detallado por cada componente para tener la posibilidad de insertar datos una sola vez en el software en el que se validará el diseño.

A quienes realicen el análisis de un diseño mediante un software, considerar hacer los cambios necesarios para asegurar que el diseño, además de ser estructuralmente aceptable, sea viable en la realidad al ser manipulado por el operario.

A las empresas de metalmecánica, tomar en cuenta el diseño para mejorar la manipulación manual de cargas de sus trabajadores, haciendo un inventario de los materiales que se tengan disponibles para contemplar una ventaja económica. Al obtener el producto final, distribuir el peso mayor de la carga en la parte delantera de la máquina para evitar sobreesfuerzos del operario.

REFERENCIAS

DASSAULT Systèmes. 2002. Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. SOLIDWORKS. [En línea] 2002. <https://www.3ds.com/products-services/solidworks/>.

MINISTERIO de Trabajo y Promoción del Empleo. 2008. Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico. RESOLUCION MINISTERIAL N° 375-2008-TR. Lima, Perú : s.n., 2008.

ALARCÓN Chávez, Jorge Luis y MALES Santos, Freddy Orlando. 2014. Diseño de una máquina perforadora de fundas plásticas para recuperación de aceite vegetal. Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador : s.n., 2014.

AUTODESK Inc. 2009. Autodesk Inventor Professional. LTD, Rusia : Engineering Center, 2009. ISBN: 462A1-000000-MZ01 .

BAEZ Beltrán, Ingrid, y otros. 2018. Product Design Methodology under the structure of Innovation and Creativity. Review study. Caracas, Venezuela : Revista Espacios, 2018. Revista científica. 0798 1015.

BARRAGAN Narro, Rogelio Alfonso. 2012. Dispositivo móvil de elevación electromecánica para personas discapacitadas. México : Instituto Politécnico Nacional, 2012.

BARRIGA Gamarra, Benjamin. 2016. MÉTODOS DE DISEÑO EN INGENIERIA MECANICA. Departamento de Ingeniería Mecánica. Lima, Perú : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016.

BECKER, Jean Paul. 2009. Las Normas ISO 11228 en el Manejo Manual de Cargas. XV CONGRESO INTERNACIONAL DE ERGONOMÍA SEMAC . Mexico : Ingeniería Humana Ergon, S.A, 2009.

BONILLA, Ana. 2003. Guía Básica para la aplicación de las TICs en PYMES. HERRAMIENTAS DE DISEÑO E INGENIERÍA. Zamudio, España : s.n., 2003.

CARRIVICK, P.J., LEE, A.H. y YAU, K.K. 2001. Consultative team to assess manual handling. 2001. 339e344.

CARVAJAL Sarzosa, Pablo Esteban y SOÑA Peñafiel, Rafael. 2008. Diseño de un brazo hidráulico para movilizar carne de cerdo faenada. Escuela Politécnica Nacional. Quito : s.n., 2008. Tesis.

CCAPA Chuctaya, Omar Jhon. 2019. Diseño de una herramienta mecánica para reducir el tiempo de cambio de neumático averiado en camiones volquete en proyectos de movimiento de tierra. Universidad Tecnología del Perú. Arequipa, Perú : s.n., 2019. Tesis profesional.

CERDA Diaz, Eduardo Niels. 2013. Modelo conceptual de proceso de evaluación de factores ergonómicos en tareas con manipulación manual de carga dinámico asimétrica en el sector de la construcción. Cataluña, España. : Universitat Politècnica de Catalunya, 2013. B 5022-2014.

CHASE, R., AQUILANO, N. y JACOBS, R. 2000. Administración de Producción y Operaciones. Colombia : McGraw-Hill, 2000.

CONCEPCIÓN Batiz, et al. 2016. Assessment of postures and manual handling of loads at Southern Brazilian Foundries. Masters and Doctoral Program in Engineering and Knowledge Management, Federal University of Santa Catarina. Joinville, Brazil : s.n., 2016. Tesis doctoral. 0120-6230.

CROSS, Nigel. 2002. ENGINEERING DESIGN METHODS. New York : John Wiley & Sons, Inc., 2002. ISBN: 9681853024.

DE LOS ANGELES Chan Yah, Rossana, INTERIAN Contreras, Cinthia y PERERA Interian, Elisa. 2012. Medición de dimensiones de una muestra de trabajadores en una fabrica de muebles. Guadalajara : Universidad de Guadalajara, 2012.

DIRECCIÓN de transporte. s.f.. MANUAL DE INFORMACIÓN TÉCNICA DE NEUMÁTICOS. Mexico. D.F. : s.n., s.f.

DIRECT Industry. Pipe Tools. [En línea] https://www.directindustry.es/prod/dwt-gmbh/product-70053-1910000.html#product-item_1772443.

DONG, Zuomin . 2008. Modern CAD/CAE/CAM Tools and Their Applications. Department of Mechanical Engineering. Victoria, Canada : University of Victoria, 2008.

ENGINEERING ToolBox. 2003. ASME/ANSI B36.10/19 - Carbon, Alloy and Stainless Steel Pipes - Dimensions - Metric Units. [En línea] 2003. https://www.engineeringtoolbox.com/asme-steel-pipes-sizes-d_42.html.

FEDERACIÓN de enseñanza CC. OO de Andalucía. 2011. Tipos de Esfuerzos Físicos. Andalucía, España. : s.n., 2011. Revista digital para profesionales de la enseñanza. ISSN: 1989-4023.

FELINUX LTDA. Tecni Yale. [En línea] <http://www.tecniyale.com/paginas/porticos>.

FIERRO Izurieta, Carlos. 2000. Diseño de un pórtico rígido reticular a dos aguas para la cubierta de un complejo de canchas de tennis. Washington D. C. EE.UU. : Universidad de Rhode Island, 2000.

FLORES Fernandez, Buenaventura Javier. 1999. Diseño de una herramienta: cuchilla para trabajo en frío. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León . San Nicolas de los Garza, Mexico : s.n., 1999. Tesis profesional. 1020130031.

GABINETE Regional de Seguridad y Salud Laboral. 2003. Real Decreto 487/1997 disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas. España : Hache, 2003. VA-528-2003.

GARCÍA Mellón, Mónica, y otros. 2017. Fundamentos del Diseño en la Ingeniería. Valencia, España : Universitat Politècnica de València, 2017. 978-84-8363-386-1.

REVISTA Gente con Energía. Edición Especial PMRT Proyecto de Modernización Refinería Talara. **Petróleos del Perú - PETROPERÚ S.A. 2014.** 2009-04580, Lima, Perú : Petróleos del Perú, 2014.

GONÇALVES, Mauro. 1998. Variáveis biomecânicas analisadas durante o levantamento manual de carga. Laboratório de Biomecânica, Departamento de Educação Física, IB, UNESP, Rio Claro, SP. Rio claro, Brasil : s.n., 1998. Artículo científico.

VALERO Caballero, Esperanza, RUIZ Ruiz, Laura y VILLAR Fernandez , Felix. 2012. Guía para la selección de ayudas a la manipulación manual de cargas. Madrid, España : Centro Nacional de Nuevas Tecnologías Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2012. 272-12-021-X.

HUAROC Espinoza, Enrique. 2018. Diseño de un puente grúa para el winche de servicios en Mina Yauricocha. Facultad de Ingeniería Mecánica , Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú : s.n., 2018. Tesis profesional.

INSTITUTE of Education Sciences. 2020. Cost Analysis: A Toolkit (IES 2020-001). Department of Education, Institute of Education Sciences. Washington, DC. U.S. : Institute of Education Sciences, 2020.

INSTITUTO Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) . 2016. Herramientas manuales: criterios ergonómicos y de seguridad para su selección. Madrid, España : s.n., 2016. ISBN: 272-16-056-0 .

INSTITUTO Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 2003. Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la manipulación Manual de Cargas. España : s.n., 2003.

INTERNATIONAL Organization for Standardization (ISO). 2003. NORMA ISO PARTE 1 (. International Organization for Standardization (ISO). ISO 11228-1. Ergonomics - Manual handling - Part 1: Lifting. 2003.

JARAMILLO Suárez, Hector Enrique. 2001. Diseño Mecánico por Elementos Infinitos. Cali (Valle), Colombia : Universidad Autónoma de Occidente, 2001.

KENDALL, Kenneth E. y Kendall, Julie E. 1997. Análisis y diseño de sistemas. s.l. : Pearson Educación, 1997. ISBN: 9688806943.

KURNIAWATI, Melati. 2018. The application of vdi 2222 method in the process of designing tools for assembling the four way entry pallet. Institut Teknologi Sumatera. s.l. : Journal of Science and Applicative Technology, 2018. Artículo científico. 2581-0545.

LANDÍN, Pedro. 2011. Máquinas y mecanismos. Sagrado corazón de placeres. California, EE.UU : Pelandintecno-Tecnología ESO, 2011.

LIU, Zhaoyu y ZHENG, Jianong. 2006. 计算机英语(第三版)实用教程 (Practical tutorial of computer English (3th. Ed.). Beijing, China : Tsinghua University Press Ltd., 2006. ISBN: 9787302127062.

MA San Zapata, Jorge F. 2013. Diseño de elementos de máquinas I. Piura, Perú : Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso, 2013. ISBN: 978-84-15774-53-2.

MARTÍNEZ Ribes, David. 2016. Diseño y cálculo de la estructura de una grúa. ESCUELA SUPERIOR DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS EXPERIMENTALES, Universitat Jaume. Castellón de la Plana, España : s.n., 2016. Tesis profesional.

MCDERMOTT, H., y otros. 2012. Investigation of manual handling training practices in organisations and beliefs regarding effectiveness. International Journal of Industrial Ergonomics. Loughborough University. Reino Unido : International Journal of Industrial Ergonomics, 2012. Artículo científico. 01698141.

MINISTERIO de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación. 2007. Nivel secundario para adultos : módulos de enseñanza semipresencial : Física. 1a ed. Buenos Aires, Argentina : s.n., 2007. ISBN 978-950-00-0586-9.

MONTSERRAT Mortinez, Oriol. 2017. Diseño de una grúa torre. Escola d'Enginyeria de Barcelona Est. 712EM. Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya, 2017.

MOTT, Robert L. 2006. Diseo de Elementos de Maquinas - Con 1 CD. México : Pearson Educación, 2006. ISBN: 970-26-0812-0.

MTPE-Dirección General de Promoción del Empleo (DGPE)-Dirección de Investigación Socio Económico Laboral (DISEL). 2020. Resultados de la variación mensual del empleo formal privado nacional a enero 2020. Ministerio del trabajo y promoción del empleo. Lima : s.n., 2020. MTPE - Planilla Electrónica.

MYRON S., Allen. 2013. Morphological Creativity: The Miracle of Your Hidden Brain. Nueva Jersey : CreateSpace Independent Publishing Platform, 2013. ISBN-10: 1438260881.

NATIONAL Institute for Occupational Safety and Health. 1994. Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. s.l. : Department of

Industrial and Systems Engineering, University of Wisconsin-Milwaukee, 1993. N° 7. 749-776.

ORTIZ Bernardin, Alejandro. 2011. Diseño de Elementos Mecánicos. Departamento de Ingeniería Mecánica. Santiago, Chile : Universidad de Chile, 2011.

OUYE, Joe. 2013. Weighted Criteria Matrix. Oakland, USA. : Facility Technics Facility Management, 2013.

PAHL, G. y BEITZ, Dan W. 2010. VDI Guideline 2222, Systematic approach to the development and design of technical system and products. Berlin, Alemania : Verein Deutscher Ingenieure, 2010.

PÉREZ Reyes, Raul. 2018. Sector metalmeccánico registró crecimiento de 6.1% en primer cuatrimestre 2018. Mercados. Victoria, Lima., 2018.

