



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Diseño brazo excavador

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A

Rodrigo Valente Olvera Díaz

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Mariano García del Gallego



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

Resumen

En este trabajo se detalla el procedimiento para el diseño y generación de un modelo sólido de un brazo excavador, basado en un conjunto de técnicas para el desarrollo del mismo.

Al inicio, se presentan los antecedentes que dieron origen al presente trabajo, así como un resumen de la necesidad actual que se pretende cubrir.

Posteriormente, se realiza un estudio que consiste en la búsqueda de información sobre los tipos de máquinas excavadoras existentes con la finalidad de tener un panorama de los desarrollos de última tecnología en materia de excavación, que han sido probados en la industria, para poder adaptarlos a la creación de este producto.

Una vez concluida la presentación de la investigación, se realiza una presentación de una secuencia de ideas revisadas, en las cuales se aborda en primera instancia la naturaleza del diseño general, tomando como base un brazo excavador y su función principal que es la disgregación de material.

Tras la revisión de diseños propuestos se realiza un análisis estático de las piezas diseñadas y un análisis de elemento finito para comprobar la factibilidad de las piezas creadas, tomando en consideración las variables de fuerza de excavación, peso total de la estructura y el factor de seguridad.

Por último, se dan fundamentos sobre las decisiones tomadas durante el diseño y se presentan los resultados obtenidos.

ÍNDICE

CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Objetivo principal.....	8
1.2. Objetivo particular	8
1.3. Antecedentes.....	8
1.3.1. Servicio social con aplicación directa a la sociedad	8
1.3.2. Necesidad actual	9
1.3.3. SAE	11
1.3.4. El diseño.....	12
1.3.5. Desarrollo del proyecto	13
CAPÍTULO 2. DISEÑO CONCEPTUAL.....	15
2.1. Estado del arte (máquinas de movimiento de tierras).....	15
2.1.1. Clasificación tractores por elementos de rodaje.....	17
2.1.2. Clasificación de tractores por ambiente de trabajo	21
2.1.3. Otras tecnologías de excavación	24
2.2. NECESIDADES PARTICULARES DEL SERVICIO	27
2.3. MODELOS SÓLIDOS	28
2.3.1. Sistema Modular / Adosable	29
2.3.2. Sistema plegable	31
2.3.3. Sistema desmontable.....	31
2.3.4. Chasis de desplazamiento	33
CAPÍTULO 3 EVALUACIÓN PROPUESTAS	34
3.1. Especificaciones.....	34
3.2. Concepto de cada función.....	36
3.2.1. Mecanismos involucrados.....	37
3.2.2. Componentes brazo excavador.....	38
3.3. Diseño de configuración.....	39
CAPÍTULO 4. Cálculos	43
4.1. Capacidad del cucharón	44
4.2. Modelo de fuerza de excavación y de arranque.....	47
4.3. Fuerzas estáticas.....	50
4.3.1. Análisis estático cucharón.....	50

4.3.2. Análisis estático brazo	54
4.3.3. Análisis estático pluma	58
4.4. Herramientas y recursos de diseño empleados	60
4.4.1. Análisis supuestos	61
4.4.2. Procedimiento FEA en NX (Siemens)	62
4.4.3. Análisis estructural FEA partes del brazo excavador	63
4.5. Criterio y selección de configuración	68
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES	72
5.1. Resultados	72
5.2. Conclusiones	76
CAPÍTULO 6. TRABAJO A FUTURO	77
Bibliografía	78

Agradecimientos

El presente trabajo se lo dedico con mucho cariño a mis padres y hermanos, quienes han sido los motores principales de mis logros personales y profesionales. Quiero expresarles mi total agradecimiento por el apoyo brindado durante todos estos años.

A mis amigos, compañeros y profesores. Todos ellos pilares importantes e irremplazables durante estos 5 años de trayectoria, en el cual me ayudaron a crecer profesional y personalmente.

Por último a la UNAM y a la Facultad de Ingeniería por permitirme realizar uno de mis más grandes sueños.

Índice de Figuras.

1	Figura 2.3.1.1. Modelo sólido (Sistema modular).....	30
2	Figura 2.3.2.1. Modelo sólido (sistema plegable) Creado por el Ing. Carlos Melgarejo.....	31
3:	Figura 2.3.3.1. Modelo sólido (sistema desmontable).....	32
3:	Figura 2.3.3.2. Sistema desmontable (posición cero).....	33
4:	Figura 2.3.4.1. Modelo sólido (chasis de desplazamiento).....	33
5	Figura 3.3.1. Cilindro giratorio piñón-cremallera.....	41
7	Figura 4.1.1. Capacidades “a ras y colmado” del cucharón.....	44
8	Figura 4.1.2. Parámetros del modelo sólido del cucharón.....	45
9:	Figura 4.2.1. Diagrama de fuerza de excavación de giro del cucharón con la norma SAE J1179.....	48
11	Figura 4.2.3. Vista esquemática del brazo excavador.....	51
12	Figura 4.3.1.1. Diagrama de cuerpo libre del cucharón.....	52
13	Figura 4.3.1.2. Diagrama de fuerzas aplicadas en el cucharón.....	53
14	Figura 4.3.2.1. Diagrama de cuerpo libre del brazo.....	55
15	Figura 4.3.2.2. Fuerzas resultantes aplicadas en el brazo.....	57
16	Figura 4.3.3.1. Diagrama de cuerpo libre para la pluma.....	58
17	Figura 4.3.3.2. Diagrama de fuerzas para la pluma.....	59
18	Figura 4.4.3.1. Mallado del cucharón, tamaño elemento 50.5.....	64
19	Figura 4.4.3.2. Fuerzas aplicadas al cucharón.....	64
20	Figura 4.4.3.3. Prueba de desplazamiento del cucharón.....	65
21	Figura 4.4.3.4. Prueba de esfuerzos por cargas aplicadas del cucharón.....	65
22	Figura 4.4.3.5. Prueba de desplazamiento del brazo.....	66
23	Figura 4.4.3.6. Prueba de esfuerzos por cargas aplicadas del brazo.....	67
24	Figura 4.4.3.7. Prueba de desplazamiento de la pluma.....	67
25	Figura 4.4.3.8. Prueba de esfuerzos por cargas aplicadas de la pluma.....	68
26	Figura 5.1. Vista del brazo excavador final.....	72
27	Figura 5.1.1. Rango de trabajo horizontal del brazo excavador.....	74
28	Figura 5.1.2. Rango de trabajo vertical del brazo excavador.....	74
29	Figura 5.1.3. Vehículo excavador con pala en posición de almacenamiento.....	75
30	Figura 5.1.4. Vehículo excavado en posición de trabajo.....	76

Introducción

Debido a las necesidades actuales dentro de nuestro país, se pensó en el diseño de un brazo de bajo peso que sirva como base para la fabricación de un vehículo excavador.

La idea surge a partir de cubrir algunas de las necesidades actuales de construcción en México, en donde no es necesaria la utilización de herramienta y maquinaria pesada, ya que exceden la capacidad para las actividades que son requeridas. Al final, toda esta maquinaria pesada genera grandes costos, que muchas veces no se ven reflejados en la producción final, lo cual hace que la utilización de estas máquinas no sea rentable o accesible para todo el mundo que las necesite.

Por la complejidad de su naturaleza en dimensiones, se pensó en crear un diseño que además de ligero, sea más compacto y que cumpla con los límites mínimos de fuerza otorgada por los diseños existentes en el mercado hoy en día.

Debido a que la supervivencia de un componente mecánico está frecuentemente relacionada a los esfuerzos aplicados, también se abordan estos atributos de manera típica mediante la razón de la tensión generada y el factor de seguridad, realizando simulaciones y análisis de elementos finitos mediante un software de diseño asistido por computadora para la optimización del material a utilizar y la geometría a emplear.

Por último, es importante destacar que se tomaron en consideración las dimensiones de un vehículo todo terreno¹ para la fabricación del brazo, del cual se pretende hacer uso para obtener el vehículo excavador final.

¹ Diseño creado por el Ing. Carlos Melgarejo Oviedo, 2015, "Diseño de chasis de una excavadora", Facultad de Ingeniería UNAM

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo proporciona un panorama del proyecto realizado, abordando temas de diseño y presentando los objetivos principales y particulares del mismo. Además, se detallan los antecedentes base por los cuales fue pensado. Principalmente el de satisfacer una necesidad actual, dentro de nuestro país.

1.1. Objetivo principal

Diseñar un brazo excavador, adaptable a las estructuras de los carros con las características de un vehículo todo terreno (ecuación SAE), cumpliendo con las necesidades particulares del servicio comunitario, el cual es encabezado por el maestro Gabriel Moreno Pecero.

1.2. Objetivo particular

Como objetivo particular se espera que los componentes del brazo y balancín no sobrepasen los 150 kg que refiere a la media de medidas estándar de mini excavadoras que se encuentran actualmente en el mercado.

1.3. Antecedentes

En general, los diseños de los proyectos están justificados por requerimiento del mercado, desarrollo de nueva tecnología, deseo de improvisar un producto existente o en algunos casos como en el presente trabajo el satisfacer una necesidad.

1.3.1. Servicio social con aplicación directa a la sociedad

En este programa de servicio social se realizan diversas actividades, poniendo en práctica los conocimientos adquiridos durante los años de estudio. El mismo está encabezado por el maestro Gabriel Moreno Pecero, catedrático de la División de Ingenierías Civil y Geomática.

Con sus actividades otorgan asesoría ingenieril y cursos de capacitación en distintos municipios marginados de nuestro país. Integrando diversos elementos humanos como son: estudiantes, egresados y profesionistas de distintas áreas, dentro y fuera de la rama de ingeniería, generando grupos multidisciplinarios que fortalecen y conjuntan esfuerzos para un bien general.

Dentro de las tareas realizadas, logran mejorar la calidad de vida de alguna de las comunidades más relegadas de nuestro país, mientras fomentan conciencia de solidaridad con la sociedad a la que pertenecen.

Los participantes planean y desarrollan distintos proyectos, destacando los realizados en Tetela del Volcán, Morelos; Tehuacán, Puebla y Tlapa de Comonfort, Guerrero en donde se realizó la construcción de una escuela primaria bilingüe para una comunidad indígena de la colonia Figueroa.

Participar en el servicio social, desarrolla habilidades como trabajo en equipo, comunicación eficaz y diversas actitudes como son: liderazgo, paciencia, tolerancia, sensibilidad, altruismo y autoestima.

Por otra parte, fomenta valores; entre ellos, la amistad, la generosidad, la lealtad, la alegría, la laboriosidad, la medida, la fe, la esperanza, la solidaridad, la autenticidad, la justicia, la gratitud, la responsabilidad y el respeto.

En general, este servicio comunitario ayuda a la formación de ingenieros de calidad, con valores, actitudes y habilidades que se preocupan por el bienestar y progreso de la mayoría al transformar la naturaleza en beneficio de la humanidad.

El servicio comunitario contribuye a fortalecer la imagen de la UNAM ante la sociedad, enfatizando que el ingeniero egresado y contribuyente dentro del mismo, reconoce que el mayor mérito es el trabajo y que su profesión está comprometida con el servicio de la sociedad mexicana.

1.3.2. Necesidad actual

En México, una gran parte de la población aún habita en condiciones precarias, insalubres y con una calidad de vida deplorable.

Las cifras oficiales de la Comisión Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) muestran que en el 2014, 55.3 millones de personas habitan en condiciones de pobreza en México, quienes representan el 46.2% del total, frente a 52.8 millones en 2010 quienes representaban el 46.1% del total. Mismas personas que padecen por lo menos una carencia, ya sea en salud, educación, vivienda o seguridad social, sin acceso a la alimentación, de los cuales la mayoría pertenecen al sector rural y de origen indígena.

Además, en la mayoría de las comunidades rurales no se cuenta con medios de transporte para medicamentos, víveres o productos, ni con la infraestructura que satisfaga las necesidades básicas de un ser humano.

Debido a estos problemas, es necesaria la promoción de uno de los sectores más importantes en el desarrollo de un país como es el de la construcción, ya que es el encargado de proporcionar algunos de los elementos que ayudan a la generación de empleos y facilita la obtención de productos básicos que se necesitan en una sociedad; como son la construcción de puentes, carreteras, puertos, vías férreas, presas, plantas. Además, éste sector es el encargado de la generación de viviendas, escuelas, hospitales y lugares para el esparcimiento y la recreación, actividades que son necesarias para la vida diaria.

Dentro del arte de la construcción se realizan diversas actividades en donde la realización de excavaciones es fundamental. Por lo cual, es necesario contar con maquinaria especializada en esta labor para poder realizar el trabajo de manera rápida y ahorrar costos por mano de obra.

La incorporación de esta maquinaria provoca una progresiva retirada de la mano de obra de los trabajos más penosos y viene impuesta, en la mayor parte de los casos, por un mejor nivel de vida y por la posibilidad de sustituir en aquellos al hombre por máquinas, llevando consigo el que se confíe al hombre trabajos más

finos y más en consonancia con su capacidad creadora y no con su esfuerzo muscular.