PERPIÑAN Guerra, Adrian A. 2013. Metodología para la evaluación y selección de. Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia : s.n., 2013.

PRICOP, Mihai, ONCICA, Valentin y SCURTU, Ionut Cristian. 2013. FACTOR OF SAFETY IN OFFSHORE STRUCTURES DESIGN ACCORDING TO ENVIRONMENTAL LOADS. Rumania : Mircea cel Batran, Naval Academy Press, 2013. Artículo científico.

PRODUCCIÓN Nacional - Informe Técnico Julio 2019. **INEI Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2019.** Lima : s.n., 2019, Vol. 1.

RODRIGUEZ R., Marilin E. y VARGAS E., Darvin I. 2013. Diseños no experimentales Transeccionales. Barquisimeto, Venezuela : Universidad Yacambú, 2013.

RUTHERAVAN, Maria. 2016. Summary of safety criteria in design. Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Malaysia Pahang (UMP). Pekan, Pahang, Malaysia : Automotive Engineering Research Group (AERG), 2016.

SAMPIERI Hernandez, Roberto, FERNANDEZ Collado, Carlos y BAPTISTA Lucio, Pilar. 2014. Metodología de la Investigación. Mexico, D.F. : Mc Graw-Hill, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.

SAMPLE, Scott. 2000. Analyzing Data Using Excel. Washington, EE.UU. : Microsoft Corporation, 2000.

SENCICO. 2015. NORMA TECNICA DE EDIFICACION E. 090 ESTRUCTURAS METÁLICAS. Perú : s.n., 2015.

SUBSECRETARÍA de Previsión Social. 2018. Guía técnica para la evaluación y control de riesgos asociados al manejo o manipulación manual de carga. Chile : Gobierno de Chile, 2018.

TORRES Búa, Manuel. 2014. Estructuras - Tecnología (s) por proyectos. Salvaterra de Miño, Galicia : Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria, 2014.

UNIVERSIDAD de la rioja. 2015. Manipulación manual de cargas. Servicio de prevención de riesgos laborales. Rioja : s.n., 2015.

US. Department of health an human services. National institute for occupational safety and health. 1994. Applications manual for the revised niosh lifting equation. Springfield, VA. US : U.S Department of commerce technology administration national technical information service, 1994. 94-110.

VEGAS Salazar, Fritz Sayri. 2018. Fabricación de un prototipo de máquina rebanadora de plátano verde para mejorar la productividad del proceso de rebanado. Escuela Profesional de Ingeniería Industrial, Universidad Cesar Vallejo. Piura, Perú : s.n., 2018. Tesis profesional.

ANEXOS

Anexo N°3

Matriz de operacionalización

Variables	Definición Conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala	
Independiente	Manipulación Manual de Cargas	La manipulación manual de cargas es cualquier actividad que requiere el uso de fuerza ejercida por una persona para el levantamiento, colocación, empuje, transporte o sujeción de algo, además estas cargas representan riesgos al ser condiciones ergonómicas inadecuadas para los trabajadores. (Carrivick, 2001).	Se analizó a través de la documentación estandarizada presentada por NIOSH, la Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico RM375 (2008), y la norma ASME B36.10/19 para aceros.	Peso máximo recomendado	De razón
				Peso de la carga manipulada	De razón
Dependiente	Diseño de una máquina	El diseño de una máquina trata de la creación de planos, un proceso en el que se aplican técnicas y principios científicos para determinar un producto con los detalles necesarios para desarrollarlo. (Zapata, 2013).	Se determinó el momento del mecanismo mediante el producto de las fuerza por la distancia.	Momento	De razón
			Se diseñó la máquina a través del software 3D Autodesk Inventor.	N° de características técnicas	De razón
			Se realizó un análisis de esfuerzos a través de una simulación en el software 3D Autodesk Inventor.	Esfuerzo	De razón
			Se estimó el posible costo de fabricación a través de un análisis de costos.	Costo de fabricación	De razón

Elaboración propia.

Anexo N°4

Norma ASME B36.10.

Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe

NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
1/8	0.405	0.049	0.19	...	10	6 (3)	10.3	1.24	0.28
1/8	0.405	0.057	0.21	...	30	6 (3)	10.3	1.45	0.32
1/8	0.405	0.068	0.24	STD	40	6 (3)	10.3	1.73	0.37
1/8	0.405	0.095	0.31	XS	80	6 (3)	10.3	2.41	0.47
1/4	0.540	0.065	0.33	...	10	8 (3)	13.7	1.65	0.49
1/4	0.540	0.073	0.36	...	30	8 (3)	13.7	1.85	0.54
1/4	0.540	0.088	0.43	STD	40	8 (3)	13.7	2.24	0.63
1/4	0.540	0.119	0.54	XS	80	8 (3)	13.7	3.02	0.80
3/8	0.675	0.065	0.42	...	10	10	17.1	1.65	0.63
3/8	0.675	0.073	0.47	...	30	10	17.1	1.85	0.70
3/8	0.675	0.091	0.57	STD	40	10	17.1	2.31	0.84
3/8	0.675	0.126	0.74	XS	80	10	17.1	3.20	1.10
1/2	0.840	0.065	0.54	...	5	15	21.3	1.65	0.80
1/2	0.840	0.083	0.67	...	10	15	21.3	2.11	1.00
1/2	0.840	0.095	0.76	...	30	15	21.3	2.41	1.12
1/2	0.840	0.109	0.85	STD	40	15	21.3	2.77	1.27
1/2	0.840	0.147	1.09	XS	80	15	21.3	3.73	1.62
1/2	0.840	0.188	1.31	...	160	15	21.3	4.78	1.95
1/2	0.840	0.294	1.72	XXS	...	15	21.3	7.47	2.55
3/4	1.050	0.065	0.69	...	5	20	26.7	1.65	1.03
3/4	1.050	0.083	0.86	...	10	20	26.7	2.11	1.28
3/4	1.050	0.095	0.97	...	30	20	26.7	2.41	1.44
3/4	1.050	0.113	1.13	STD	40	20	26.7	2.87	1.69
3/4	1.050	0.154	1.48	XS	80	20	26.7	3.91	2.20
3/4	1.050	0.219	1.95	...	160	20	26.7	5.56	2.90
3/4	1.050	0.308	2.44	XXS	...	20	26.7	7.82	3.64
1	1.315	0.065	0.87	...	5	25	33.4	1.65	1.29
1	1.315	0.109	1.41	...	10	25	33.4	2.77	2.09
1	1.315	0.114	1.46	...	30	25	33.4	2.90	2.18
1	1.315	0.133	1.68	STD	40	25	33.4	3.38	2.50
1	1.315	0.179	2.17	XS	80	25	33.4	4.55	3.24
1	1.315	0.250	2.85	...	160	25	33.4	6.35	4.24
1	1.315	0.358	3.66	XXS	...	25	33.4	9.09	5.45
1 1/4	1.660	0.065	1.11	...	5	32	42.2	1.65	1.65
1 1/4	1.660	0.109	1.81	...	10	32	42.2	2.77	2.69
1 1/4	1.660	0.117	1.93	...	30	32	42.2	2.97	2.87
1 1/4	1.660	0.140	2.27	STD	40	32	42.2	3.56	3.39
1 1/4	1.660	0.191	3.00	XS	80	32	42.2	4.85	4.47
1 1/4	1.660	0.250	3.77	...	160	32	42.2	6.35	5.61
1 1/4	1.660	0.382	5.22	XXS	...	32	42.2	9.70	7.77
1 1/2	1.900	0.065	1.28	...	5	40	48.3	1.65	1.90
1 1/2	1.900	0.109	2.09	...	10	40	48.3	2.77	3.11
1 1/2	1.900	0.125	2.37	...	30	40	48.3	3.18	3.53
1 1/2	1.900	0.145	2.72	STD	40	40	48.3	3.68	4.05
1 1/2	1.900	0.200	3.63	...	...	...	...	...	...
1 1/2	1.900	0.281	4.86	...	...	...	...	...	...
1 1/2	1.900	0.400	6.41	...	...	...	...	...	...

Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe (Cont'd)

NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
2	2.375	0.065	1.61	...	5	50	60.3	1.65	2.39
2	2.375	0.083	2.03	...	...	50	60.3	2.11	3.03
2	2.375	0.109	2.64	...	10	50	60.3	2.77	3.93
2	2.375	0.125	3.01	...	30	50	60.3	3.18	4.48
2	2.375	0.141	3.37	...	...	50	60.3	3.58	5.01
2	2.375	0.154	3.66	STD	40	50	60.3	3.91	5.44
2	2.375	0.172	4.05	...	...	50	60.3	4.37	6.03
2	2.375	0.188	4.40	...	...	50	60.3	4.78	6.54
2	2.375	0.218	5.03	XS	80	50	60.3	5.54	7.48
2	2.375	0.250	5.68	...	...	50	60.3	6.35	8.45
2	2.375	0.281	6.29	...	...	50	60.3	7.14	9.36
2	2.375	0.344	7.47	...	160	50	60.3	8.74	11.11
2	2.375	0.436	9.04	XXS	...	50	60.3	11.07	13.44
2 1/2	2.875	0.083	2.48	...	5	65	73.0	2.11	3.69
2 1/2	2.875	0.109	3.22	...	...	65	73.0	2.77	4.80
2 1/2	2.875	0.120	3.53	...	10	65	73.0	3.05	5.26
2 1/2	2.875	0.125	3.67	...	...	65	73.0	3.18	5.48
2 1/2	2.875	0.141	4.12	...	...	65	73.0	3.58	6.13
2 1/2	2.875	0.156	4.53	...	...	65	73.0	3.96	6.74
2 1/2	2.875	0.172	4.97	...	...	65	73.0	4.37	7.40
2 1/2	2.875	0.188	5.40	...	30	65	73.0	4.78	8.04
2 1/2	2.875	0.203	5.80	STD	40	65	73.0	5.16	8.63
2 1/2	2.875	0.216	6.14	...	...	65	73.0	5.49	9.14
2 1/2	2.875	0.250	7.02	...	...	65	73.0	6.35	10.44
2 1/2	2.875	0.276	7.67	XS	80	65	73.0	7.01	11.41
2 1/2	2.875	0.375	10.02	...	160	65	73.0	9.53	14.92
2 1/2	2.875	0.552	13.71	XXS	...	65	73.0	14.02	20.39
3	3.500	0.083	3.03	...	5	80	88.9	2.11	4.52
3	3.500	0.109	3.95	...	...	80	88.9	2.77	5.88
3	3.500	0.120	4.34	...	10	80	88.9	3.05	6.46
3	3.500	0.125	4.51	...	...	80	88.9	3.18	6.72
3	3.500	0.141	5.06	...	...	80	88.9	3.58	7.53
3	3.500	0.156	5.58	...	...	80	88.9	3.96	8.30
3	3.500	0.172	6.12	...	...	80	88.9	4.37	9.11
3	3.500	0.188	6.66	...	30	80	88.9	4.78	9.92
3	3.500	0.216	7.58	STD	40	80	88.9	5.49	11.29
3	3.500	0.250	8.69	...	...	80	88.9	6.35	12.93
3	3.500	0.281	9.67	...	...	80	88.9	7.14	14.40
3	3.500	0.300	10.26	XS	80	80	88.9	7.62	15.27
3	3.500	0.438	14.34	...	160	80	88.9	11.13	21.35
3	3.500	0.600	18.60	XXS	...	80	88.9	15.24	27.68
3 1/2	4.000	0.083	3.48	...	5	90	101.6	2.11	5.18
3 1/2	4.000	0.109	4.53	...	...	90	101.6	2.77	6.75
3 1/2	4.000	0.120	4.98	...	10	90	101.6	3.05	7.41
3 1/2	4.000	0.125	5.18	...	...	90	101.6	3.18	7.72
3 1/2	4.000	0.141	5.63	...	...	90	101.6	3.58	8.65
3 1/2	4.000	0.156	6.14	...	...	90	101.6	3.96	9.54
3 1/2	4.000	0.172	6.65	...	...	90	101.6	4.37	10.48
3 1/2	4.000	0.188	7.16	...	30	90	101.6	4.78	11.41

Fuente: ASME B36.10: Welded and seamless wrought steel pipe

Anexo N°4

Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe (Cont'd)

NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
3½	4.000	0.226	9.12	STD	40	90	101.6	5.74	13.57
3½	4.000	0.250	10.02	...	...	90	101.6	6.35	14.92
3½	4.000	0.281	11.17	...	...	90	101.6	7.14	16.63
3½	4.000	0.318	12.52	XS	80	90	101.6	8.08	18.64
4	4.500	0.083	3.92	...	5	100	114.3	2.11	5.84
4	4.500	0.109	5.12	...	...	100	114.3	2.77	7.62
4	4.500	0.120	5.62	...	10	100	114.3	3.05	8.37
4	4.500	0.125	5.85	...	...	100	114.3	3.18	8.71
4	4.500	0.141	6.57	...	...	100	114.3	3.58	9.78
4	4.500	0.156	7.24	...	...	100	114.3	3.96	10.78
4	4.500	0.172	7.96	...	...	100	114.3	4.37	11.85
4	4.500	0.188	8.67	...	30	100	114.3	4.78	12.91
4	4.500	0.203	9.32	...	...	100	114.3	5.16	13.89
4	4.500	0.219	10.02	...	...	100	114.3	5.56	14.91
4	4.500	0.237	10.80	STD	40	100	114.3	6.02	16.08
4	4.500	0.250	11.36	...	...	100	114.3	6.35	16.91
4	4.500	0.281	12.67	...	...	100	114.3	7.14	18.87
4	4.500	0.312	13.97	...	...	100	114.3	7.92	20.78
4	4.500	0.337	15.00	XS	80	100	114.3	8.56	22.32
4	4.500	0.438	19.02	...	120	100	114.3	11.13	28.32
4	4.500	0.531	22.53	...	160	100	114.3	13.49	33.54
4	4.500	0.674	27.57	XXS	...	100	114.3	17.12	41.03
5	5.563	0.083	4.86	...	...	125	141.3	2.11	7.24
5	5.563	0.109	6.36	...	5	125	141.3	2.77	9.46
5	5.563	0.125	7.27	...	...	125	141.3	3.18	10.83
5	5.563	0.134	7.78	...	10	125	141.3	3.40	11.56
5	5.563	0.156	9.02	...	...	125	141.3	3.96	13.41
5	5.563	0.188	10.80	...	...	125	141.3	4.78	16.09
5	5.563	0.219	12.51	...	...	125	141.3	5.56	18.61
5	5.563	0.258	14.63	STD	40	125	141.3	6.55	21.77
5	5.563	0.281	15.87	...	...	125	141.3	7.14	23.62
5	5.563	0.312	17.51	...	...	125	141.3	7.92	26.05
5	5.563	0.344	19.19	...	...	125	141.3	8.74	28.57
5	5.563	0.375	20.80	XS	80	125	141.3	9.53	30.97
5	5.563	0.500	27.06	...	120	125	141.3	12.70	40.28
5	5.563	0.625	32.99	...	160	125	141.3	15.88	49.12
5	5.563	0.750	38.59	XXS	...	125	141.3	19.05	57.43
6	6.625	0.083	5.80	...	...	150	168.3	2.11	8.65
6	6.625	0.109	7.59	...	5	150	168.3	2.77	11.31
6	6.625	0.125	8.69	...	...	150	168.3	3.18	12.95
6	6.625	0.134	9.30	...	10	150	168.3	3.40	13.83
6	6.625	0.141	9.77	...	...	150	168.3	3.58	14.54
6	6.625	0.156	10.79	...	...	150	168.3	3.96	16.05
6	6.625	0.172	11.87	...	...	150	168.3	4.37	17.67
6	6.625	0.188	12.94	...	...	150	168.3	4.78	19.28
6	6.625	0.203	13.94	...	...	150	168.3	5.16	20.76
6	6.625	0.219	15.00	...	...	150	168.3	5.56	22.31
6	6.625	0.250	17.04	...	...	150	168.3	6.35	25.36
6	6.625	0.280	18.99	STD	40	150	168.3	7.11	28.26

Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe (Cont'd)

NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
6	6.625	0.312	21.06	...	...	150	168.3	7.92	31.33
6	6.625	0.344	23.10	...	...	150	168.3	8.74	34.39
6	6.625	0.375	25.05	...	...	150	168.3	9.53	37.31
6	6.625	0.432	28.60	XS	80	150	168.3	10.97	42.56
6	6.625	0.500	32.74	...	...	150	168.3	12.70	48.73
6	6.625	0.562	36.43	...	120	150	168.3	14.27	54.21
6	6.625	0.625	40.09	...	...	150	168.3	15.88	59.69
6	6.625	0.719	45.39	...	160	150	168.3	18.26	67.57
6	6.625	0.750	47.10	...	...	150	168.3	19.05	70.12
6	6.625	0.864	53.21	XXS	...	150	168.3	21.95	79.22
6	6.625	0.875	53.78	...	...	150	168.3	22.23	80.08
8	8.625	0.109	9.92	...	5	200	219.1	2.77	14.78
8	8.625	0.125	11.36	...	...	200	219.1	3.18	16.93
8	8.625	0.148	13.41	...	10	200	219.1	3.76	19.97
8	8.625	0.156	14.12	...	...	200	219.1	3.96	21.01
8	8.625	0.188	16.96	...	...	200	219.1	4.78	25.26
8	8.625	0.203	18.28	...	...	200	219.1	5.16	27.22
8	8.625	0.219	19.68	...	...	200	219.1	5.56	29.28
8	8.625	0.250	22.38	...	20	200	219.1	6.35	33.32
8	8.625	0.277	24.72	...	30	200	219.1	7.04	36.82
8	8.625	0.312	27.73	...	...	200	219.1	7.92	41.25
8	8.625	0.322	28.58	STD	40	200	219.1	8.18	42.55
8	8.625	0.344	30.45	...	...	200	219.1	8.74	45.34
8	8.625	0.375	33.07	...	...	200	219.1	9.53	49.25
8	8.625	0.406	35.67	...	60	200	219.1	10.31	53.09
8	8.625	0.438	38.33	...	...	200	219.1	11.13	57.08
8	8.625	0.500	43.43	XS	80	200	219.1	12.70	64.64
8	8.625	0.562	48.44	...	...	200	219.1	14.27	72.08
8	8.625	0.594	51.00	...	100	200	219.1	15.09	75.92
8	8.625	0.625	53.45	...	...	200	219.1	15.88	79.59
8	8.625	0.719	60.77	...	120	200	219.1	18.26	90.44
8	8.625	0.750	63.14	...	...	200	219.1	19.05	93.98
8	8.625	0.812	67.82	...	140	200	219.1	20.62	100.93
8	8.625	0.875	72.49	XXS	...	200	219.1	22.23	107.93
8	8.625	0.906	74.76	...	160	200	219.1	23.01	111.27
8	8.625	1.000	81.51	...	...	200	219.1	25.40	121.33
10	10.750	0.134	15.21	...	5	250	273.0	3.40	22.61
10	10.750	0.156	17.67	...	...	250	273.0	3.96	26.27
10	10.750	0.165	18.67	...	10	250	273.0	4.19	27.78
10	10.750	0.188	21.23	...	...	250	273.0	4.78	31.62
10	10.750	0.203	22.89	...	...	250	273.0	5.16	34.08
10	10.750	0.219	24.65	...	...	250	273.0	5.56	36.67
10	10.750	0.250	28.06	...	20	250	273.0	6.35	41.76
10	10.750	0.279	31.23	...	...	250	273.0	7.09	46.49
10	10.750	0.307	34.27	...	30	250	273.0	7.80	51.01
10	10.750	0.344	38.27	...	...	250	273.0	8.74	56.96
10	10.750	0.365	40.52	STD	40	250	273.0	9.27	60.29
10	10.750	0.438	48.28	...	...	250	273.0	11.13	71.88

Fuente: ASME B36.10: Welded and seamless wrought steel pipe

Anexo N°4

Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe (Cont'd)

NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
10	10.750	0.500	54.79	XS	60	250	273.0	12.70	81.53
10	10.750	0.562	61.21	...	...	250	273.0	14.27	91.05
10	10.750	0.594	64.49	...	80	250	273.0	15.09	95.98
10	10.750	0.625	67.65	...	...	250	273.0	15.88	100.69
10	10.750	0.719	77.10	...	100	250	273.0	18.26	114.71
10	10.750	0.812	86.26	...	...	250	273.0	20.62	128.34
10	10.750	0.844	89.38	...	120	250	273.0	21.44	133.01
10	10.750	0.875	92.37	...	...	250	273.0	22.23	137.48
10	10.750	0.938	98.39	...	...	250	273.0	23.83	146.43
10	10.750	1.000	104.23	XXS	140	250	273.0	25.40	155.10
10	10.750	1.125	115.75	...	160	250	273.0	28.58	172.27
10	10.750	1.250	126.94	...	...	250	273.0	31.75	188.90
12	12.750	0.156	21.00	...	5	300	323.8	3.96	31.24
12	12.750	0.172	23.13	...	...	300	323.8	4.37	34.43
12	12.750	0.180	24.19	...	10	300	323.8	4.57	35.98
12	12.750	0.188	25.25	...	...	300	323.8	4.78	37.61
12	12.750	0.203	27.23	...	...	300	323.8	5.16	40.55
12	12.750	0.219	29.34	...	...	300	323.8	5.56	43.64
12	12.750	0.250	33.41	...	20	300	323.8	6.35	49.71
12	12.750	0.281	37.46	...	...	300	323.8	7.14	55.76
12	12.750	0.312	41.48	...	...	300	323.8	7.92	61.70
12	12.750	0.330	43.81	...	30	300	323.8	8.38	65.19
12	12.750	0.344	45.62	...	...	300	323.8	8.74	67.91
12	12.750	0.375	49.61	STD	...	300	323.8	9.53	73.86
12	12.750	0.406	53.57	...	40	300	323.8	10.31	79.71
12	12.750	0.438	57.65	...	...	300	323.8	11.13	85.82
12	12.750	0.500	65.48	XS	...	300	323.8	12.70	97.44
12	12.750	0.562	73.22	...	60	300	323.8	14.27	108.93
12	12.750	0.625	81.01	...	...	300	323.8	15.88	120.59
12	12.750	0.688	88.71	...	80	300	323.8	17.48	132.05
12	12.750	0.750	96.21	...	...	300	323.8	19.05	143.17
12	12.750	0.812	103.63	...	...	300	323.8	20.62	154.17
12	12.750	0.844	107.42	...	100	300	323.8	21.44	159.87
12	12.750	0.875	111.08	...	...	300	323.8	22.23	165.33
12	12.750	0.938	118.44	...	...	300	323.8	23.83	176.29
12	12.750	1.000	125.61	XXS	120	300	323.8	25.40	186.92
12	12.750	1.062	132.69	...	...	300	323.8	26.97	197.43
12	12.750	1.125	139.81	...	140	300	323.8	28.58	208.08
12	12.750	1.250	153.67	...	...	300	323.8	31.75	228.68
12	12.750	1.312	160.42	...	160	300	323.8	33.32	238.69
14	14.000	0.156	23.09	...	5	350	355.6	3.96	34.34
14	14.000	0.188	27.76	...	...	350	355.6	4.78	41.36
14	14.000	0.203	29.94	...	...	350	355.6	5.16	44.59
14	14.000	0.210	30.96	...	...	350	355.6	5.33	46.04
14	14.000	0.219	32.26	...	...	350	355.6	5.56	48.00
14	14.000	0.250	36.75	...	10	350	355.6	6.35	54.69
14	14.000	0.281	41.21	...	...	350	355.6	7.14	61.36
14	14.000	0.312	45.65	...	20	350	355.6	7.92	67.91

Fuente: ASME B36.10: Welded and seamless wrought steel pipe

Anexo N°5

Norma ASME B36.19.