Sin embargo, este desarrollo y sustitución de mano de obra relacionando al ser humano con la parte técnica, se ha venido aliando con el incremento del costo de la misma debido a la suma de nuevos elementos, que la hace en muchos casos prohibitiva como es el caso de las zonas rurales, imposibilitando que dichas zonas cuenten con infraestructura para satisfacer los servicios básicos.

1.3.3. SAE

Como parte de su misión, SAE International organiza competencias a nivel mundial con el objetivo de apoyar la preparación de los mejores ingenieros, a través de competencias estudiantiles que los retan tanto en conocimiento como en habilidades y los vinculan con empresas líderes en el ámbito de la movilidad.

Baja SAE es una competencia intercolegial de diseño automotriz que se originó en la Universidad del Sur de Carolina en 1976 y que desde entonces ha crecido para convertirse en la competencia estudiantil de diseño automotriz más importante de Estados Unidos. En México, la competencia se comenzó a realizar en 1995 y actualmente reúne en cada edición a 50 equipos de las más prestigiadas universidades del país.

En Baja SAE México los alumnos tienen la oportunidad de diseñar, construir y probar un vehículo todo terreno, que tendrá que sobrevivir a las pruebas que se le presentarán a lo largo de las diferentes competencias como: aceleración, maniobrabilidad, ascenso de colina, arrastre y durabilidad. Además los estudiantes deben de demostrar sus habilidades para trabajar en equipo, trabajar bajo presión, exponer sus ideas y generar reportes técnicos de alta calidad.

SAE México está comprometida en generar eventos y competencias que fortalezcan la formación de estudiantes en ingeniería y ciencias interesados en las industrias automotriz y aeronáutica. Las competencias reúnen cada año a 500 de

los mejores estudiantes del país donde se puede acceder cara-a-cara a los futuros ingenieros.

1.3.4. El diseño

A través del tiempo se han realizado diversos diseños y existen varios artículos y productos que trabajan de manera adecuada que se generaron sin tener un conocimiento específico del proceso del mismo.

De acuerdo a Ulrich ² la función de diseño desempeña el papel principal en definir la forma física del producto para que satisfaga mejor las necesidades el cliente.

Por lo anterior, en el presente trabajo se tomó como punto de partida la identificación de una necesidad. A menudo la necesidad no es del todo evidente, el reconocimiento se acciona por una circunstancia adversa particular o por un conjunto de circunstancias aleatorias que se originan de manera simultánea.

Existe una gran diferencia entre la necesidad y la identificación del problema. La identificación del problema es más específica y debe incluir todas las especificaciones del objeto que va a diseñarse. Las especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que el objeto debe ocupar y todas las limitaciones sobre estas cantidades.

Las mismas definen el costo, la cantidad que se va a manufacturar, la vida esperada, el intervalo, la temperatura de operación y la confiabilidad. Los puntos clave para estas especificaciones pueden ser velocidades, avances, limitaciones de peso, el intervalo máximo de radio de giro, limitaciones dimensionales de peso, de carga, etc.

En el presente trabajo el proceso de diseño requirió, además de las especificaciones, un sentido natural de innovación y por lo tanto resultó altamente iterativo. Involucró una lluvia de ideas e infinidad de toma de decisiones en donde fue muy importante considerar la mayor parte de las necesidades y situaciones a

² Quinta edición, Diseño y desarrollo de productos, Karl t. Ulrich/ Steven D. Eppinger, Mc Graw Hill, P.3

cubrir, ya que con base en estas decisiones es como se determinó la forma y configuración final del producto.

Desde un punto de vista personal, el diseño es una actividad de intensa comunicación, en el que es necesario hacer uso tanto de palabras, ecuaciones y diversas imágenes. Por lo anterior, a lo largo del trabajo se hace uso de todas estas herramientas para poder interpretar de una mejor manera cada una de las funciones de cada elemento o sistema propuesto.

1.3.5. Desarrollo del proyecto

La idea de fusionar los proyectos y conjuntar los esfuerzos realizados en SAE junto con el servicio social comunitario, surge al tratar de cubrir y satisfacer las necesidades del servicio para la realización de sus obras dentro de sus proyectos y mejorar la calidad de vida de alguna de las comunidades rurales con las que se trabaja.

Por otra parte, las características específicas de un carro todo terreno como es el que se diseña y construye en Baja SAE sirvieron como pilar para el diseño del chasis en donde se colocará la pala excavadora realizada. Esto principalmente por la ventaja que proporciona un vehículo todo terreno, ya que puede desplazarse en terrenos ásperos o resbaladizos.

Como se mencionó anteriormente la adquisición de una máquina excavadora es costosa y usualmente necesita de financiación o desagradables préstamos adicionales, que nunca se consiguen en buenas condiciones ya sea por la premura del proyecto o los altos costos que esto conlleva. Por lo mismo, se creyó necesario poder otorgar esta excavadora, sin la necesidad de recurrir a estos financiamientos.

Mediante este proyecto la idea es que la adquisición de la máquina no sea de un costo elevado. Para esto se piensa emplear algunos de los elementos existentes y aún funcionales de los carros de baja SAE que se adapten a las necesidades durante la construcción de la máquina excavadora.

Al poder otorgar ésta máquina se planea facilitar y mejorar el tiempo actual de operación de las tareas realizadas por los ingenieros que colaboran dentro del proyecto del ingeniero Moreno Pecero, y ya en conjunto con el chasis, algunas modificaciones al mismo y los elementos del carro todo terreno, otorgar un vehículo que sirva de transporte para las personas que requieran algún tipo de asistencia en donde necesiten trasladarse grandes distancias o para la obtención de productos que los mismos habitantes de la zona o usuarios necesiten sin generar un gasto elevado.

CAPÍTULO 2. DISEÑO CONCEPTUAL

El presente capítulo presenta una pequeña descripción de la maquinaria utilizada para realizar trabajos de excavación mediante diversos métodos. También se presentan distintos modelos que surgieron como ideas base para la realización del diseño final del brazo y las necesidades puntuales que se tienen en el servicio a cargo del maestro Moreno Pecero.

2.1. Estado del arte (máquinas de movimiento de tierras)

Actualmente en el mercado existen máquinas de distintas dimensiones que son ideales para el movimiento de tierras. Estas máquinas realizan funciones tales como: disgregación de material consolidado, realización de zanjas u obras, en las que la complejidad de la misma hace casi imposible la excavación manual o que tomaría años realizarlas por algún ser humano.

Las máquinas más convencionales hoy en día para la realización de estas actividades cargan, elevan, giran y descargan materiales por la acción de un cucharón , fijado a un conjunto formado por una pluma y un brazo o balancín, sin que la estructura portante o chasis se desplace. Su tarea secundaria es la transportación del material excavado en distancias relativamente cortas para depositar o cargar vehículos especiales. Son máquinas utilizadas en todo tipo de excavaciones de suelo en el campo de la ingeniería civil, minería y agricultura.

Su evolución a través del tiempo ha sido tan grande, que algunos fabricantes han diseñado y construido muchos tipos para diferentes necesidades. Dependiendo del país que las fabrique, presentan características particulares, que tienen relación directa con las actividades que la misma máquina vaya a desempeñar, peculiaridades climáticas y topográficas del territorio en donde trabajarán.

Para dar una idea más concreta sobre este tipo de máquinas pondremos como ejemplo el tractor en diferentes partes del mundo.

En Europa, un número considerable usa llantas radiales, en vez de diagonales. Podría decirse que casi todos los tractores que se fabrican están equipados con motores diésel, aún los pequeños. En Estados Unidos todos aquellos tractores en el que su potencia sea menor a 30 kilowatts, cuentan con motores de gasolina.

En Japón, la doble tracción está generalizada, incluso, para tractores muy pequeños. En Estados Unidos, en cambio, la doble tracción se utiliza en tractores de más de 100 [kW] y, además, el tamaño de las ruedas, tanto traseras, como delanteras, es el mismo.



Figura: 2.1.1. Ejemplo tractor en Estados Unidos. Fendt 900 Vario

En el Reino Unido y Europa, existen muchos tractores con doble tracción, pero las llantas delanteras son pequeñas comparadas con las traseras, como se observa en la Figura 2.1.2.



Figura: 2.1.2. Ejemplo tractor en Reino Unido y Europa H100 Ebro

Realmente no existe una clasificación oficial sobre los tipos de tractores. Dependiendo del lugar de donde provengan y de quien vengan es como se realiza la misma.

A continuación, se presentarán 2 criterios para realizar la clasificación de tractores, con la advertencia de que con esta clasificación lo que se quiere dar a entender, es la existencia de una gran variedad de los mismos. Los criterios a consideración son los siguientes:

- Elementos de rodaje.
- Ámbito de trabajo.

2.1.1. Clasificación tractores por elementos de rodaje

De acuerdo a sus elementos de rodaje se pueden clasificar en: tractores sobre orugas, mono eje o cultivador, tractor estándar o de surcos, tractores agrícolas típicos, tractores estrechos y tractores articulados. A continuación se explica brevemente cada uno de ellos.

Tractores sobre orugas: En el pasado este tractor tuvo más importancia para las labores agrícolas de las que hoy tiene. Su uso actual está restringido a zonas fangosas, en las que un tractor de llantas tiene problemas de tracción y de

flotación, es decir, que puede hundirse por la suavidad del suelo. Por ser un tractor menos versátil y tener un costo de operación mayor que el tractor de llantas, es usado para labores muy específicas, como construcción de caminos y limpieza de terrenos. El rango de potencia de estos tractores está entre 20 y 150kw. Las orugas pueden estar construidas de metal o de polímeros muy resistentes. Este tipo de tractores brinda una superior capacidad de tracción – a igualdad de potencia – mayor maniobrabilidad y estabilidad. En lugar de emplear neumáticos para desplazarse emplean una cadena con eslabones y zapatas. Ello les dota de una superior capacidad de tracción -a igualdad de potencia- mayor maniobrabilidad y estabilidad.



Figura 2.1.1.1. Ejemplo Tractor sobre orugas : CATERPILLAR D8T

Poseen un peso adherente, sin embargo son mucho más lentos y debido a las características de su tren de rodaje no pueden desplazarse por caminos pavimentados. Se emplean en trabajos especiales y dentro del ámbito forestal.

Mono eje o cultivador: Es un tractor pequeño con un eje y dos ruedas motrices, operado a mano. Generalmente está operado con un rotador, de allí el nombre de mono-cultor o cultivador rotativo. Su potencia está entre 2 y 13 kW y es usado para la producción en pequeña escala. Es un tractor muy versátil, pues se le pueden acoplar diversos implementos, tales como segadoras para pasto, aspersores (fumigadoras), carretas, sierras para madera, entre otros.



Figura: 2.1.1.2. Ejemplo tractor cultivador

Tractor estándar o de surcos. Es un tractor que no posee acople para implementos a los tres puntos, es decir, que sólo opera con implementos de tiro, acoplados a la barra de tiro. Es por esto por lo que en algunos lugares se le conoce como tractor de tracción y el acople de los implementos puede hacerse con suma rapidez. Su potencia está entre 15 y 50 kW.



Figura 2.1.1.3 Ejemplo tractor estándar

Tractores estrechos o de conducción de patinaje lateral: Tractores de pequeña dimensión para permitir su tránsito por las calles de cultivos leñosos, como frutales o viñas. Tienen la ventaja de que pueden moverse en espacios muy pequeños, debido a sus sistema de giro el cual es similar al de los tractores de orugas; para girar se frenan o se ponen en marcha atrás de las ruedas de uno de los extremos,

dejando libres las del otro extremo, lo que causa un deslizamiento lateral del tractor para colocarse en la posición deseada. En México se conocen como cargadores y su potencia oscila entre 15 a 60 kW.



Figura 2.1.1.4 Ejemplo tractor estándar

Tractores articulados: Tractores de elevada potencia con bastidor no rígido para incrementar su maniobrabilidad. Giran sobre un pin o un pasador, ubicado más o menos en el centro del tractor, es decir, que la dirección no se encuentra en las llantas delanteras. Característicos de grandes explotaciones, y poco frecuentes en México.



Figura 2.1.1.5 Ejemplo tractor articulado Ebro A30

2.1.2. Clasificación de tractores por ambiente de trabajo

Los tractores se utilizan en diversos ámbitos, dentro del ámbito de la construcción se utilizan, generalmente con herramientas adicionales tales como palas mecánicas o brazos como ejemplo tenemos: las palas mecánicas, dragalinas, excavadoras, mini excavadoras y retroexcavadoras.

Palas Mecánicas: Las palas mecánicas son máquinas de movimiento de tierra adecuadas para terrenos de cualquier tipo, incluso duros, margas compactas, conglomerados y para la carga de las rocas extraídas, especialmente en la explotación de canteras.

Dependiendo la función a desempeñar se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Pala cargadora para trabajo normal.
- Pala retroexcavadora para trabajo en pozos y zanjas.
- Pala niveladora para el trabajo de regularización o nivelación.
- Cuchara de almeja para excavaciones en pozo o descarga de materiales.
- Draga Lina para cargar por arrastre.

La dragalina puede también trabajar como grúa o utilizar un dispositivo especial de martinete para la hincada de pilotes, el número de utilidades diferentes que admite es un conjunto de siete.

Excavadora: Máquina autopropulsada sobre ruedas o cadenas con una superestructura capaz de efectuar una rotación de al menos 360°, que excava o carga, eleva, gira, y descarga materiales por la acción de una cuchara fijada a un conjunto de pluma y balancín o brazo, sin que el chasis o la estructura portante se desplace.



Figura 2.1.2.1 Ejemplo dragalina



Figura 2.1.2.1 Ejemplo excavadora convencional

Mini excavadora: Máquina autopropulsada sobre ruedas o sobre cadenas metálicas o de goma, con una superestructura capaz de efectuar una rotación de al menos 360°, que excava o carga, eleva, gira, y descarga materiales por la acción de una cuchara fijada a un conjunto de pluma y balancín o brazo, sin que el chasis o la estructura portante se desplace y con un peso no superior a los 6000 [kg.].



Figura 2.1.2.2 Ejemplo mini excavadora

Retroexcavadora: Máquina autopropulsada sobre ruedas con un bastidor especialmente diseñado que monta a la vez un equipo de carga frontal y otro de excavación trasero de forma que puede ser utilizado alternativamente. Cuando se emplea como excavadora, la maquina excava normalmente por debajo del nivel del suelo mediante un movimiento de cuchara hacia la máquina y eleva, recoge, transporta y descarga materiales mientras la maquina permanece inmóvil. Cuando se emplea como cargadora, carga o excava mediante su desplazamiento y el movimiento de los brazo, y eleva, transporta y descarga materiales.



Figura 2.1.2.3 Ejemplo mini excavadora

Principales proveedores y marcas existentes de tractores y excavadoras alrededor del mundo:

- Badger
- Bell
- Bobcat
- Case
- Caterpillar
- CNH
- Daewoo
- Doosan
- Fiat-Hitachi
- Gehl
- Hyundai
- IHI
- YTO
- Gradall
- Hitachi
- IHI
- JBC
- John Deere
- Jonyang
- Junlian
- Kato
- Kobelco
- Komatsu
- Kubota
- LBX
- Liebherr
- LuiGong
- Mustang
- New Holland
- Pel-Job
- Samsung
- Sumitomo
- Sunward
- Takeuchi
- Tata Hitachi
- Terex
- Thomas
- Vermeer
- Volvo

Adicionalmente, a toda la maquinaria presentada anteriormente, se introducen otras definiciones de tecnologías que ayudan a la disgregación de material pero para distintos volúmenes.

2.1.3. Otras tecnologías de excavación

Excavación por Succión: La excavación por succión es un término general empleado para el método de excavación por aire en vacío usado para remover suelo o piedra, agua u otro material de un lugar en excavación o para el manejo de residuos líquidos. Regularmente, el material removido se deposita en un tanque de desecho para utilizarlo después o rellenar hoyos que hayan sido hechos anteriormente.



Figura 2.1.3.1 Ejemplo excavadora de succión.

Es considerada en algunas ocasiones mejor que la forma convencional de técnicas de excavación como la manual o mecánica.

Puede estar conformada por una boquilla de aspiración que puede tener dos asas que funcionan como elementos de sujeción. El extremo del tubo encargado de succionar la materia puede ser dentado, el cual tiene tres funciones distintas la primera es para la disgregación de la tierra cuando se utiliza para excavar, la segunda la absorción de residuos sueltos y basura y la última para el enganchamiento de elementos y escombros. También algunos productos en el mercado suelen apoyarse de diversos sistemas aunado al de vacío como ayuda para la disgregación del material como son: agua a alta presión o aire comprimido.

Excavación utilizando agua a alta presión: En esta forma de excavación se utiliza agua a presión o aire comprimido para remover el suelo para posteriormente, ser succionado y transportado a un tanque, proporcionando un método no destructivo para colocar elementos y realizar excavaciones precisas en un área determinada.

Como se conoce hoy en día se remonta a la popularidad del petróleo en Canadá y la industria del gas, quienes hicieron uso eficiente de la hidro-excavación para colocar pipas de gas y otros elementos. Se dieron cuenta que utilizar agua caliente era la forma más efectiva para realizar excavaciones por las condiciones

climáticas tan extremistas. Este método causa menos daños en la superficie, disrupciones y otros inconvenientes.

La idea de utilización de estos métodos, además de facilitar la excavación radica en que cada año, se informan numerosos reportes sobre heridas, explosiones y deficientes planes de excavación que golpean instalaciones subterráneas.

Los componentes básicos en este tipo de excavación son: un tanque o cámara de recolección de tierra, lodo o escombros, una manguera de succión o un tubo de vacío, filtro y una bomba. Si el sistema incluye excavación hidráulica, un tanque de agua, bombas y tubos para agua, y herramientas de chorro. Los sistemas de excavación por succión o agua tienen los siguientes componentes: una manguera o un tubo de vacío, una cámara de recolección de tierra, un filtro, una fuente de vacío.

La fuente de vacío se puede realizar de dos formas distintas, mediante un ventilador o una sopladora de desplazamiento positivo:

- Por medio de un ventilador: Este tipo de excavación permite realizar excavaciones de una manera rápida y de una manera fácil de controlar y de operar.
- Sopladora de desplazamiento positivo: Mediante esta forma de excavación se puede remover material a distancias más largas y mayores profundidades pero a un ritmo más lento que un sistema con ventilador.

Muchos de los sistemas están montados o contruidos dentro de camiones o tráileres para proveer un método eficiente de transportación. La excavación por vacío viene en una variedad de tamaños, caudales, y presiones de vacío. Las presiones de vacío típicas oscilan entre $\frac{1}{2}$ bar ($\frac{1}{2}$ atmósfera). Las mangueras usualmente oscilan entre los 7.6 o 10 cm (3 o 4 pulgadas) en diámetro.

La mayoría de las excavaciones por succión son más efectivas usando un sistema con ventilación.

Importantes aplicaciones para este sistema son: limpieza ambiental, recolección de los residuos generados por el proceso de taladrar o llegar a lugares estrechos

en una excavación. , actividades de espeleología que es el estudio de cavidades subterráneas. Dentro la espeleología la excavación es preferible sobre las técnicas de excavación con palas, retroexcavadoras, etc... las cuales causan daños a los bienes dentro de la excavación. Además la excavación por succión permite el acceso a lugares sin ningún riesgo o daño tanto para la zona de trabajo como para los trabajadores u operarios.

Otra ventaja en particular, que presenta este tipo de excavación es que no se necesita transportar el material desde el lugar de excavación ya que se almacena todo este material en la cámara de residuos o de excavación, lo que hace el proceso más eficiente.

2.2. NECESIDADES PARTICULARES DEL SERVICIO

Actualmente las comunidades rurales, con las que se trabajan dentro del servicio comunitario, realizado por los estudiantes a cargo del Ing. Moreno Pecero, carecen de medios de transporte que faciliten la obtención de alimentos básicos, medicinas y servicios básicos.

Adicional, como se mencionó en el capítulo 1.3.2 del presente trabajo, en México existe una necesidad muy grande a cubrir y las comunidades con las que se trabajan, forman parte de esta necesidad.

Por lo cual, les es necesario contar con un medio de transporte que facilite el traslado de personas para que cuenten con acceso a los servicios básicos, de sanidad y asistencia social.

Disponer de un vehículo que reduzca el tiempo de obtención de bienes básicos como son: alimentos, vestimenta y medicinas, haciendo este proceso más seguro y eficiente. Así mismo que el vehículo sea capaz de agilizar el proceso de excavación de zanjas, agujeros, y cimientos que requieran una rápida eliminación del suelo para después depositarlo en camiones o depósitos que ayude a trabajos de jardinería, deforestación , trabajos de demolición de poca potencia y capaz de cargar y colocar tubería.

La máquina además debe ser capaz de excavar por debajo de la superficie natural o el suelo sobre el cual la máquina descansa.

Todo lo anterior con la finalidad de proporcionar mayor infraestructura a las comunidades rurales con las que se trabajan, donde es necesario la realización de limpieza del terreno, la nivelación del mismo, construcción de muros, drenajes, zanjas, colocación de tuberías para proveer a las personas que habitan estas comunidades, escuelas, hospitales y centros de recreación que ayuden a la educación de nuevas generaciones y al mejoramiento de calidad de vida de las presentes y futuras, satisfaciendo la necesidad cultural y otorgando educación.

2.3. MODELOS SÓLIDOS

El proyecto dio pie a la generación de diferentes ideas, explorando en su totalidad el universo de conceptos de productos que se creyó podrían abordar las necesidades del cliente (servicio comunitario) para poder satisfacerlas de la forma más eficiente y económica posible con lo existente hoy en día.

La mayoría de las ideas se realizaron con base en las funciones a desempeñar. Se pensó que la función determina la forma y por lo tanto la forma, determinará la función.

Para crear la representación de las ideas y llevarlas cerca de la realidad, se generaron diversos modelos sólidos, tomándolos como medios para observar la evolución de los mismos, permitiendo distinguir entre las partes internas, partes externas y superficies de cada uno. Por otra parte permitió analizar la complejidad de cada uno de ellos, tomando en consideración las posibles interferencias que podrían suscitarse entre los mismos modelos.

Uno de los retos principales durante esta generación de ideas, fue el poder formar conceptos que facilitaran las actividades de excavación y movimiento de materiales con cohesión relativamente pequeña, sin dejar a un lado la seguridad, resistencia y funcionalidad de la estructura diseñada.

A la vez, se pensó en un diseño que contribuyera a reducir el tiempo de ciclo realizado por el brazo excavador, aumentando la productividad y tratando de que el mismo sea lo más compacto posible para ser capaz de tener mayor movilidad en espacios más pequeños.

La mayoría de las ideas partieron del crear una pala que fuera transportable y portable a la vez, generando 4 diferentes soluciones que se presentan a continuación. Las 3 primeras se clasifican con base en su transformación y la última con base en su portador.

- Sistema modular
- Sistema plegable
- Sistema desmontable.
- Chasis de desplazamiento sobre neumáticos

2.3.1. Sistema Modular/ Adosable

Como su nombre lo dice, el sistema involucra módulos, los cuales son escalables y reutilizables, generando elementos aislados, autónomos y funcionales. El brazo contenedor, en términos generales consta de tres partes principales:

- Un módulo externo (módulo principal)
- Un módulo interno (sub-módulo)
- Pala excavadora Los módulos, tanto el principal como el sub-módulo, están conformados por figuras regulares que se combinan y entrelazan entre sí y a su vez, cada módulo consta de 4 piezas planas, la base y las 3 paredes laterales.

Una característica principal de los módulos es que son deslizables, y en ambos casos, una de sus caras laterales fue eliminada.

La eliminación de una cara lateral para el módulo principal se realizó con la finalidad de ejecutar el ensamble con el módulo interno y en el caso del

submódulo para la extracción de la pala, simulando dos cajones que se complementan entre sí.

La funcionalidad del módulo principal es el almacenamiento del material disgregado por la pala excavadora. Mientras, que el submódulo sirve como pieza de almacenaje para la pala excavadora, cuando no se encuentre en operación. Una de las ventajas de la modulación de esta manera es el ahorro en espacios, la optimización de tiempo de fabricación, reducción de piezas y fácil transportamiento. Por otra parte, permiten impulsar múltiples funcionalidades y su reutilización al generar un nuevo uso diferente para el que fueron fabricados. Además, son simples, adaptables y reutilizables dentro del diseño y desarrollo.

Funcionamiento

Mientras la pala no esté trabajando se coloca dentro del contenedor. Para hacer uso de ella es necesario recorrer las tres paredes del cajón externo dejando un espacio libre para que la pala pueda ser extraída, como se observa en la Figura 2.3.1.1.

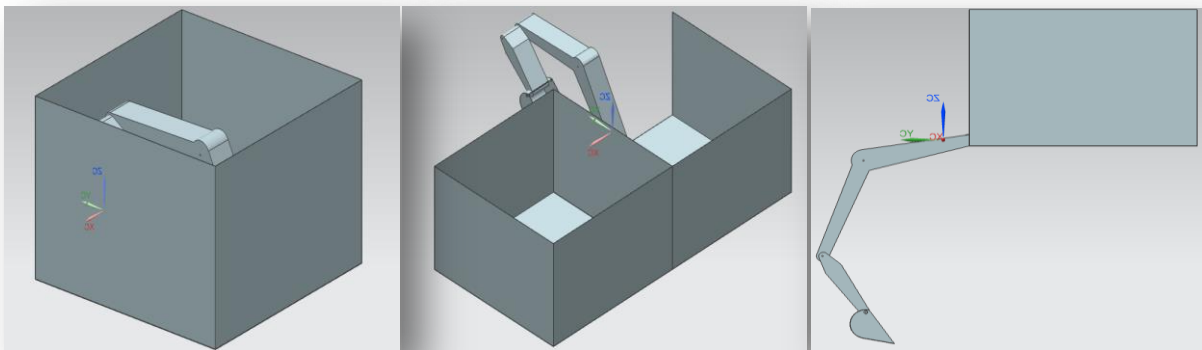


Figura 2.3.1.1. Modelo sólido (Sistema modular).

2.3.2. Sistema plegable

La solución B a diferencia de la solución A involucra un contenedor plegable. El contenedor está acoplado por articulaciones bloqueables por la mitad, colocadas sobre el punto medio permitiendo un libre giro.