Table 1 Dimensions of Welded and Seamless Stainless Steel Pipe and Nominal Weights of Steel Pipe, Plain End

NPS	U.S. Customary Units			Schedule No.	SI Units			
	OD, in.	Wall, in.	W_{pes} , lb/ft		DN	OD, mm	Wall, mm	W_{pes} , kg/m
1/8	0.405	...	...	5S	6	10.3	...	...
1/8	0.405	0.049 (1)	0.19	10S	6	10.3	1.24 (1)	0.28
1/8	0.405	0.068	0.24	40S	6	10.3	1.73	0.37
1/8	0.405	0.095	0.31	80S	6	10.3	2.41	0.47
1/4	0.540	...	...	5S	8	13.7	...	...
1/4	0.540	0.065 (1)	0.33	10S	8	13.7	1.65 (1)	0.49
1/4	0.540	0.088	0.43	40S	8	13.7	2.24	0.63
1/4	0.540	0.119	0.54	80S	8	13.7	3.02	0.80
3/8	0.675	...	...	5S	10	17.1	...	...
3/8	0.675	0.065 (1)	0.42	10S	10	17.1	1.65 (1)	0.63
3/8	0.675	0.091	0.57	40S	10	17.1	2.31	0.84
3/8	0.675	0.126	0.74	80S	10	17.1	3.20	1.10
1/2	0.840	0.065 (1)	0.54	5S	15	21.3	1.65 (1)	0.80
1/2	0.840	0.083 (1)	0.67	10S	15	21.3	2.11 (1)	1.00
1/2	0.840	0.109	0.85	40S	15	21.3	2.77	1.27
1/2	0.840	0.147	1.09	80S	15	21.3	3.73	1.62
3/4	1.050	0.065 (1)	0.68	5S	20	26.7	1.65 (1)	1.02
3/4	1.050	0.083 (1)	0.86	10S	20	26.7	2.11 (1)	1.28
3/4	1.050	0.113	1.13	40S	20	26.7	2.87	1.69
3/4	1.050	0.154	1.48	80S	20	26.7	3.91	2.20
1	1.315	0.065 (1)	0.87	5S	25	33.4	1.65 (1)	1.29
1	1.315	0.109 (1)	1.41	10S	25	33.4	2.77 (1)	2.09
1	1.315	0.133	1.68	40S	25	33.4	3.38	2.50
1	1.315	0.179	2.17	80S	25	33.4	4.55	3.24
1 1/4	1.660	0.065 (1)	1.11	5S	32	42.2	1.65 (1)	1.65
1 1/4	1.660	0.109 (1)	1.81	10S	32	42.2	2.77 (1)	2.69
1 1/4	1.660	0.140	2.27	40S	32	42.2	3.56	3.39
1 1/4	1.660	0.191	3.00	80S	32	42.2	4.85	4.47
1 1/2	1.900	0.065 (1)	1.28	5S	40	48.3	1.65 (1)	1.90
1 1/2	1.900	0.109 (1)	2.09	10S	40	48.3	2.77 (1)	3.11
1 1/2	1.900	0.145	2.72	40S	40	48.3	3.68	4.05
1 1/2	1.900	0.200	3.63	80S	40	48.3	5.08	5.41
2	2.375	0.065 (1)	1.61	5S	50	60.3	1.65 (1)	2.39
2	2.375	0.109 (1)	2.64	10S	50	60.3	2.77 (1)	3.93
2	2.375	0.154	3.66	40S	50	60.3	3.91	5.44
2	2.375	0.218	5.03	80S	50	60.3	5.54	7.48
2 1/2	2.875	0.083 (1)	2.48	5S	65	73	2.11 (1)	3.69
2 1/2	2.875	0.120 (1)	3.53	10S	65	73	3.05 (1)	5.26
2 1/2	2.875	0.203	5.80	40S	65	73	5.16	8.63
2 1/2	2.875	0.276	7.67	80S	65	73	7.01	11.41
3	3.500	0.083 (1)	3.03	5S	80	88.9	2.11 (1)	4.52
3	3.500	0.120 (1)	4.34	10S	80			
3	3.500	0.216	7.58	40S	80			
3	3.500	0.300	10.26	80S	80			

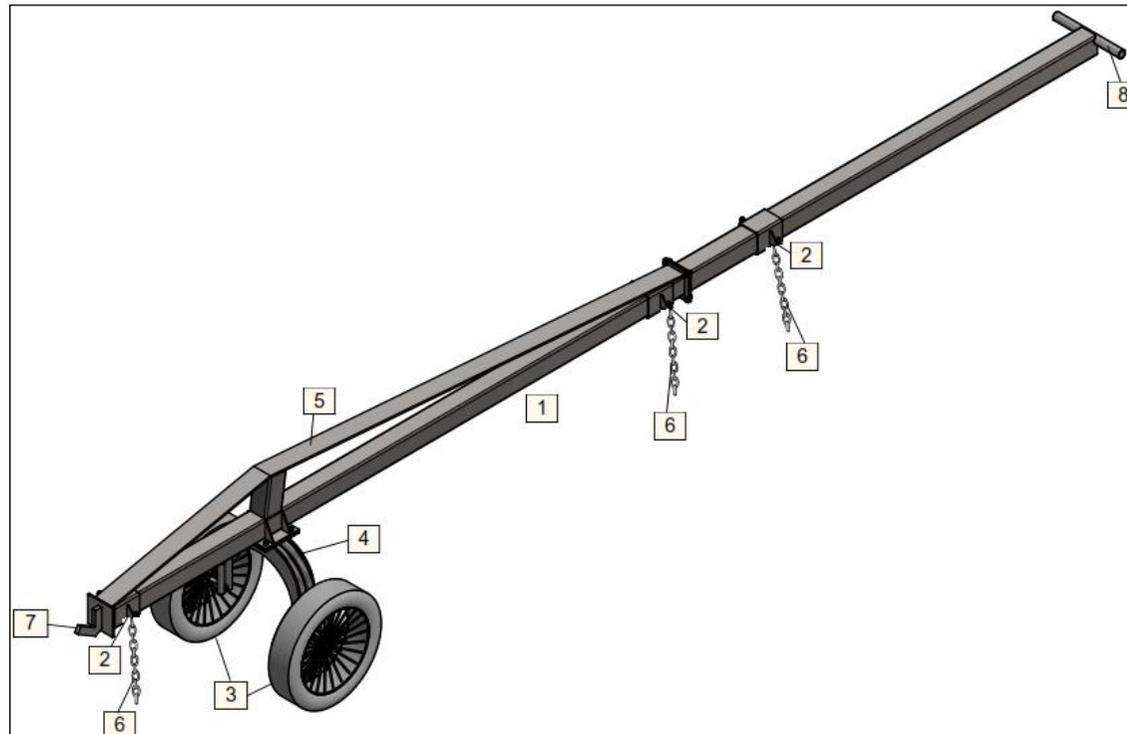
Table 1 Dimensions of Welded and Seamless Stainless Steel Pipe and Nominal Weights of Steel Pipe, Plain End (Cont'd)

NPS	U.S. Customary Units			Schedule No.	SI Units			
	OD, in.	Wall, in.	W_{pes} , lb/ft		DN	OD, mm	Wall, mm	W_{pes} , kg/m
3 1/2	4.000	0.083 (1)	3.48	5S	90	101.6	2.11 (1)	5.18
3 1/2	4.000	0.120 (1)	4.98	10S	90	101.6	3.05 (1)	7.41
3 1/2	4.000	0.226	9.12	40S	90	101.6	5.74	13.57
3 1/2	4.000	0.318	12.52	80S	90	101.6	8.08	18.64
4	4.500	0.083 (1)	3.92	5S	100	114.3	2.11 (1)	5.84
4	4.500	0.120 (1)	5.62	10S	100	114.3	3.05 (1)	8.37
4	4.500	0.237	10.80	40S	100	114.3	6.02	16.08
4	4.500	0.337	15.00	80S	100	114.3	8.56	22.32
5	5.563	0.109 (1)	6.36	5S	125	141.3	2.77 (1)	9.46
5	5.563	0.134 (1)	7.78	10S	125	141.3	3.40 (1)	11.56
5	5.563	0.258	14.63	40S	125	141.3	6.55	21.77
5	5.563	0.375	20.80	80S	125	141.3	9.53	30.97
6	6.625	0.109 (1)	7.59	5S	150	168.3	2.77 (1)	11.31
6	6.625	0.134 (1)	9.30	10S	150	168.3	3.40 (1)	13.83
6	6.625	0.280	18.99	40S	150	168.3	7.11	28.26
6	6.625	0.432	28.60	80S	150	168.3	10.97	42.56
8	8.625	0.109 (1)	9.92	5S	200	219.1	2.77 (1)	14.78
8	8.625	0.148 (1)	13.41	10S	200	219.1	3.76 (1)	19.97
8	8.625	0.322	28.58	40S	200	219.1	8.18	42.55
8	8.625	0.500	43.43	80S	200	219.1	12.70	64.64
10	10.750	0.134 (1)	15.21	5S	250	273.1	3.40 (1)	22.61
10	10.750	0.165 (1)	18.67	10S	250	273.1	4.19 (1)	27.79
10	10.750	0.365	40.52	40S	250	273.1	9.27	60.31
10	10.750	0.500 (2)	54.79	80S	250	273.1	12.70 (2)	81.56
12	12.750	0.156 (1)	21.00	5S	300	323.9	3.96 (1)	31.25
12	12.750	0.180 (1)	24.19	10S	300	323.9	4.57 (1)	35.99
12	12.750	0.375 (2)	49.61	40S	300	323.9	9.53 (2)	73.88
12	12.750	0.500 (2)	65.48	80S	300	323.9	12.70 (2)	97.47
14	14.000	0.156 (1)	23.09	5S	350	355.6	3.96 (1)	34.34
14	14.000	0.188 (1), (2)	27.76	10S	350	355.6	4.78 (1), (2)	41.36
14	14.000	0.375 (2)	54.62	40S	350	355.6	9.53 (2)	81.33
14	14.000	0.500 (2)	72.16	80S	350	355.6	12.70 (2)	107.40
16	16.000	0.165 (1)	27.93	5S	400	406.4	4.19 (1)	41.56
16	16.000	0.188 (1), (2)	31.78	10S	400	406.4	4.78 (1), (2)	47.34
16	16.000	0.375 (2)	62.64	40S	400	406.4	9.53 (2)	93.27
16	16.000	0.500 (2)	82.85	80S	400	406.4	12.70 (2)	123.31
18	18.000	0.165 (1)	31.46	5S	450	457	4.19 (1)	46.79
18	18.000	0.188 (1), (2)	35.80	10S	450	457	4.78 (1), (2)	53.31
18	18.000	0.375 (2)	70.65	40S	450	457	9.53 (2)	...
18	18.000	0.500 (2)	93.54	80S	450	457	12.70 (2)	...
20	20.000	0.188 (1)	39.82	5S	500	508	4.78 (1)	59.32
			46.10	10S	500	508	5.54 (1), (2)	68.65
			78.67	40S	500	508	9.53 (2)	117.15
			104.23	80S	500	508	12.70 (2)	155.13

Fuente: ASME B36.19: Stainless steel pipe

Anexo N°6

Diseño de la máquina: Carrier para manipular tubería



Componentes	
Ítem	Descripción
1	Pieza principal
2	Gancho de carga
3	Neumáticos
4	Soporte de neumáticos
5	Templador
6	Cadena de carga
7	Gancho frontal
8	Manubrio

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°7

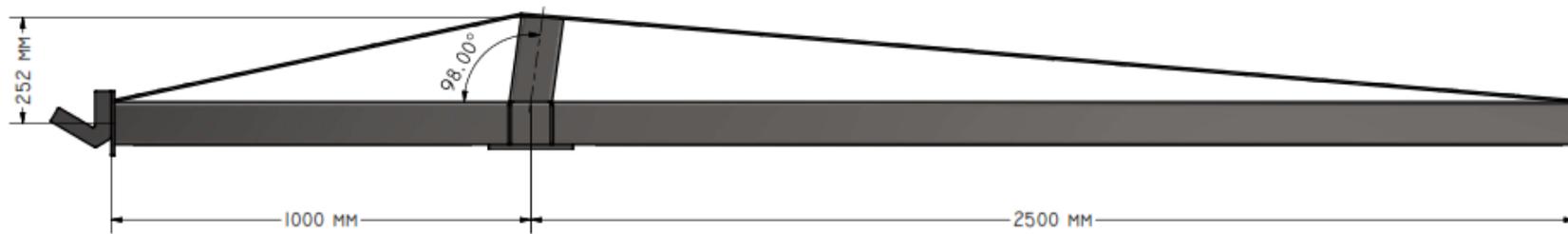
Planos de la máquina (3D/A3)

Elaboración propia.