El sistema B consta de dos piezas principales:

- El contenedor plegable.
- La pala excavadora.

Funcionamiento

Para hacer uso del contenedor, el mismo se debe girar 180° en dirección vertical para su ensamble y posteriormente se debe bajar sobre la vertical para ser apoyado sobre la base de la pala para después servir como depósito y almacenar el material disgregado.

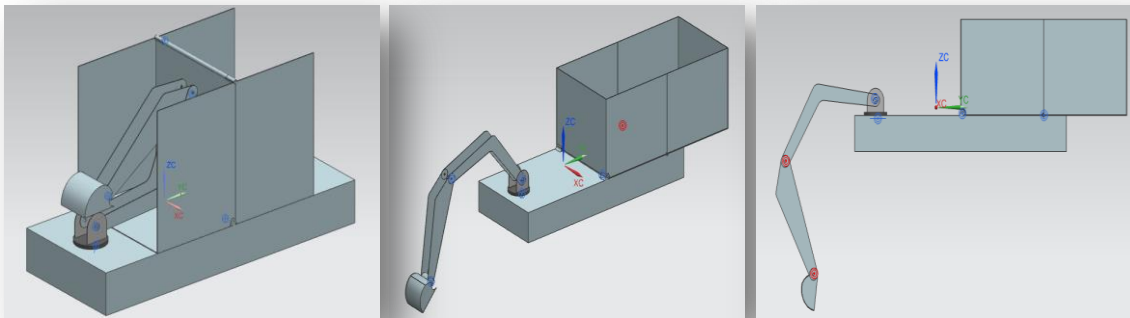


Figura 2.3.2.1. Modelo sólido (sistema plegable) Creado por el Ing. Carlos Melgarejo.

2.3.3. Sistema desmontable

La solución C representa el sistema desmontable, el cual permite colocar la pala a un costado del contenedor sirviendo como apoyo o contrapeso. Se junta con otras

piezas conformando una misma, sin necesidad de uniones. Este sistema hace más sencillo el ciclo de excavación para colocar el material disgregado. Además el proceso de manufactura es más sencillo y su construcción por lo tanto es más económica.

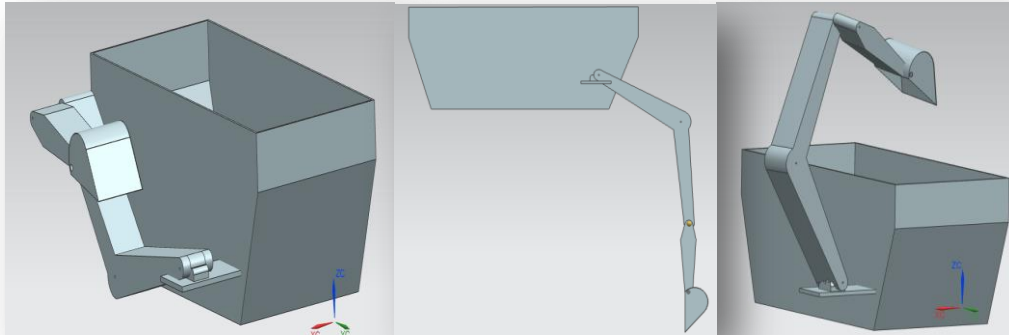


Figura 2.3.3.1. Modelo sólido (sistema desmontable).

En este caso, a diferencia de la plegabilidad o a la armabilidad, el objeto nunca desaparece o aparece en el espacio, si hay un desplazamiento físico y funcional, pero tanto como cuando se adosa o cuando se retira el objeto como tal sigue permaneciendo ahí. La mayoría de las veces su funcionalidad está activa ya que este se mueve o traslada con el fin de unir piezas más pequeñas para conformar un objeto sin la necesidad de algún tipo de unión extra, como en el caso de los objetos armables.

La solución del sistema consta de dos piezas principales:

- El contenedor.
- La pala excavadora

Funcionamiento

La base de la pala tiene un radio de giro de 270 grados, lo que proporciona mayor versatilidad y visibilidad durante el ciclo de excavación. Cuando esté inactiva se coloca en la posición 0 que es a un costado del contenedor doblada para su fácil transportación como se observa en la Figura 2.3.3.2. Adicional, permite realizar la carga de forma frontal, lateral o por detrás con respecto del contenedor y la descarga de forma lateral.

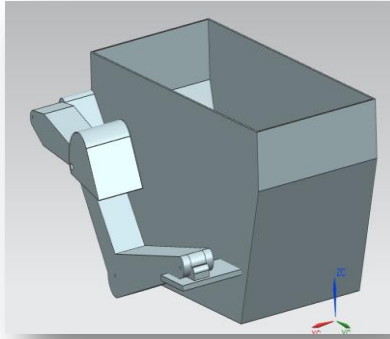


Figura 2.3.3.2. Sistema desmontable (posición cero).

2.3.4. Chasis de desplazamiento

En este concepto la pala se apoya sobre un chasis de desplazamiento montado sobre neumáticos en la parte delantera. Este chasis soporta el mecanismo de excavación constituido por 6 eslabones a diferencia de las palas anteriores que simplemente son 3.

El principio de funcionamiento es realizar la carga por delante para posteriormente ejecutar la descarga en la parte trasera para depositarlo en el contenedor situado en la parte trasera del chasis.

El material excavado se transporta dentro de un cucharón, cuyo contorno se asemeja a una semiesfera, misma que abre en dos cascos donde la primera mitad está provista de dientes que sirven como herramientas para penetrar el material a remover.

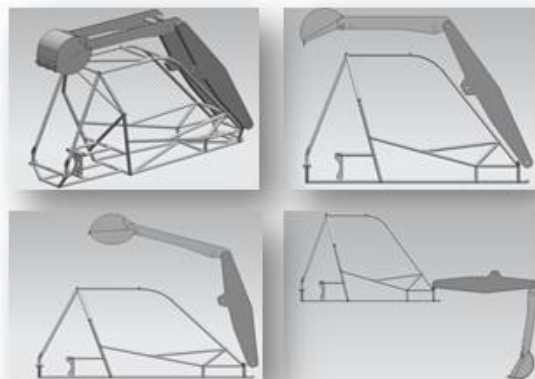


Figura 2.3.4.1. Modelo sólido (chasis de desplazamiento).

El cucharón después de realizar la excavación se cierra para contener el material excavado y la pala excavadora da un giro de 270° para transportarlo, desplazándose por encima del bastidor, al final de la trayectoria llegará el momento en donde el cucharón se abrirá nuevamente y depositará el material excavado.

CAPÍTULO 3 EVALUACIÓN PROPUESTAS

3.1. Especificaciones

Las especificaciones se obtuvieron a partir de identificar de primera mano las necesidades del cliente, en donde se observó que dentro de las labores realizadas por el servicio comunitario presentadas en el capítulo 1.3.1. , era útil contar con una herramienta práctica, ágil, liviana pero a la vez firme e imperecedera que ayudará dentro de sus actividades de construcción en áreas reducidas como son: generación de zanjas , hoyos, transporte y disgregación de material, limpieza de terrenos para esparcimiento en donde se pudieran realizar actividades recreativas y lúdicas con las personas de las comunidades.

Al final ya que todas las necesidades del cliente siempre se expresan generalmente en un “lenguaje del cliente”. No obstante, mientras dichas necesidades son útiles para crear un sentido claro de los problemas que son de interés para el cliente, sirven muy poco para el diseño, ya que dejan demasiado margen para interpretación subjetiva. Por lo cual fue necesario establecer especificaciones con detalles precisos, al menos para la mayoría y medibles con la finalidad de entender lo que el producto, en este caso el brazo excavador, tiene que hacer.

La Tabla 3.1.1. , muestra las necesidades del cliente que se identificaron y la importancia que se le asignó a cada una de ellas para el diseño realizado. El número 1 representa la necesidad con mayor importancia y el 5 con menor.

No.	Necesidad	Importancia
1	Cargar, elevar, girar y descargar materiales	1
2	Excavaciones no tan profundas	2
3	Estabilidad	2
4	Portable	4
5	Larga vida útil	3
6	Ligera en Peso	1
7	Buen diseño	4
8	Estética	5

Tabla 3.1.1. Necesidades del cliente.

Posteriormente se establecieron especificaciones objetivo siguiendo la siguiente metodología:

1. Elaboración de métricas a través de las necesidades del cliente.
2. Recaudación de información de comparaciones con la competencia.
3. Se establecieron valores objetivo ideal y marginalmente aceptable.
4. Se reflexionó en los resultados y el proceso.

Con ésta, se obtuvieron las especificaciones del producto que se deberán entender como la descripción precisa de lo que el producto tiene que hacer. En general, se plantearon especificaciones singulares que consisten primordialmente en asignar una métrica y un valor como se observa en la Tabla 3.1.2.

Con base en la Tabla 3.1.2. , de métricas realizadas se obtuvieron las siguientes especificaciones objetivo, mostradas en la Tabla 3.1.3. Elaboración de la lista de métricas.

No.	No. Necesidad	Métrica	Imp.	Unidades
1	1	radio de giro	4	grados

No.	No. Necesidad	Métrica	Imp.	Unidades
2	1,4	masa a levantar	1	kg
3	1	volumen del contenedor del material	2	m ³
4	2	longitud de excavación	3	m ³
5	3	Subjetiva	3	subjetiva
6	5	Tiempo	5	años
7	3,6	masa total de brazo y pluma	2	kg
8	7	Factor de seguridad	2	-
9	8	Subjetiva	5	Subjetiva

Tabla 3.1.2. Lista de métricas.

3.2. Concepto de cada función

Hoy en día las máquinas de excavación o vehículos, normalmente se pueden considerar como piezas diferentes combinadas en una sola unidad.

Los brazos excavadores, constan generalmente de un sistema de 4 grados de libertad, por cada una de las uniones (unión giratoria, la pluma, el brazo y el cucharón) que permiten una rotación con sus respectivos ejes.

No.	No. Necesidad	Métrica	Imp.	Unidades	Valor Marginal	Valor Ideal
1	1	radio de giro	4	grados	55° izq. y derecha	90° izq. y derecha
2	1,4	masa a levantar	1	Kg	20 [kg]	25[kg]
3	1	volumen del contenedor del material	2	m3	0.02 m3	0.03 m3

No.	No. Necesidad	Métrica	Imp.	Unidades	Valor Marginal	Valor Ideal
4	2	longitud de excavación	3	m3	1400mm	1600mm
5	3	Subjetiva	3	M	fácil de transportar	fácil de transportar
6	5	Tiempo	5	Años	10 [años]	15[años]
7	3,6	masa total de brazo y pluma	2	Kg	150[kg]	120 [kg]
8	7	Factor de seguridad	2	-	0.5	1
9	8	Subjetiva	5	Subjetiva	Estético	estético

Tabla 3.1.3. Lista de especificaciones objetivo.

A continuación, se detallará cada sistema, junto con su función principal, empezando por describir la función de cada mecanismo para después abordar cada elemento que compone un brazo excavador. Cabe destacar que regularmente, cada sistema se puede controlar de manera independiente o de manera simultánea.

3.2.1. Mecanismos involucrados.

El primer mecanismo, es el movimiento de la base de la unión giratoria y se logra su movimiento a través de cilindros de rotación.

El segundo mecanismo es el de rotación de la pluma, que se ejerce su movimiento a través del primer cilindro (actuador 1) que actúa a la pluma, logrando la elevación de la herramienta con respecto al bastidor.

El tercer mecanismo presente es para la rotación del brazo, que se actúa a través del cilindro del brazo (actuador 2).

El cuarto mecanismo presente es para el giro del cucharón (actuador 3). Debido a que una oscilación grande del cucharón es requerida, el mecanismo utiliza una combinación de 4 barras para el mecanismo del mismo.

3.2.2. Componentes brazo excavador.

Un brazo excavador se compone principalmente de una base giratoria, una pluma, un brazo, cucharón y un chasis portante del brazo.

La pluma asiste principalmente en posicionar el cucharón y el brazo para la operación de excavación. La función de la pluma realmente no contribuye directamente en la operación de excavación, sino simplemente al posicionamiento.

El brazo es el segundo eslabón dentro de la herramienta que permite la unión entre la pluma y el cucharón y genera una de las fuerzas principales dentro del proceso de excavación, conocido como FS “Fuerza de entrada del brazo”.

El cucharón es la herramienta fija o móvil y dispuesta en el extremo del brazo móvil para realizar las actividades de excavación. La capacidad del brazo excavador es designada por el tamaño de la cuchara a utilizar, correspondiente a la capacidad volumétrica del mismo cuando se encuentre totalmente lleno. Para el presente trabajo se diseñó un cucharón de capacidad de 0.02 m^3 .

En conjunto, el brazo y el cucharón son las dos partes que contribuyen directamente en la operación de excavación, generando las fuerzas necesarias con ayuda de los actuadores hidráulicos para la disgregación del material.

El chasis, es la estructura portante del brazo excavador, desplazable mediante ruedas neumáticas, permitiendo el desplazamiento hacia la zona de trabajo así como base para la estructura superior.

Por otra parte, los actuadores hidráulicos son los encargados de imprimir el movimiento sobre el material a recoger o levantar a través del brazo excavador y la cuchara. El principio de funcionamiento es sencillo, el aceite a presión ingresa por medio de conductos al cilindro, esta presión por el área del émbolo produce

una fuerza que hace que los vástagos ingresen o salgan según el lado que ingrese o salga el aceite. Todo este sistema debe ser alimentado por una bomba hidráulica la cual es movida por el motor de la excavadora. Se debe contar con válvulas que permitan accionar cada uno de los movimientos del brazo excavador.

La base sirve de apoyo de la pluma y por lo tanto de toda la estructura que conforma el brazo excavador. Permite un movimiento amplio para recoger y descargar. Para el presente diseño es posible su almacenamiento en la parte lateral del vehículo cuando no se encuentre en operación, gracias al segundo eje de movimiento.

3.3. Diseño de configuración.

Un aspecto de suma importancia dentro del diseño, es la configuración o el empaquetamiento del diseño. En este tipo de problema, todos los componentes han sido designados y la pregunta recae en, cómo ensamblarlos para crear un producto final. Esencialmente, este tipo de diseño es similar a construir un juguete o arreglar los muebles de una sala en una casa.

En esta etapa todas las partes ya fueron diseñadas y lo complejo es unir las para un mismo producto.

Las preguntas principales dentro del diseño de configuración son. ¿Cómo ajustamos todos los ensambles en un mismo paquete? ¿En dónde ponemos esto? ¿En dónde ponemos aquello? .Para el diseño de configuración muchos de los diseños se alteran en "tamaño", "forma", "posición" o "función".

El posicionamiento de los pistones hidráulicos y su posición se colocaron con base en las fuerzas requeridas y el ciclo de trabajo del brazo.

El primer cilindro (actuador 1) se pensó colocar en la parte inferior de la pluma con el cilindro en la parte inferior, ya que una vez que el cucharón este cargado, se necesita una fuerza más controlada en el retroceso que al avance, en donde se sólo se utiliza para posicionar el brazo junto con el cucharón, además de las conexiones hidráulicas.

El segundo cilindro (actuador 2) se pensó en colocar en la parte superior por dos razones: el tamaño de la pluma y para poder tener una mayor longitud al excavar y colocar la tierra en cada ciclo. El cilindro se colocó en la parte inferior ya que la fuerza necesaria del cilindro no es tan grande como la que se debe aplicar dentro del cucharón para poder compararse con los modelos dentro del mercado.

El tercer cilindro (actuador 3) se pensó en colocar en la parte superior del brazo para evitar problemas y maltrato del cilindro durante su uso. El cilindro se colocó en la parte superior ya que se consideró necesaria mayor fuerza al momento de penetrar el suelo y poder competir con las fuerzas generadas de los modelos en el mercado.

La pala excavadora se pensó en colocar en la parte frontal cuando se esté operando, para que el usuario tenga mayor visibilidad al realizar las actividades.

Por otra parte, cuando la pala no esté en uso, se podrá colocar a un costado del vehículo otorgando perfecta visibilidad al conductor del vehículo, además de balancear el centro de masa cuando el carro se encuentre a velocidades mayores.

El material propuesto para la fabricación de las piezas es Acero AISI 1005 debido a sus excelentes propiedades mecánicas y características como son un severo doblado para la fabricación de placas, resistencia a la corrosión, tenacidad y buena soldabilidad. Este tipo de acero se utiliza en piezas donde la tenacidad es importante. Las simulaciones de tensión se realizaron con este material.

Para los cilindros hidráulicos de los actuadores 1, 2 y 3 [Figura 4.2.1], se proponen cilindros hidráulicos de doble efecto, de la serie AX-200 permitiendo realizar el trabajo en ambas direcciones, aplicando presión en ambas caras del émbolo, principalmente por la increíble potencia que ofrecen, multiplicación de fuerza en dispositivos pequeños, regulación de fuerza de manera continua, capacidad de sobrecarga y total parada, flexibilidad, elementos reversibles, simplicidad de piezas.

Para la base giratoria se propone utilizar un cilindro giratorio de pistón-cremallera-piñón en el que el movimiento lineal del pistón es transformado en un movimiento

giratorio mediante el conjunto del piñón-cremallera y un cilindro de aletas giratorias de doble efecto. Con el mismo se tendría cobertura para ángulos de 0° y 270°, como se muestra en la Figura 3.3.1.

Para la base de la pluma se propone un mecanismo que se active de manera manual.

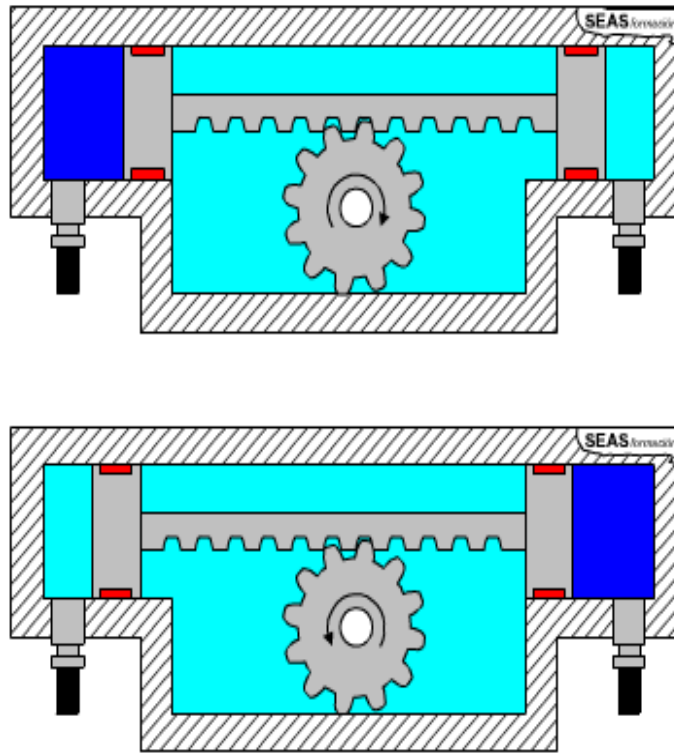


Figura 3.3.1. Cilindro giratorio piñón-cremallera.

A continuación, se detalla a través de la Tabla 3.3.1. , las piezas que conforman el brazo excavador y una vista explosionada en donde se aprecia cada uno de los elementos y la forma correcta del ensamblaje.

No. de pieza	Designación	Cantidad
1	Base giratoria	1
2	Pluma	1
3	Brazo	1
4	Cucharón	1
5	Buje 25X210	5
6	Buje 25X290	1
7	Buje 25X212	1
8	Buje 25X80	3
9	Buje 25X170	1
10	Buje 50X220	1
11	Barra cucharón	4
12	Cilindros hidráulicos	3
13	Buje 30X170	1
14	Base pala	1

Tabla 3.3.1. Piezas brazo excavador.

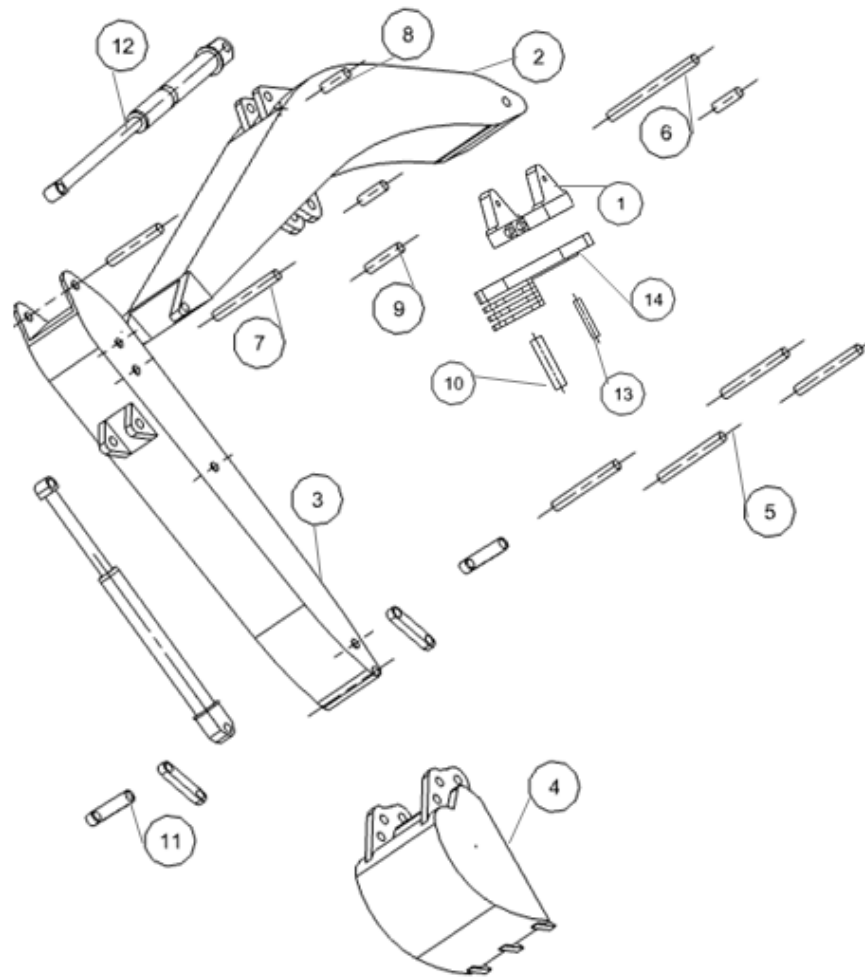


Figura 3.3.2. Vista explosionada del brazo excavador.

CAPÍTULO 4. CÁLCULOS

En este capítulo se realizan los cálculos para las fuerzas de excavación de los tres principales componentes del brazo excavador (cucharón, brazo y pluma), de acuerdo a los estándares de SAE (Society of Automotive Engineers). Además, se introduce el método de Análisis de Elemento Finito.

4.1. Capacidad del cucharón

La capacidad del cucharón es una medida referente al volumen máximo del material que puede ser introducido en el mismo como parte de una pala excavadora. La capacidad del cucharón puede ser medida en “*capacidad a ras*” y “*capacidad colmado*”, como se muestra en la Figura 4.1.1.

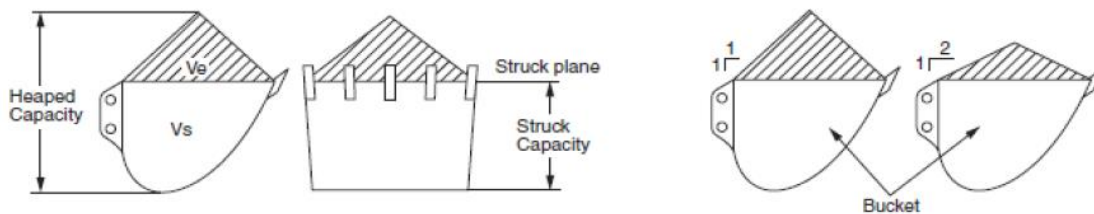


Figura 4.1.1. Capacidades “a ras y colmado” del cucharón.

Globalmente se toman dos estándares utilizados para determinar la “capacidad colmado” que son:

1. **SAE J296**: “Mini excavator and backhoe bucket volumetric rating” (American Standard).
2. **CECE** (Committee of European Construction Equipment) section IV. (European Standard).

Para el presente análisis se tomará la “capacidad a ras”, la cual será medida directamente del modelo tridimensional de la pala excavadora, mostrado en la Figura 4.1.2. , con base en los estándares **SAE J296**.

El estándar **SAE J296** provee un método uniforme para determinar la capacidad nominal y a ras para cucharones usados en excavadoras, mini-excavadoras y retroexcavadoras con base en la clasificación del estándar **SAE J1057** y equipo con azadas añadidas.

Los cálculos están basados en las dimensiones físicas internas del cucharón, excluyendo cuchillas laterales opcionales, guardias de derrames, dientes u otros accesorios.

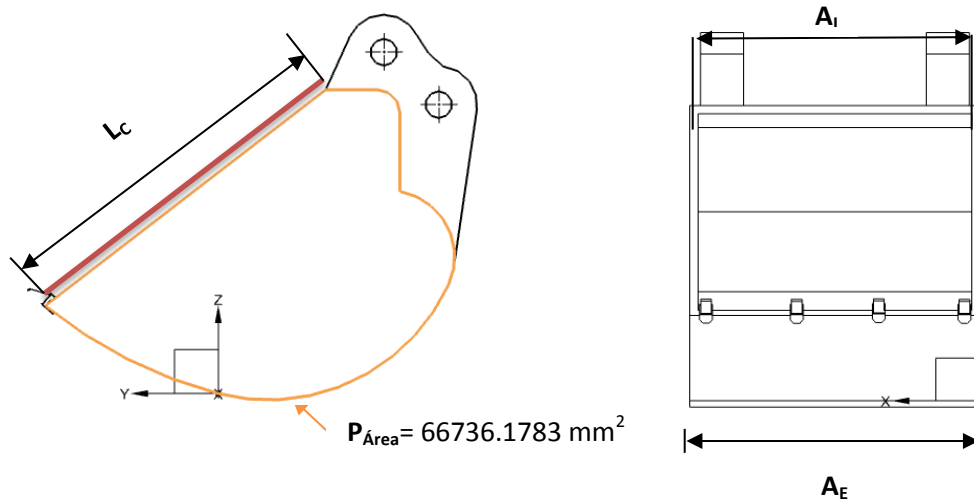


Figura 4.1.2. Parámetros del modelo sólido del cucharón.