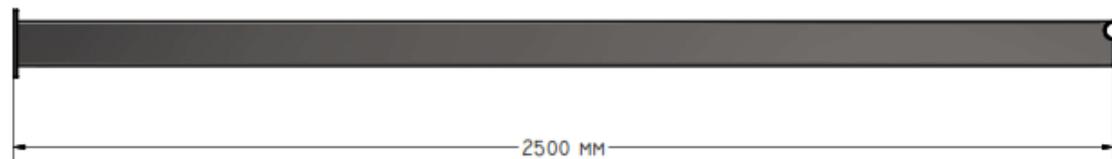
Fuente: elaboración propia, según Autodesk Inventor 3D

Anexo N°7

PIEZA 01 (1 : 10)

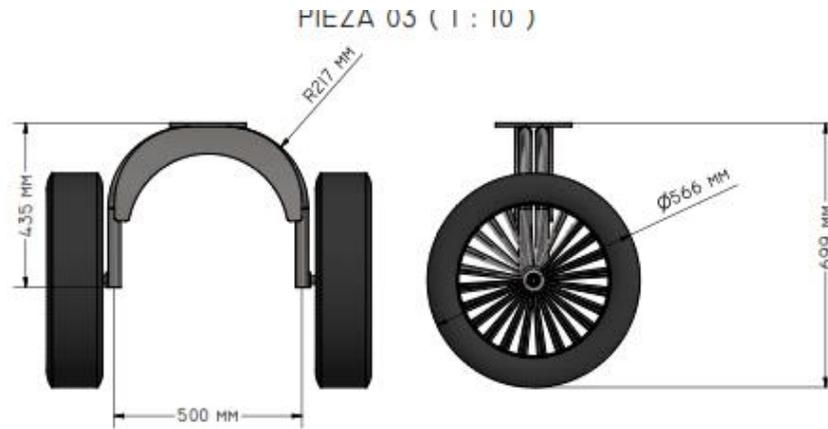


PIEZA 02 (1 : 10)

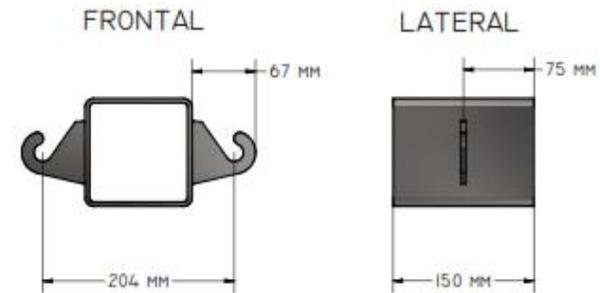
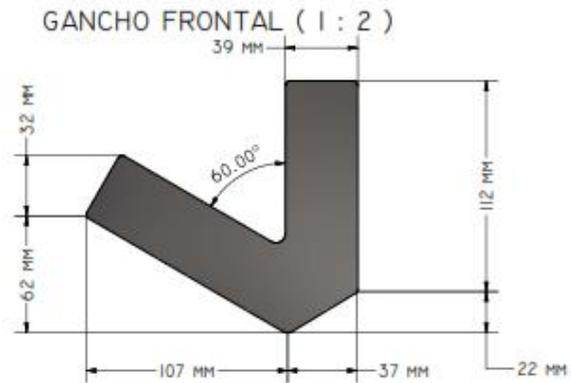


Fuente: elaboración propia, según Autodesk Inventor 3D

Anexo N°7



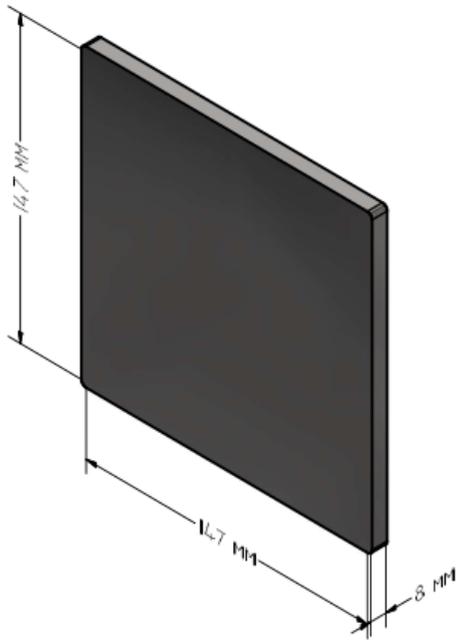
GANCHO DE CARGA
(1 : 4)



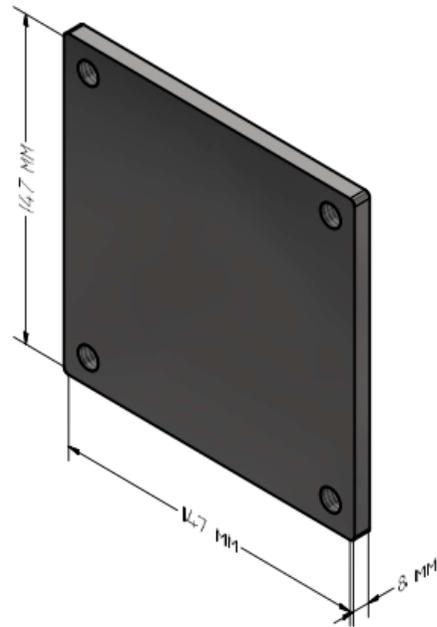
Fuente: elaboración propia, según Autodesk Inventor 3D

Anexo N°7

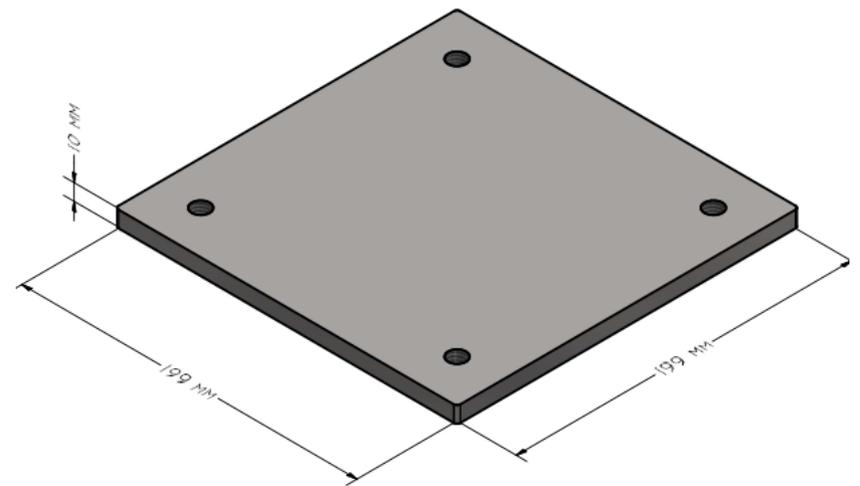
PLACA 01 (1 : 2)



PLACA 02 (1 : 2)



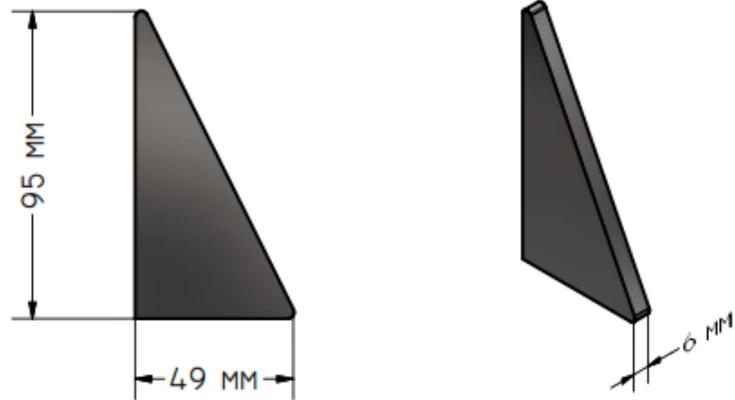
PLACA 03 (1 : 2)



Fuente: elaboración propia, según Autodesk Inventor 3D

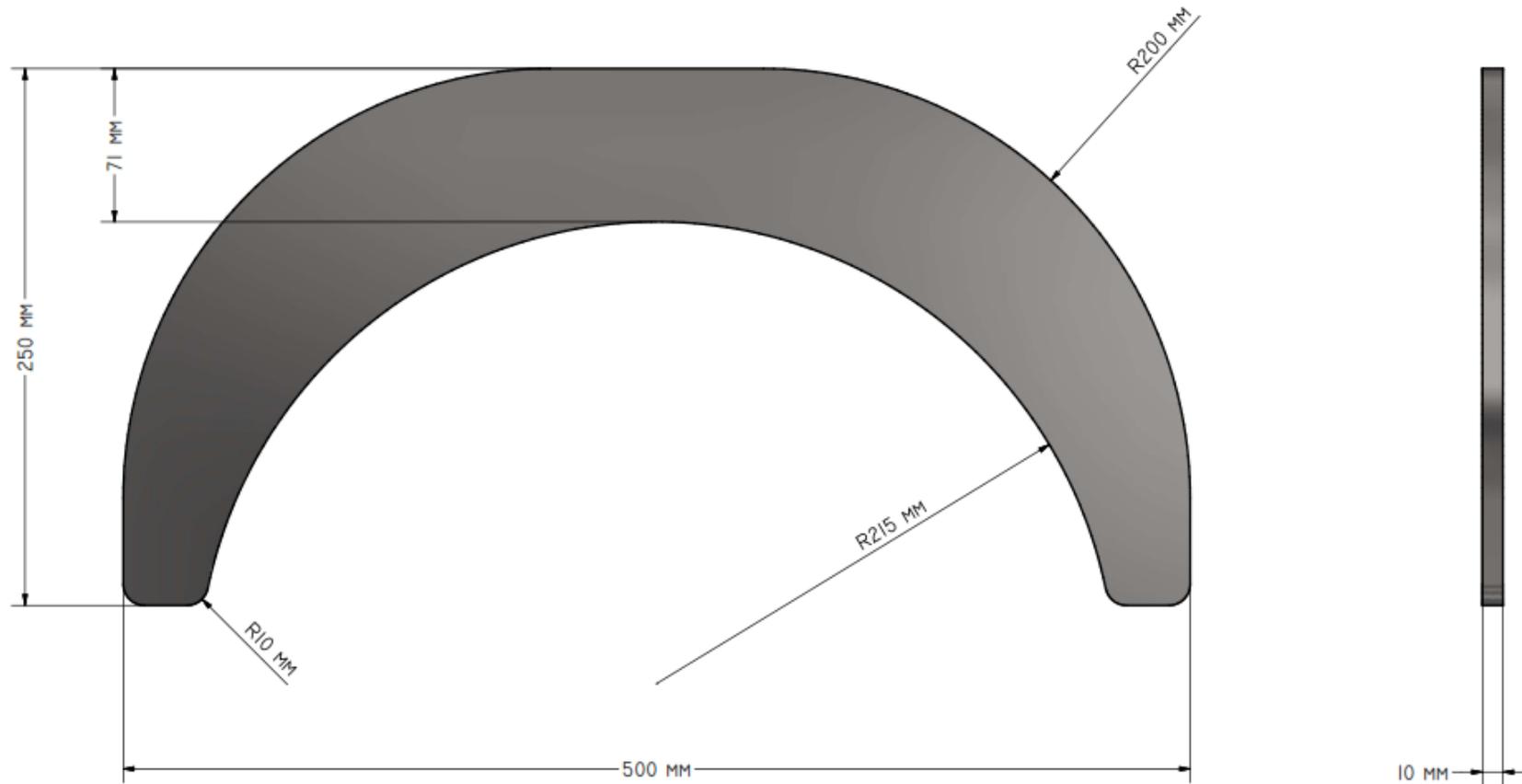
Anexo N°7

PLACA 04 (1 : 2)