Como se puede observar de la Figura 4.1.2. , la variable $P_{\text{Área}}$ considera el Área delimitada por el plano formado por la línea naranja y la línea roja, y es igual a $66736.1783 \text{ [mm}^2\text{]}$.

Conociendo estos datos se obtuvo la “capacidad colmado” del cucharón con la ecuación (4.1.1).

$$V_h = V_s + V_e \quad \dots(4.1.1.)$$

Donde V_s es la capacidad a ras y V_e es el exceso del material considerado como capacidad colmado, como se observa en la Figura 4.1.1.

Sustituyendo los valores tomados de la Figura 4.1.2., se calculó la capacidad a ras de la siguiente manera:

$$V_s = P_{\text{Área}} \left(\frac{(A_e + A_i)}{2} \right) = 0.01748 \text{ [m}^3\text{]} \quad \dots (4.1.2.)$$

AE: corresponde a la anchura del cucharón medida desde la parte más externa considerando los protectores laterales. Para el presente caso AE tiene un valor de 260mm.

AI: corresponde a la anchura interna del cucharón medida desde la parte interna de los protectores laterales. Para el presente caso AI tiene un valor de 250 [mm.].

Párea: corresponde al área lateral de perfil del cucharón, delimitada por el contorno interior naranja y la línea roja mostrada en la Figura 4.1.2.

Lc: corresponde a la distancia medida lateralmente del borde del cucharón, donde para el presente caso le corresponde un valor de 331.82 [mm.].

El material de exceso V_e , se obtuvo con la ecuación (4.1.3.).

$$V_e = \left(\frac{Lc(AE)^2}{4} - \frac{Ae^3}{12} \right) = 0.004407 [m^3] \quad \dots(4.1.3.)$$

Usando las ecuaciones 4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3 la capacidad colmada del cucharón para el modelo sólido propuesto es de 0.021887 [m³].

La Tabla 4.1.1. , muestra a detalla la densidad de los materiales más comunes hallados durante las excavaciones.

Para conocer la masa total, se tomó como base la razón entre la masa del cuerpo y el volumen que pueda ocupar dentro del cucharón con la ecuación (4.1.4.).

$$\delta = \frac{m}{v} \quad \dots(4.1.4.)$$

Para el presente cálculo, se consideró tierra vegetal como el material a excavar, en donde su densidad corresponde a 1365 [(Kg/m³)*N] como se muestra en la Tabla 4.4.1. , con lo cual se conoce que el cucharón puede excavar para este tipo de material 29 kg por cada ciclo realizado.

Material	(kg/m ³)*N	% de Expansión	kg/m ³ S
Caliche	2255	82	1245
Tierra vegetal	1365	43	950
Piedra triturada	2670	67	1600
Piedra caliza	2520	67	1515
Arena y arcilla	2020	27	1600
Grava	2165	12	1930

Tabla 4.1.1. Factores de expansión y densidad aproximada de algunos tipos de suelos (Tomada del manual de movimiento de tierras de Caterpillar).

4.2. Modelo de fuerza de excavación y de arranque.

En ésta sección se realiza un análisis estático del cucharón para la condición en que el mecanismo produce la máxima fuerza, debido a que la fuerza máxima del cucharón es la condición crítica bajo la cual se realizará el análisis estático.

Es importante mencionar que el análisis de fuerzas realizado en el presente documento aplica a todas las excavadoras hidráulicas y retroexcavadoras, ya sean montadas en llantas u orugas, identificado en SAE J1116 como máquinas de movimiento de tierras definidas en SAE J1057.

Fuerzas principales de excavación: Para poder ejecutar la inserción del cucharón en el material es necesario de dos principales fuerzas. La fuerza FB “fuerza de giro del cucharón” y FS “fuerza de entrada del brazo”. En inglés se conocen como FB “the bucket curling force” y FS “the arm crowd force”.

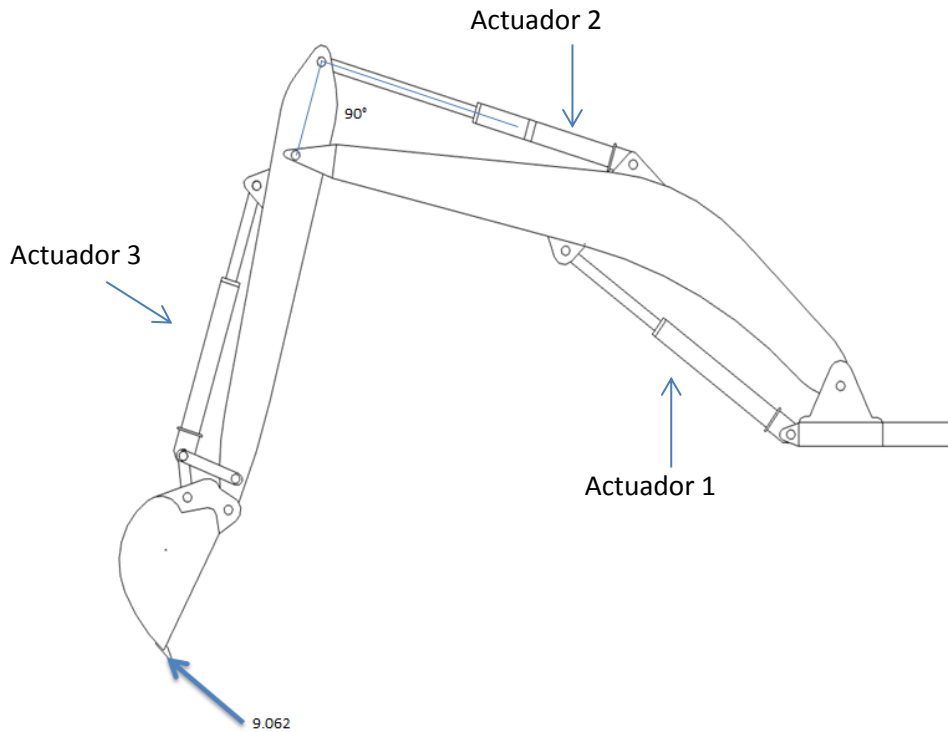


Figura 4.2.1. Diagrama de fuerza de excavación de giro del cucharón con la norma SAE J1179.

La clasificación de dichas fuerzas está establecida por la norma estándar SAE J1179 para “Vehículos de superficie estándares-Excavadoras hidráulicas y fuerzas de excavación de retroexcavadoras”. “Estas fuerzas son ejercidas el punto más externo, considerándose éste las puntas de los dientes del cucharón. Su cálculo se puede realizar con base en el trabajo ejercido por la presión hidráulica de los cilindros, previendo la fuerza de excavación necesaria para disgregar el material.

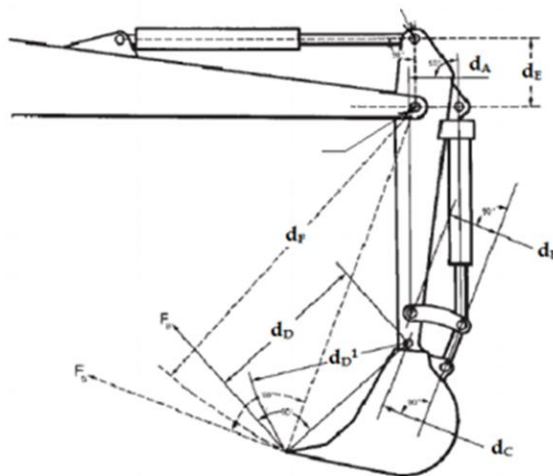


Figura 4.2.2. Modelo general de fuerzas de excavación estándar SAE J1179.

La Figura 4.2.2., muestra las medidas necesarias para el entendimiento del cálculo de las fuerzas de excavación principales (“fuerza del giro del cucharón” FB y “fuerza de entrada del brazo” FS).

Conforme a la norma SAE J1179: La fuerza dental radial máxima provocada por el cilindro del cucharón (“fuerza de giro del cucharón”), denotada como FB es la fuerza de excavación generada por el cilindro del cucharón y es tangente al arco del radio dD. Para el logro de la fuerza FB, es necesario colocar el cucharón de manera que se obtenga el máximo momento a su salida, considerando las uniones. FB se convierte en máxima cuando la distancia dA alcanza su máximo, debido a que el resto de las distancias de la ecuación 4.2.1. , mostrada son constantes.

$$FB = \frac{\text{Fuerza del cilindro del cucharón}}{dD} \left(\frac{dAXdC}{dB} \right) \quad \dots (4.2.1.)$$

Dónde:

Fuerza del cilindro del cucharón = (Presión de trabajo) X (Área final del cilindro del cucharón).

Con base en los cilindros seleccionados se tiene que el diámetro del final del cilindro del cucharón tiene un valor de 50 [mm.] y la presión de trabajo es 16 (Mpa).

$$FB = \frac{pX \left(\frac{\pi}{4} \right) DB^2}{dD} \left(\frac{dAXdC}{dB} \right) \quad \dots (4.2.1.)$$

La ecuación 4.2.1., determina el valor de FB “fuerza de giro del cucharón”. El valor final se tomará en unidades de [kN].

Sustituyendo valores en la ecuación 4.2.1. , se obtiene que FB= 9.962 [kN]

Ahora, para obtener la fuerza radial máxima del diente del cucharón generado por el cilindro del brazo FS “fuerza de entrada del brazo”, se sigue la ecuación (4.2.2.).

$$F_s = \frac{pX \left(\frac{\pi}{4}\right) D A^2 x dE}{dF} \quad \dots (4.2.2.)$$

Una vez sustituidos los valores en la ecuación 4.2.2., se obtiene que FS = 3.954 [kN]

En donde dF = al radio del cucharón+ la longitud del eslabón del brazo.

4.3. Fuerzas estáticas.

Para la realización del análisis de fuerzas estáticas se tomó como condición la fuerza máxima de arranque, mostrada en la Figura 4.2.2. El diagrama de cuerpo libre del cucharón, brazo y pluma con direcciones y magnitudes de las fuerzas se explican y detallan a continuación.

La anatomía y las partes principales que conforman el brazo se detallaron en el capítulo 3, en donde se describieron las principales uniones del brazo excavador (base giratoria, pluma, brazo y unión del cucharón).

La Figura 4.2.3., muestra una vista esquemática del excavador mostrando los componentes principales y sus actuadores.

4.3.1. Análisis estático cucharón.

Como referencia para el análisis del cucharón se muestra la Figura 4.3.1.1. que representa el diagrama de cuerpo libre del cucharón. De acuerdo a los cálculos previos realizados para la obtención de la variable FB, se tomará como punto de inicio su reacción en la punta del diente del cucharón A4, con la fuerza F4 con un valor de 9.06 [kN] actuando a un ángulo de 21°, como se muestra en la Figura 4.3.1.1.

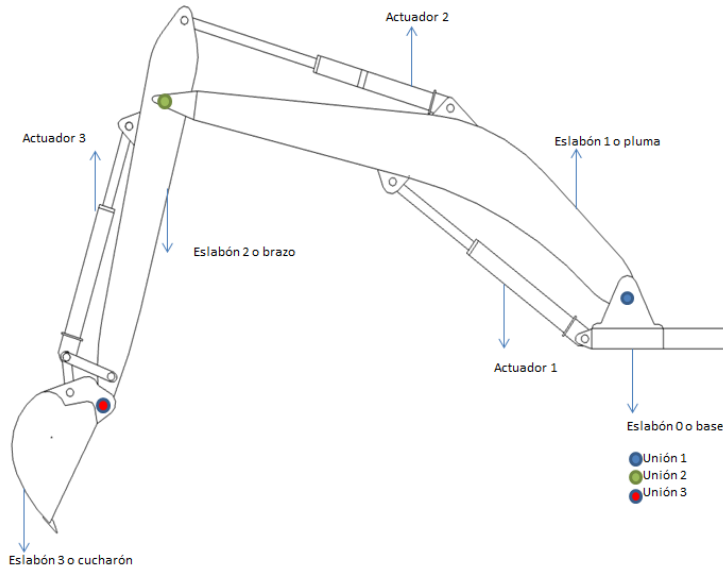


Figura 4.2.3. Vista esquemática del brazo excavador.

Las fuerzas estáticas en las juntas se calcularon considerando que la sumatoria de fuerzas es igual a cero. ($\sum F = 0$), así como la suma de momentos también debe ser cero ($\sum M = 0$). Esta condición de equilibrio aplicará para el cucharón, brazo y pluma respectivamente. Todas las fuerzas señaladas dentro del documento están expresadas en Kilo Newton [kN].

Primero se descompusieron las fuerzas de reacción en el diente del cucharón. (Punto A4), con la ecuación 4.3.1.1. para las directrices horizontales (X) y la ecuación 4.3.1.2. para la vertical (Y) se obtiene 8.46 [kN] y 3.24 [kN], respectivamente.

$$F_{4x} = F_B * (\cos \theta) \quad \dots(4.3.1.1.)$$

$$F_{4y} = F_B * (\sin \theta) \quad \dots(4.3.1.2.)$$

Donde θ representa el ángulo entre la fuerza de arranque máxima y el nivel del suelo con un ángulo de 21° como se muestra en la Figura 4.3.1.1. Ahora

considerando el cucharón en equilibrio ($\sum M = 0$) tomando la suma de momento alrededor del punto A3 se tuvo como resultado:

$$FA4 * lA4 - Fg1 * lg1 = F11 * l11 \quad \dots(4.3.1.3.)$$

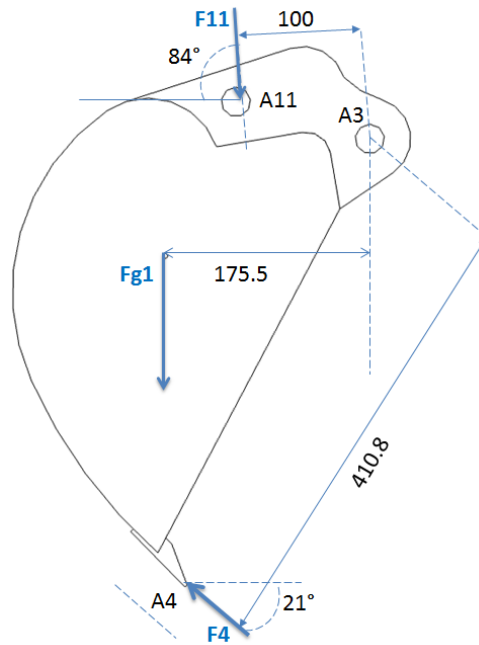


Figura 4.3.1.1. Diagrama de cuerpo libre del cucharón.

Donde la fuerza FA4 es la fuerza actuando en la punta del diente cuando el cucharón se aproxima al suelo en la condición de arranque máxima. IA4 es la distancia de la punta del diente del cucharón al punto A3 (410.8 [mm.]), lg1 es la distancia del C.G del cucharón al punto A3 (175[mm.]), l11 es la distancia del punto A11 al punto A3 (100[mm.]), Fgb es la fuerza gravitacional actuando sobre el cucharón (0.276 [kN]) y F11 es la fuerza que actúa en el punto A3 con un ángulo de 84° como se muestra en la Figura 4.3.1.1.

En la Tabla 4.3.1.1. se muestra un resumen de las fuerzas estáticas actuando en las diferentes juntas.

ID Unión	Fuerzas (kN)	
	Componente en X	Componente en Y
A4	3.84	-36.54
A11	-8.46	3.24
A13	4.61	33.56

Tabla 4.3.1.1. Fuerzas aplicadas en el cucharón en sus componentes X y Y.

El signo de la fuerza muestra la dirección de acción de la misma. Las fuerzas en cada junta se muestran en la Figura 4.3.1.2.

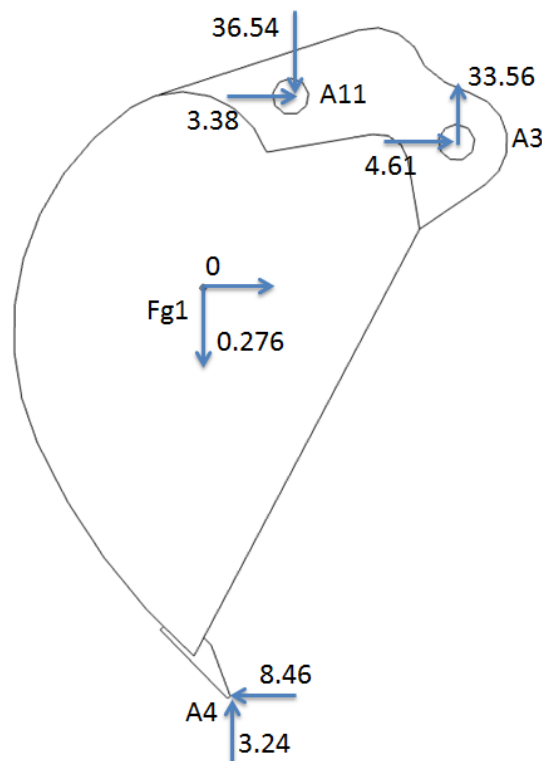


Figura 4.3.1.2. Diagrama de fuerzas aplicadas en el cucharón.

4.3.2. Análisis estático brazo.

En la Figura 4.3.2.1., se muestran las dimensiones y ángulos para los momentos necesarios para la resolución de fuerzas del brazo.

La Fuerza F_{12} es la fuerza que actúa en la unión del eslabón (A_{12} y A_{10}) a la junta ($A_{11}A_{10}$) a un ángulo de 62° como se muestra en la Figura 4.3.2.1.

$$F_{12} = F_{11} * \cos(62^\circ) \quad \dots(4.3.2.1.)$$

La fuerza F_9 actúa en el brazo a través del cilindro del cucharón como se muestra en la Figura 4.3.2.1.

$$F_9 = F_{11} * \cos(23^\circ) \quad \dots(4.3.2.2.)$$

La fuerza F_{12} se puede resolver para su componente vertical en (Y) y su componente horizontal (X) usando el ángulo de 22° formado entre la referencia horizontal y la unión intermedia con las ecuaciones 4.3.2.4. y 4.3.2.3. , respectivamente.

$$F_{A12X} = F_{A12} * \cos(22^\circ) \quad \dots(4.3.2.3.)$$

$$F_{A12Y} = F_{12} * \sin(22^\circ) \quad \dots(4.3.2.4.)$$

La fuerza F_9 se puede resolver de igual manera en sus componentes vertical en (Y) y su componente horizontal en (X) usando el ángulo formado entre la referencia horizontal cerca de A_9 y el cilindro del cucharón de 73° . Con las ecuaciones 4.3.2.5. y 4.3.2.6.

$$F_{A9X} = F_{A9} * \cos(73^\circ) \quad \dots(4.3.2.5.)$$

$$F_{A9Y} = F_9 * \sin(73^\circ) \quad \dots(4.3.2.6.)$$

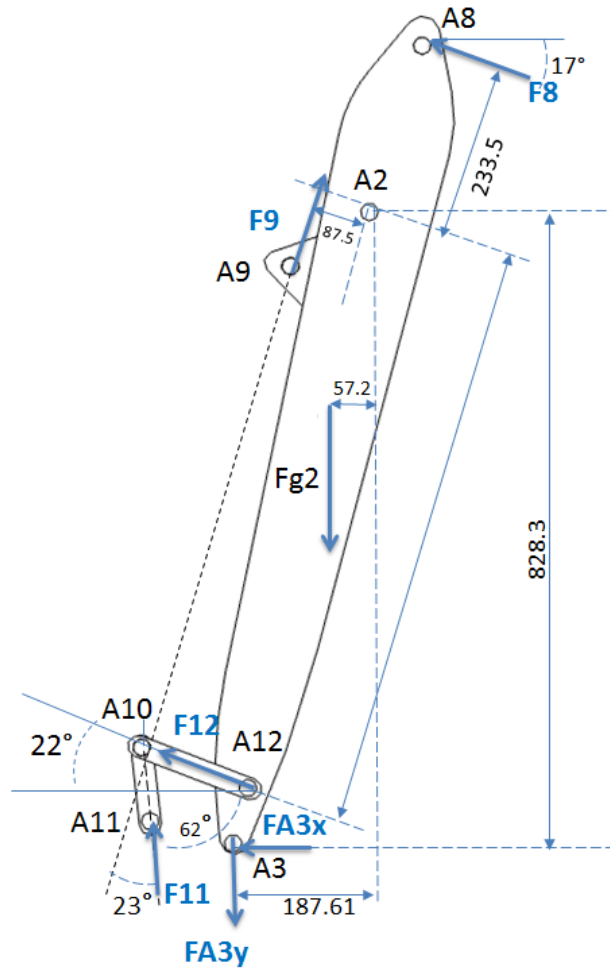


Figura 4.3.2.1. Diagrama de cuerpo libre del brazo.

Considerando el equilibrio en el brazo ($\sum M = 0$) y tomando el momento alrededor de la unión A2 tenemos:

$$FA8 * lA8 - FA9 * lA9 - F12 * l12 - F3x * l3x + FA3y * lA3y + Fg2 * l2g = 0 \quad \dots(4.3.2.7)$$

De la ecuación 4.3.2.7. , fue posible la obtención de la fuerza FA8. Aquí la distancia lA8 es la distancia perpendicular entre la fuerza F8 y el punto A2 de 233 [mm.] como se muestra en la Figura 4.3.2.1. FA3y es la componente vertical de la fuerza F3 que actúa en el punto A3 de valor 33.56 [kN], como se muestra en la Figura 4.3.2.1. El eslabón lA3y corresponde a la distancia horizontal entre el punto A3 y el punto de unión en A2 de 187.6 [mm.] .La fuerza Fg2 corresponde a la fuerza gravitacional del brazo con un valor de 0.509 [kN] y su distancia

perpendicular de l_{g2} al punto A2 es de 57.2 [mm.] como se observa en la Figura 4.3.2.1. La fuerza F_{3x} es la componente horizontal de la fuerza F_3 que actúa en el punto A3 con un valor de 4.61 [kN]. El eslabón l_{A3yx} corresponde a la distancia vertical entre el punto A3y y el punto de unión A2 con un valor de 889.5 [mm.]. La fuerza F_{12} es la fuerza que actúa en la unión intermedia entre el punto A10 y el punto A12 con un valor de 17.2492 [kN]. La distancia l_{12} corresponde a la distancia vertical entre la fuerza F_{12} y el punto A2 con un valor de 828.3 [mm.]. Por último F_9 corresponde a la fuerza actuando a lo largo del cilindro hidráulico del cucharón con un valor de 33.8214 [kN]. Para el eslabón l_9 corresponde a la distancia perpendicular a la fuerza 9 y el punto A2 con un valor de 87.9 [mm.], como se muestra en la Figura 4.3.2.1.

La Figura 4.3.2.2., muestra la descomposición de fuerzas en sus componentes horizontal y vertical:

$$F_{A8X} = F_{A12} * \cos(17^\circ) \quad \dots(4.3.2.8)$$

$$F_{A8y} = F_{A12} * \sin(17^\circ) \quad \dots(4.3.2.9)$$

Para obtener las componentes en (x) y (y) de la F_8 se sustituyen valores en las ecuaciones 4.3.2.8 y 4.3.2.9. Posteriormente con la sumatorias de fuerzas ($\sum F = 0$) tanto para las componentes en x y componentes en y se obtienen las fuerzas en A2, como se muestra en la Tabla 4.3.2.1.

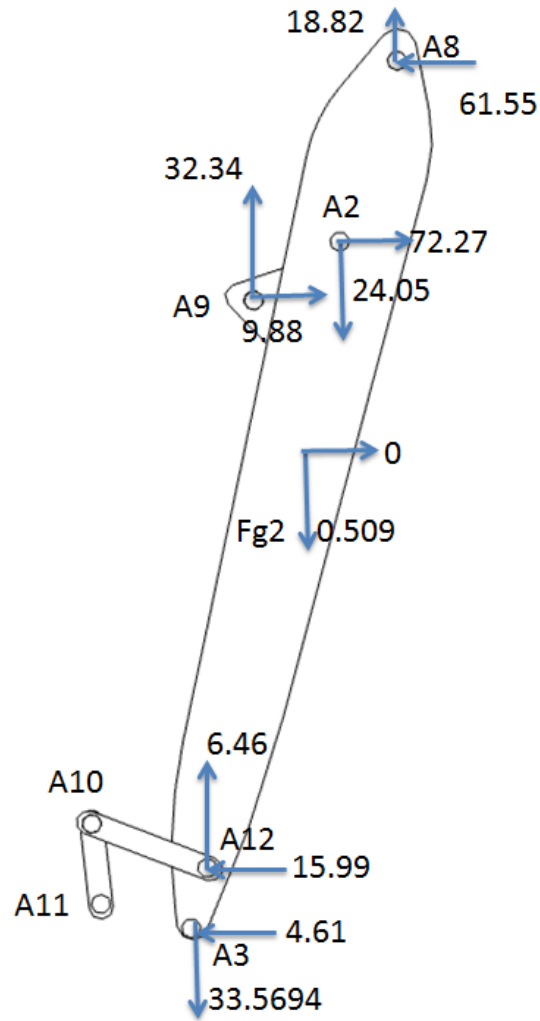


Figura 4.3.2.2. Fuerzas resultantes aplicadas en el brazo.

ID Unión	Fuerzas (kN)	
	Componente en X	Componente en Y
A3	-4.61	-33.56
A12	-15.99	6.46
A9	-61.55	32.34
A8	-61.55	18.82
A2	72.27	-24.05

Tabla 4.3.2.1. Fuerzas aplicadas en el brazo en sus componentes X y Y.

4.3.3. Análisis estático pluma

La Figura 4.3.2.1., muestra el diagrama de cuerpo libre de la pluma. Se muestran primero las dimensiones necesarias y los ángulos para los momentos y su resolución respectivamente. La Figura 4.3.2.2., muestra las fuerzas estáticas actuando en los diferentes puntos de la pluma.