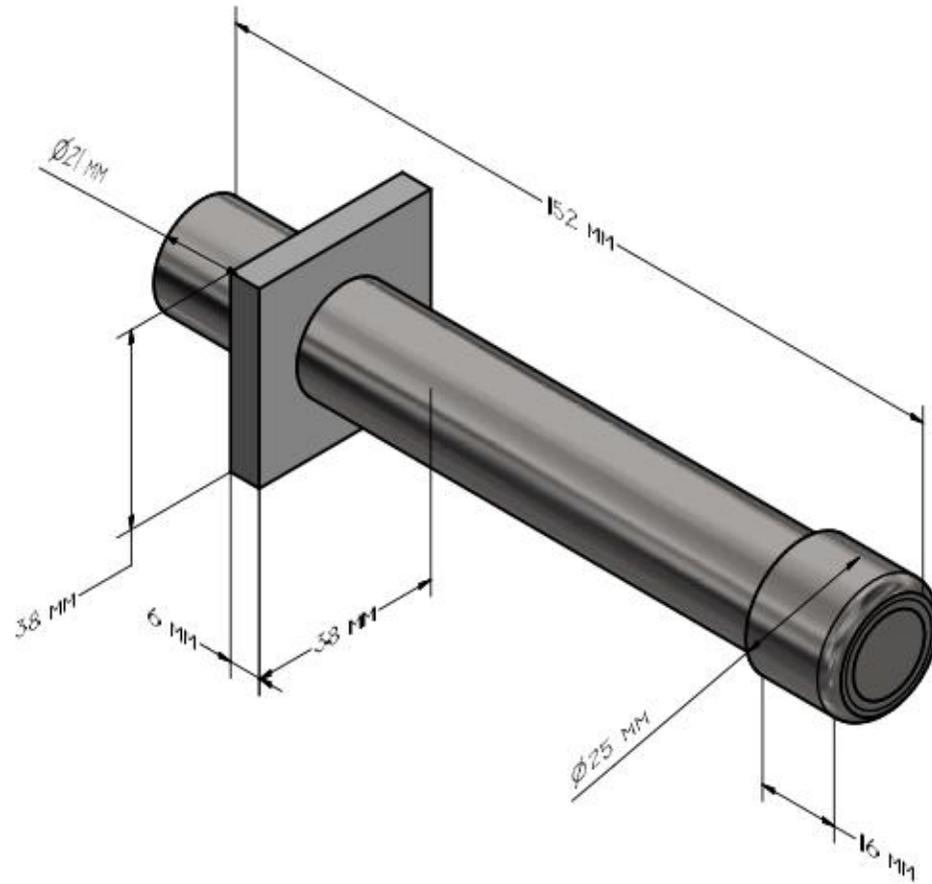
Fuente: elaboración propia, según Autodesk Inventor 3D

PLACA 05 (1 : 2)



Fuente: elaboración propia, según Autodesk Inventor 3D

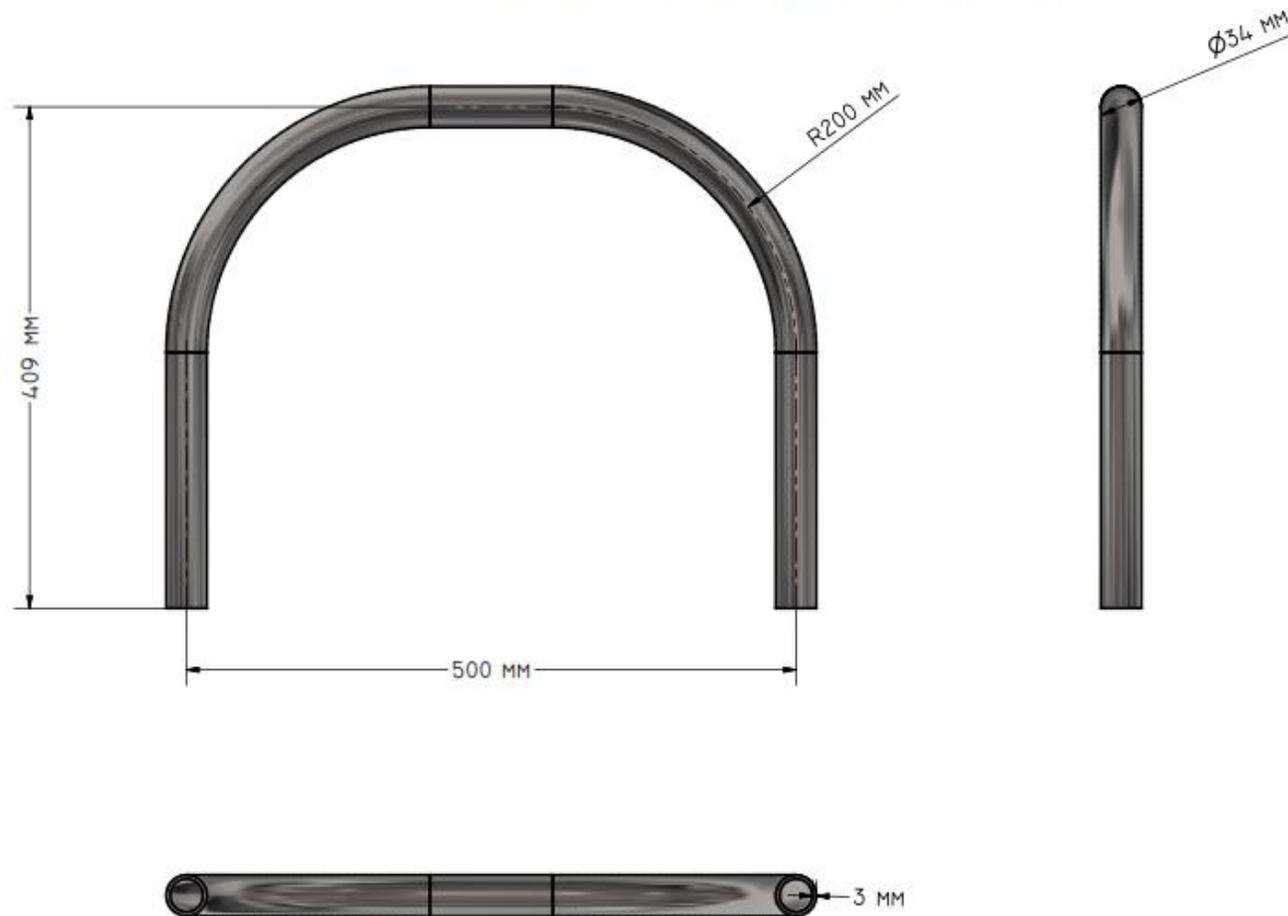
EJE DE NEUMÁTICO (1 : 1)



Fuente: elaboración propia, según Autodesk Inventor 3D

Anexo N°7

SOPORTE DE NEUMÁTICOS (1 : 4)



Anexo N°8

Informe de análisis de esfuerzos de Autodesk Inventor 3D

Elaboración propia con Autodesk Inventor 3D.

Análisis:1

Material(es)

Condiciones de funcionamiento

Gravedad

Tipo de carga	Gravedad
Magnitud	9800.000 mm/s ²
Vector X	0.000 mm/s ²
Vector Y	-9800.000 mm/s ²
Vector Z	0.000 mm/s ²

Anexo N°8

Cara(s) seleccionada(s)



Fuerza:1

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	3458.246 N
Vector X	-0.000 N
Vector Y	-3458.246 N
Vector Z	-0.000 N

Anexo N°8

Cara(s) seleccionada(s)



Fuerza:2

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	720.877 N
Vector X	-0.000 N
Vector Y	-720.877 N
Vector Z	0.000 N

Anexo N°8

Cara(s) seleccionada(s)



Fuerza:3

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	720.877 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	-720.877 N
Vector Z	0.000 N

Anexo N°8

Cara(s) seleccionada(s)



Fuerza:4

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	245.000 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	245.000 N
Vector Z	0.000 N

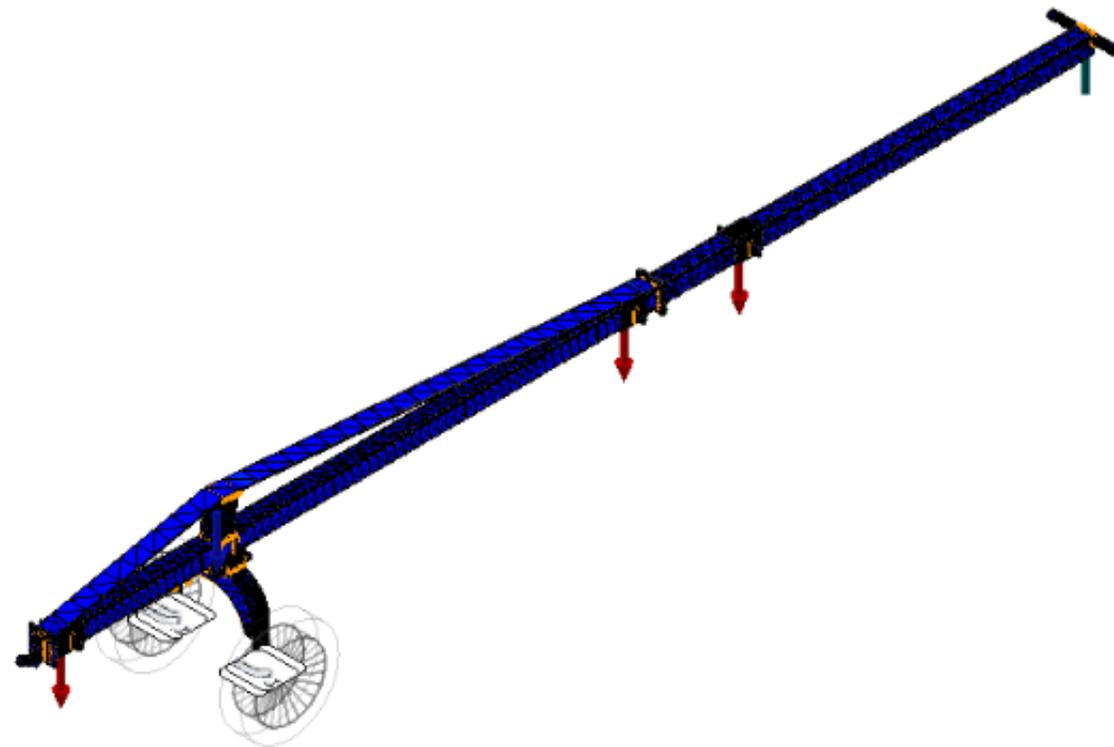
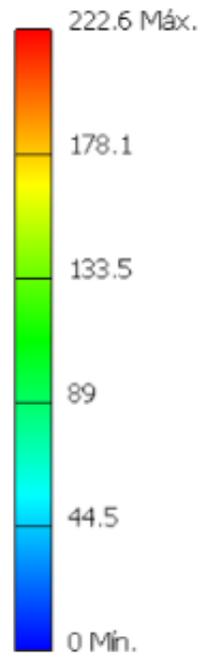
Resultados

Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	0.000546338 MPa	222.577 MPa
Desplazamiento	0 mm	46.9568 mm
Coefficiente de seguridad	1.57249 su	15 su

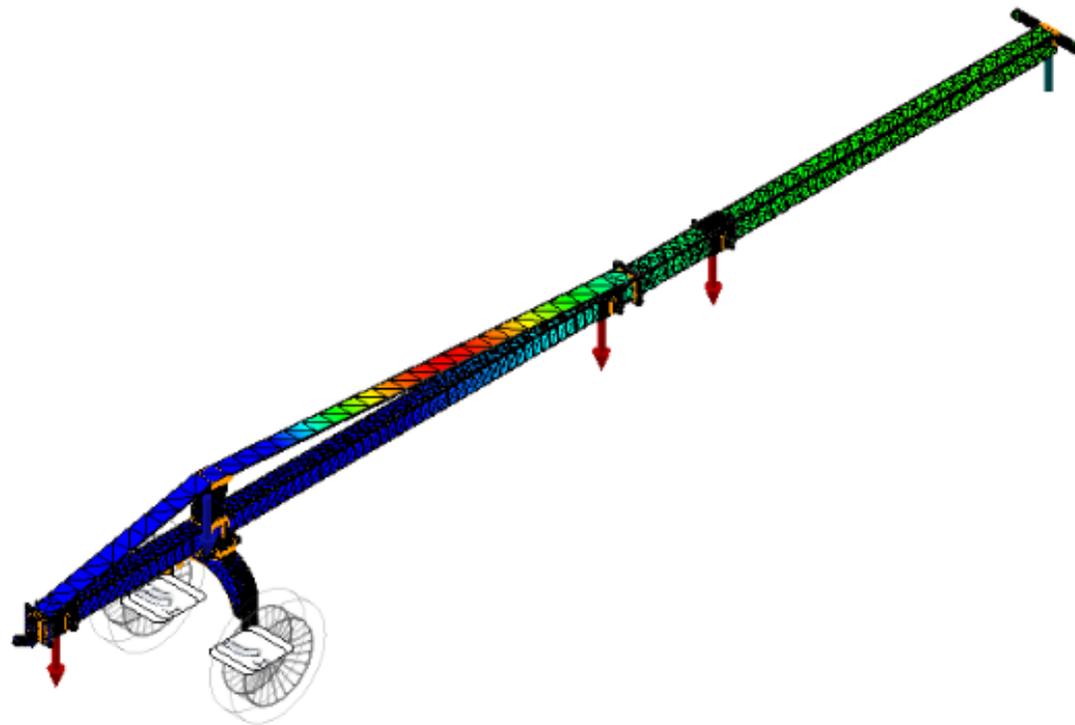
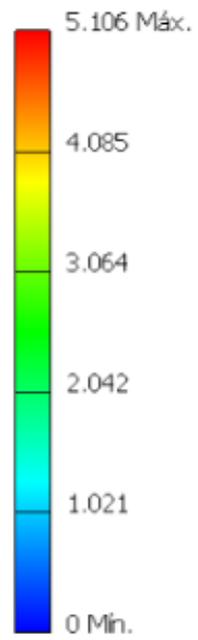
Tensión de Von Mises

Nodos:374996
Elementos:203970
Tipo: Tensión de Von Mises
Unidad: MPa
14/06/2020, 12:24:22



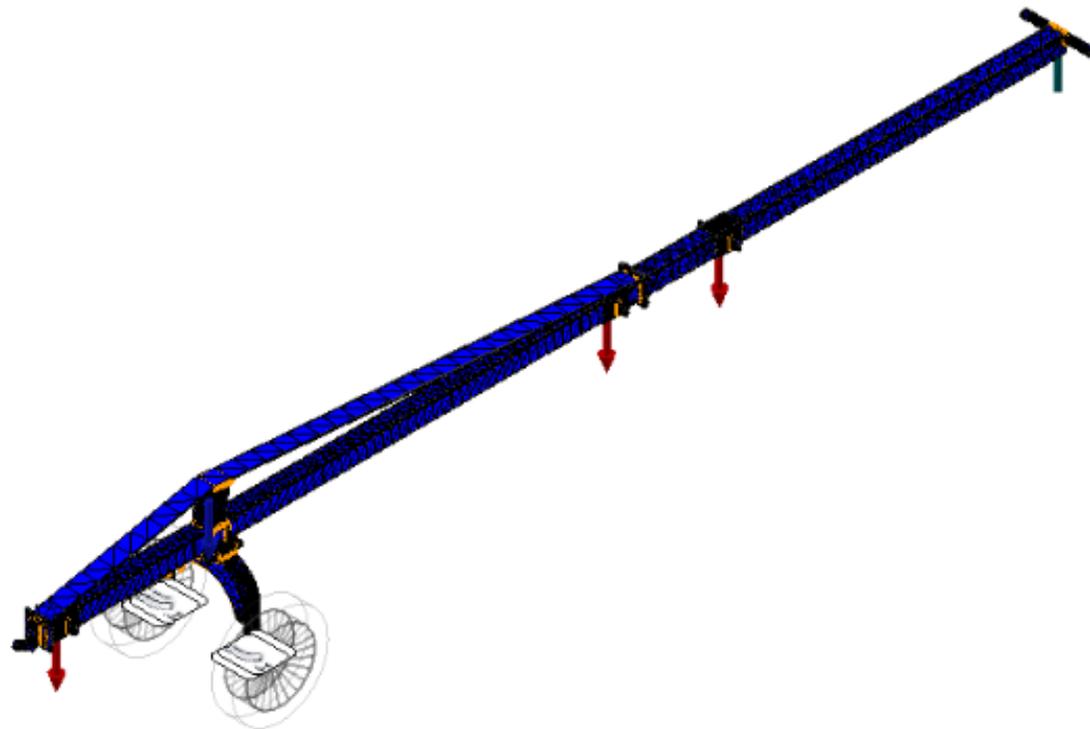
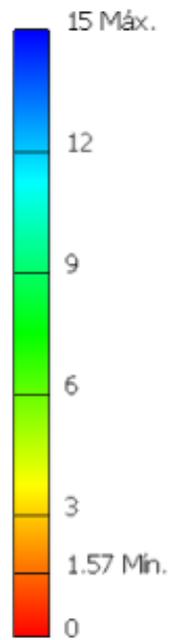
Desplazamiento

Nodos:374996
Elementos:203970
Tipo: Desplazamiento
Unidad: mm
14/06/2020, 12:24:25



Coeficiente de seguridad

Nodos:374996
Elementos:203970
Tipo: Coeficiente de seguridad
Unidad: ul
14/06/2020, 12:24:24



Fuente: Autodesk Inventor 3D, analisis propio.

Anexo N°9

Ficha de análisis costos

Materia prima					
Ítem	Material	Cant.	Unid.	Valor Unit.	Valor total
1	Tubo cuadrado ASTM A36 de 4" x 4" x 3mm	6	m	S/. 137.16 x 6m	S/ 137.16
2	Plancha ASTM A36 de 294mm x 294mm (8mm: espesor)	8.6436	cm ²	S/. 2.10/kg	S/ 11.63
3	Plancha ASTM A36 de 190mmx98mm (6mm: espesor)	1.862	cm ²	S/ 1.89/kg	S/ 1.69
4	Plancha ASTM A36 de 699mmx500mm (10mm: espesor)	34.95	cm ²	S/. 2.89/kg	S/ 80.89
5	Tubo al cuadrado ASTM A500 de 4" x 2mm	30	cm	S/ 90.69 x 6m	S/ 4.53
6	Planchas ASTM A36 de 3700mmx158mm (5mm: espesor)	58.46	cm ²	S/ 1.75/kg	S/ 40.95
7	Pernos ojo con tuerca de acero de ½"	3	unid	USD 0.10/unid	S/ 1.05
8	Neumáticos 110/90 R16 (capacidad de carga: 59 243kg)	2	unid	EUR X/unid	S/ 376.56
9	Tubo roloado de 1 ¼" (3mm: espesor)	2.6	m	S/ 49.49 x 6m	S/ 21.44
10	Cadena comercial recta de ¼"	6	m	S/ 7.90/m	S/ 47.40
11	Plancha ASTM A36 de 146mmx134mm (3/4": espesor)	1.9564	cm ²	S/ 2.45/kg	S/ 7.66
12	Tubo de 1" L:546mm	54.6	cm	S/ 34.09 x 6m	S/ 3.10
	Pernos hexagonales de 3/8"	8	unid	S/ 5.90/unid	S/ 47.20
Mano de obra					
13	Soldadura y corte	4	Horas/ hombre	S/ 42.37/h	S/ 169.49
Costo total			S/ 950.75		

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°10

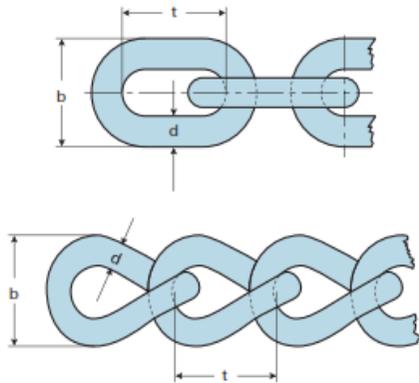
Ecuación de NIOSH Rev. (1994)

$LI = \frac{\text{Load Weight}}{\text{Recommended Weight Limit}} = \frac{L}{RWL}$																										
$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$																										
<p>LC : constante de carga HM : factor de distancia horizontal VM : factor de altura DM : factor de desplazamiento vertical AM : factor de asimetría FM : factor de frecuencia CM : factor de agarre</p>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>Metric</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Load constant</td> <td>LC</td> <td>23Kg</td> </tr> <tr> <td>Horizontal Multiplier</td> <td>HM</td> <td>(25/H)</td> </tr> <tr> <td>Vertical Multiplier</td> <td>VM</td> <td>1-(.003 v-75)</td> </tr> <tr> <td>Distance Multiplier</td> <td>DM</td> <td>.82 + (4.5/D)</td> </tr> <tr> <td>Asymmetric Multiplier</td> <td>AM</td> <td>1-(.0032^a)</td> </tr> <tr> <td>Frequency Multiplier</td> <td>FM</td> <td>Factor indefinido</td> </tr> <tr> <td>Coupling Multiplier</td> <td>CM</td> <td>Factor indefinido</td> </tr> </tbody> </table>			Metric	Load constant	LC	23Kg	Horizontal Multiplier	HM	(25/H)	Vertical Multiplier	VM	1-(.003 v-75)	Distance Multiplier	DM	.82 + (4.5/D)	Asymmetric Multiplier	AM	1-(.0032 ^a)	Frequency Multiplier	FM	Factor indefinido	Coupling Multiplier	CM	Factor indefinido
		Metric																								
Load constant	LC	23Kg																								
Horizontal Multiplier	HM	(25/H)																								
Vertical Multiplier	VM	1-(.003 v-75)																								
Distance Multiplier	DM	.82 + (4.5/D)																								
Asymmetric Multiplier	AM	1-(.0032 ^a)																								
Frequency Multiplier	FM	Factor indefinido																								
Coupling Multiplier	CM	Factor indefinido																								

Fuente: Elaboración propia, según la ecuación de NIOSH.

Anexo N°11

Condiciones estándar de la cadena de carga.



Cadena Comercial (recta y retorcida)										
Diámetro d		Paso t		Ancho Exterior b		Peso.	Coef. seg. crg. trab. máxima		Carga de prueba	Carga de rotura
mm.	inches	mm.	inches	mm.	inches	Kg./m.	4:1 Kg	5:1 Kg	Kg.	Kg.
2	5/64	14	0,551	9	0,354	0,09	-	-	-	-
2,5	7/64	16	0,630	10	0,394	0,12	-	-	-	-
3	1/8	19	0,748	12	0,462	0,17	70	56	140	280
4	5/32	22	0,866	15	0,590	0,30	157	125	314	628
5	3/16	25	0,984	18	0,790	0,46	245	196	490	982
6	7/32	27	1,063	21	0,827	0,70	400	320	800	1.600
7	1/4	28	1,102	25	0,984	0,97	575	460	1.150	2.300
8	5/16	32	1,260	28	1,102	1,26	750	600	1.500	3.000
9	11/32	36	1,417	31	1,220	1,65	950	760	1.900	3.800
10	3/8	40	1,575	34	1,338	1,97	1.175	940	2.350	4.700

Fuente: Cadenas Grado-30, Amenábar.

Anexo N°12

Neumáticos con capacidad de carga validada

Medidas de neumáticos:	<u>110/90 R16</u>
Índice de carga:	59 = hasta 243 kg
Temporada:	 Neumáticos de verano
MPN 81416:	110/90-16 59S
MPN 14491:	110/90-16 59S

DATOS DEL PRODUCTO DE NEUMÁTICOS DE MOTO

Anchura:	110
Altura:	90
Tipo:	-
Diámetro:	16
Índice de carga:	59 = hasta 243 kg

Fuente: Recambioscoches

Anexo N°13

Cotización de Alternativa A y Alternativa B.



OFFER

Terms of delivery FCA DWT Bottrop

Process-No	:	AN 2552503
Cust.code	:	11111
Rep.	:	Manfredo Gusek
Date	:	07.05.2020
Our ref.	:	N.N. Manfredo Gusek
Page	:	1

Inquiry from: Melissa Reyes **Your sign:** MR **Inquiry no:** cricket pipe mac

According to your inquiry we offer you our general terms of business

Pos.	Art-No. Art-Description	No of PCS	PCS	U-Price	Disc %	Total in EUR
1	RG350247 Transporte de tuberías tipo Cricket -diámetro de la tubería máxima = 300 mm -capacidad máxima = 450,00 kg -peso = 36,00 kg	1	PCS	645,00	20,00	516,00
2	RG350248 Carretilla de transporte "Pipe Mac" - transporta tubos hasta 5 m de longitud Tamano básico 111,7x178x83,8 cm Peso: 77.1 kg	1	PCS	970,00	20,00	776,00
	Carried forward					1.292,00

Fuente: DWT-GMBH

Anexo N°14

Ficha de alternativa A

acción de la pa... solo se requiere una pequeña fuerza para levantar las tuberías. Cricket es ideal para transportar material... se entrega... con correa con trinquete y llantas resistentes a pinchaduras. Es simple y cómodo para manejar y con un peso de solo 70 lbs (36 kg) este transportador de tubería es...

DWT
PIPE TOOLS

Search content

Biselado de tubos Cortar y biselar Herramientas para tubos Reparación de bridas FAQ Sobre nosotros Contacto

Transporte de tuberías Cricket

Datos Técnicos: <ul style="list-style-type: none">• Carga máxima: 450 kg• Longitud del tubo máxima: 6,1 m• Ancho máxima: 300 mm• Peso: 36 kg	Ventajas / Características: <ul style="list-style-type: none">• Transporta tramos de tubería de 20 pies (6.1 m) y hasta de 1,000 lb (450 kg)• Viene con cincho de retención de matraca y neumáticos de 16 pulgadas con cámara o a prueba de pinchaduras	Imágenes:  <p>Transportadora de tubería Cricket</p>	Vídeo: 
--	---	--	---

Fuente: DWT-GMBH

Anexo N°15

Ficha de alternativa B

CARRETILLA DE TRANSPORTE / PARA TUBOS / COMPACTA
MAC



Características

- Tipo: de transporte
- Carga: para tubos
- Otras características: compacta
- Carga transportada: 900 kg (1.984 lb)

Descripción

El carro de tuberías Pipe Mac es capaz de transportar tuberías con un peso de hasta 2.000 lb. Las ruedas situadas en el centro facilitan el enrollado del Pipe Mac y permiten una rápida rotación del carro para giros tensos. Para un almacenamiento compacto, los postes son fáciles de tirar.

Traducción automática (ver el original en inglés)

Fuente: DWT-GMBH

Anexo N°16

Ficha de la máquina: Carrier.

Elaboración propia.



MÁQUINA PARA MANIPULAR TUBERÍA: CARRIER

AUTOR: MELISSA REYES GUERRERO

DESCRIPCIÓN: Máquina manual de dos llantas para transportar tubería con un diámetro hasta 18", con una capacidad de carga de 500kg.

MÉTODO DE DISEÑO - CROSS.

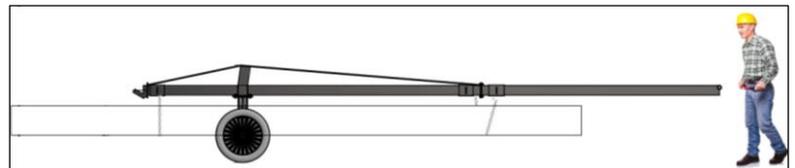
1. Exploración del problema
2. Conceptualización del diseño
3. Evaluación de diseño
4. Comunicación del diseño

RECOMENDACIONES

- a) El operario debe utilizar sus implementos de seguridad en todo momento.
- b) Una buena alternativa para reemplazar las cadenas de carga, son las eslingas.
- c) En la carga y descarga del material se debe utilizar madera para mejor cuidado del material, además de facilitar la actividad.
- d) Se puede manipular tubería de diversos tamaños y pesos, siempre y cuando se respeten los límites de dimensión y capacidad de carga de la máquina.

FUNCIONAMIENTO

- 1) Ubicar la máquina de tal forma que la tubería quede en paralelo con la pieza principal (siempre considerando colocar la mayor proporción del peso).
- 2) Inclinar la parte delantera hacia el suelo de tal forma que la cadena de carga pueda pasar por debajo de la tubería y se coloque la cadena en el primer gancho de carga.
- 3) Inclinar la parte posterior de la máquina y proceder a colocar la segunda cadena en los otros ganchos de carga.
- 4) Posicionar la maquina al estado de equilibrio (horizontal) y transportar la tubería (dirigir la maquina desde el manubrio).
- 5) Para descargar el material, se procede de forma similar empezando por la parte trasera, se baja el manubrio de tal forma que la parte trasera de la carga también toque el suelo, se retira las cadenas. Posterior a ello, se inclina la parte delantera para descargar completamente el material y se retiran las cadenas.
- 6) El gancho frontal puede ser utilizado para colocarlo en el extremo del tubo y levantarlo o moverlo.



Fuente: Elaboración del autor.

Anexo N°17

Matriz de análisis documental

N°	TIPO DE DOCUMENTO	NOMBRE DEL DOCUMENTO	AUTOR	AÑO
1	Planos	Planos en 3D	Autodesk Inventor Inc.	2020
2	Informe de análisis de esfuerzos	Informe de análisis de tensión - AUTODESK	Autodesk Inventor Inc.	2020
3	Norma	Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico.	Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo	2008
4	Registro técnico	Tabla de dimensiones ASME. Tubos de acero al carbono según norma ASME B 36.10. Tubos inoxidables según norma ASME B 36.19. ASME Pipes schedules carbon steel pipes in acc. with ASME B36.10. Stainless steel pipes in acc. with ASME B36.19.	Peninsular Devastagos	2015

Elaboración propia.

Anexo N°18

Constancias de validación



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo, Gabriel Ernesto Borrero Carrasco con DNI N° 03664280. Magister en Administración de Negocios y Relaciones Internacionales, de profesión Ingeniero industrial, desempeñándome actualmente como Docente Asociado en la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad César Vallejo – Filial Piura.

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación los instrumentos:

- a) Registro de ecuación de momento
- b) Matriz de análisis documental
- c) Ficha de análisis de costos

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

Registro de ecuación de momento	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad					X
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

6/5/3

Anexo N°18

Constancias de validación



Matriz de análisis documental	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad					X
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

633-

Ficha de análisis de costos	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad					X
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

Anexo N°18

Constancias de validación



En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de Piura a los 16 días del mes de diciembre del 2019.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'G. Borrero', is positioned above the typed name.

Mgtr. : Gabriel Ernesto Borrero Carrasco
DNI : 03664280
Especialidad : Ingeniero Industrial
CIP : 89222
E-mail : gborrero@ucv.edu.pe

Anexo N°18

Constancias de validación



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo, Carlos Ignacio Gallo Aguila con DNI N° 02792526 Doctor en Ciencias de la Educación, de profesión Ingeniero industrial, desempeñándome actualmente como Docente a tiempo parcial en Escuela e Ingeniería Industrial – UCV Piura.

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación los instrumentos:

- a) Registro de ecuación de momento
- b) Matriz de análisis documental
- c) Ficha de análisis de costos

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

Registro de ecuación de momento	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad					✓
2. Objetividad					✓
3. Actualidad					✓
4. Organización				✓	
5. Suficiencia				✓	
6. Intencionalidad				✓	
7. Consistencia					✓
8. Coherencia					✓
9. Metodología					✓

Anexo N°18

Constancias de validación



Matriz de análisis documental	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad					✓
2. Objetividad					✓
3. Actualidad					✓
4. Organización				✓	
5. Suficiencia				✓	
6. Intencionalidad				✓	
7. Consistencia					✓
8. Coherencia					✓
9. Metodología					✓

Ficha de análisis de costos	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad					✓
2. Objetividad					✓
3. Actualidad					✓
4. Organización				✓	
5. Suficiencia				✓	
6. Intencionalidad					✓
7. Consistencia					✓
8. Coherencia					✓
9. Metodología					✓

Anexo N°18

Constancias de validación



En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de Piura a los 28 días del mes de Julio del 2020.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Gallo', is written over a horizontal dashed line.

Carlos Ignacio Gallo Aguilá
Ingeniero Industrial
Registro CIP. N° 101978

Doctor. : Carlos Ignacio Gallo Aguilá
DNI : 02792526
Especialidad : Ingeniero Industrial
E-mail : cgalloa@gmail.com

Anexo N°18

Constancias de validación



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo, Hugo García Juárez con DNI N° 41947380 Magister en Gerencia de operaciones, de profesión Ingeniero industrial, desempeñándome actualmente como Coordinador de escuela en UCV - Filial Piura.

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación los instrumentos:

- a) Registro de ecuación de momento
- b) Matriz de análisis documental
- c) Ficha de análisis de costos

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

Registro de ecuación de momento	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

Anexo N°18

Constancias de validación



Matriz de análisis documental	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

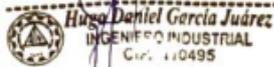
Ficha de análisis de costos	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

Anexo N°18

Constancias de validación



En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de Piura a los 16 días del mes de diciembre del 2019.

Mgtr. : Hugo García Juárez
DNI : 41947380
Especialidad : Ingeniero Industrial
E-mail : hgarcia@ucv.edu.pe