La fuerza en el punto A7 corresponde a la fuerza obtenida en el punto A8 pero en sentido contrario ya que actúan a través del cilindro hidráulico pero en dirección contraria.

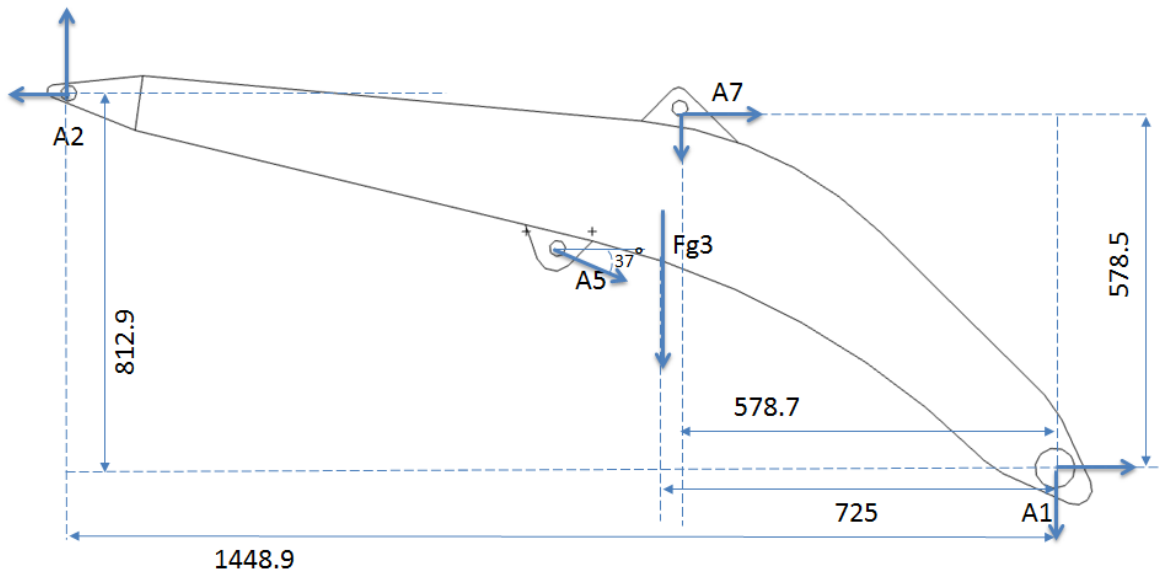


Figura 4.3.3.1. Diagrama de cuerpo libre para la pluma.

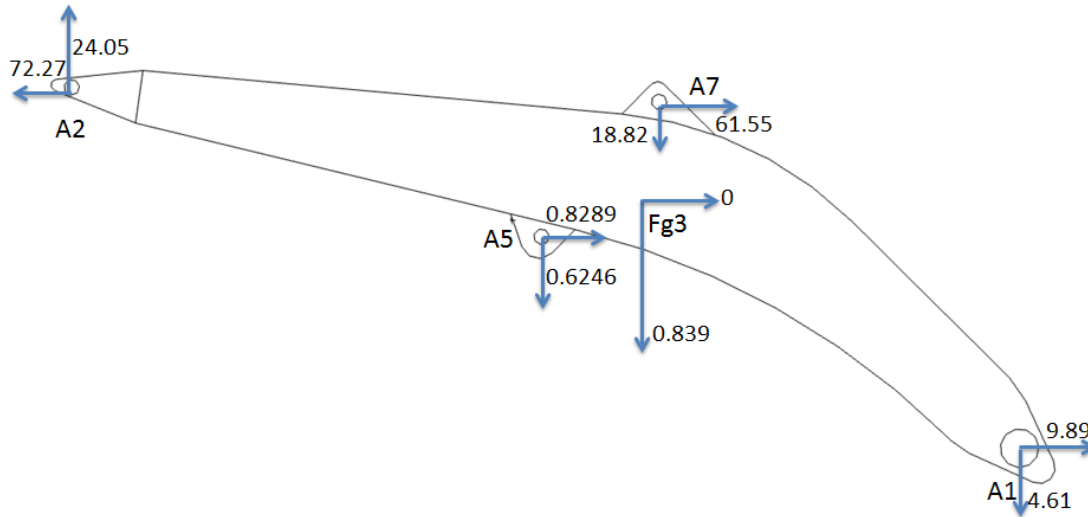


Figura 4.3.3.2. Diagrama de fuerzas para la pluma.

Considerando la pluma en equilibrio ($\sum M = 0$) y tomando el momento en el punto de unión de la pluma en A1 se obtiene la ecuación 4.3.3.1.

$$-F5 * l5 + Fg3 * lg3 + FxA2 * lxA2 - FyA2 * lyA2 + FyA7 * lyA7 - FxA7 * lxA7 = 0 \quad \dots(4.3.3.1.)$$

Donde la fuerza F5 actúa a través del cilindro hidráulico a un ángulo de 37° con respecto a la referencia horizontal y se puede obtener sus componentes en x y y con las ecuaciones 4.3.3.2. y 4.3.3.3.

$$FA5X = FA5 * \cos(37^\circ) \quad \dots(4.3.3.2.)$$

$$FA5y = FA5 * \sin(37^\circ) \quad \dots(4.3.3.3.)$$

Considerando la suma de fuerzas igual a cero. ($\sum F = 0$) En el punto A1, se obtiene la Tabla 4.3.3.1.

ID Unión	Fuerzas (kN)	
	Componente en X	Componente en Y
A3	-4.61	-33.56
A12	-15.99	6.46
A9	-61.55	32.34
A8	-61.55	18.82
A2	72.27	-24.05

Tabla 4.3.3.1. Fuerzas aplicadas en la pluma en sus componentes X y Y.

4.4. Herramientas y recursos de diseño empleados

El software de CAD utilizado permitió el desarrollo de diversos diseños tridimensionales (3-D) a partir de los cuales se reprodujeron vistas de las ideas generadas y comprobaciones del diseño creado.

Permitió cálculos rápidos y exactos de ciertas propiedades como la masa y la localización del centro de gravedad. Del mismo modo, pudieron obtenerse con facilidad otras propiedades como áreas y distancias entre puntos.

El programa de CAD utilizado permitió alcanzar principalmente lo siguiente:

- Incrementar la productividad de las piezas diseñadas
- Mejorar la calidad del diseño
- Mejorar la comunicación a través de la documentación
- Crear una base de datos para la manufactura

Además, hoy en día no es suficiente con proveer un diseño correcto, también es importante optimizar los recursos utilizados para un mejor desempeño, como es el reducir el peso de operación para reducir el costo del sistema.

El análisis de esfuerzos fue un paso elemental dentro del diseño de las partes del brazo excavador. A lo largo de la historia, el análisis de elemento finito (FEA) ha sido una de las técnicas más poderosas en el cálculo de esfuerzos de estructuras trabajando sobre cargas y restricciones conocidas. Por lo mismo, permitió determinar la carga crítica en diversos puntos de las piezas creadas, aplicando las fuerzas obtenidas a través del análisis estático realizado. Sin embargo, es importante destacar que el modelo físico generado no se comportará igual que la estructura actual, sin embargo los resultados son aproximados y suficientes para aplicaciones prácticas. A continuación, se presentan algunos de los análisis supuestos dentro de las simulaciones realizadas.

4.4.1 Análisis supuestos

El análisis de esfuerzos que NX provee es apropiado solamente para materiales con propiedades lineales. Estas propiedades se presentan en donde los esfuerzos son directamente proporcionales a la tensión presentada en el material (donde el material no presenta deformación permanente del material). El comportamiento lineal resulta cuando la pendiente del material durante la curva esfuerzo-tensión en la región elástica (conocida como Módulo de elasticidad) es constante.

Además, los resultados son independientes de la temperatura. La temperatura, se asume no afecta las propiedades del material, sin embargo las propiedades y el comportamiento variarán dependiente de las condiciones climáticas en las cuales se utilicen.

Al final, con base en el análisis realizado se pudo identificar si la optimización del mecanismo del brazo excavador era posible o no.

La tensión de Von Mises fue la magnitud física utilizada para determinar el comienzo de la falla en materiales utilizado.

El criterio de falla de Von Mises siempre debe ser menor que el límite elástico del material teniendo un factor de seguridad en consideración, en donde para el

presente caso se tomó unitario. Con esto indicamos que el diseño de las piezas es seguro, satisfaciendo la condición de la ecuación 4.4.1.1.

$$\sigma_{VM} \leq \frac{\sigma_y}{\text{Factor de seguridad}} \quad \dots(4.4.1.1.)$$

La meta del diseño fue que los esfuerzos y deformaciones por todos lados se mantengan en la región elástica, sin que ocurra ninguna fluencia plástica local que pueda iniciar una grieta para asegurar la vida del producto con cargas cíclicas.

4.4.2. Procedimiento FEA en NX (Siemens)

En el presente trabajo para lograr el análisis de elemento finito se utilizaron diversos comandos, en el cual se obtuvieron resultados de esfuerzos y desplazamientos de los distintos componentes mecánicos que conforman el brazo excavador.

A continuación se detalla el procedimiento utilizado.

1. Primero fue necesario crear una simulación para FEA en donde se genera la solución para cada una de las estructuras analizadas.
2. Posteriormente se especificaron los materiales para cada simulación. En donde se pudo observar el comportamiento de las piezas para distintos materiales asignados.
3. Se generaron las restricciones estructurales y los límites de desplazamiento del modelo. Considerando los movimientos existentes en cada uno de los componentes.

4. Se generó un mallado en donde el tamaño del elemento fue de 50.5 por lo que se tuvo que limpiar la geometría evitando espacios, superposiciones, voladizos para tener un mallado correcto.
5. También se aplicaron cargas estructurales a cada una de las partes del ensamble durante la operación. Dichas cargas muestran los esfuerzos, deformaciones y desplazamientos que se pueden presentar en los componentes. Esto es de suma importancia porque ayuda a conocer como los componentes reaccionan bajo cargas normales y las sometidas.
6. Por último se creó la solución del sistema y se realizó un análisis que se presentan al final.

Para conocer las propiedades mecánicas del material se basó en la Tabla 4.4.2.1. en donde se observan las características del acero utilizado. En la misma se puede observar que el límite elástico oscila entre los 350 Mpa y 550, dependiendo si se le otorga algún tratamiento térmico al material.

Mechanical Properties		
Quantity	Value	Unit
Young's modulus	200000 - 200000	MPa
Tensile strength	650 - 880	MPa
Elongation	8 - 25	%
Fatigue	275 - 275	MPa
Yield strength	350 - 550	MPa
Physical Properties		
Quantity	Value	Unit
Thermal expansion	10 - 10	e-6/K
Thermal conductivity	25 - 25	W/m.K
Specific heat	460 - 460	J/kg.K
Melting temperature	1450 - 1510	°C
Density	7700 - 7700	kg/m ³
Resistivity	0.55 - 0.55	Ohm.mm ² /m

Tabla 4.4.2.1. Propiedades mecánicas del acero 1005 Fuente: <http://www.steelgr.com>

4.4.3. Análisis estructural FEA partes del brazo excavador:

En esta sección se presentarán imágenes de los análisis realizados, incluyendo las tres partes principales, el cucharón, el brazo y la pluma.

Mallado de las piezas

La Figura 4.4.3.1., muestra el cucharón después de realizar el proceso de mallado.

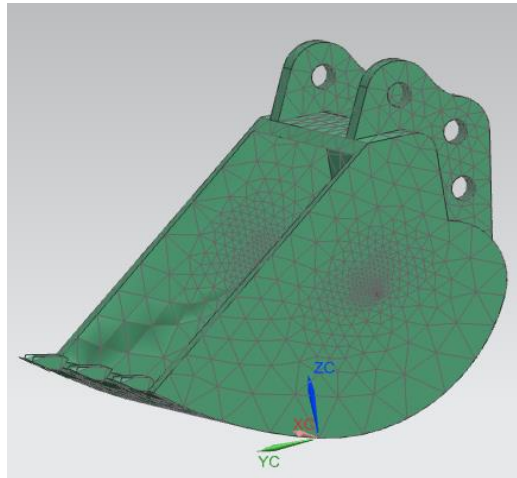


Figura 4.4.3.1. Mallado del cucharón, tamaño elemento 50.5.

En la Figura 4.4.3.1., se muestran las cargas aplicadas (FB) en cada uno de los dientes del cucharón. Se consideró una restricción fija en el punto A3.

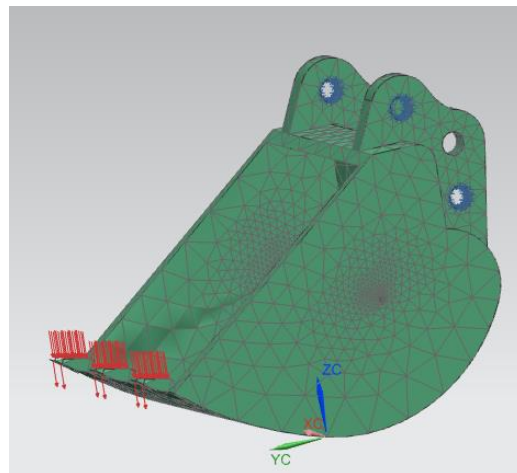


Figura 4.4.3.2. Fuerzas aplicadas al cucharón.

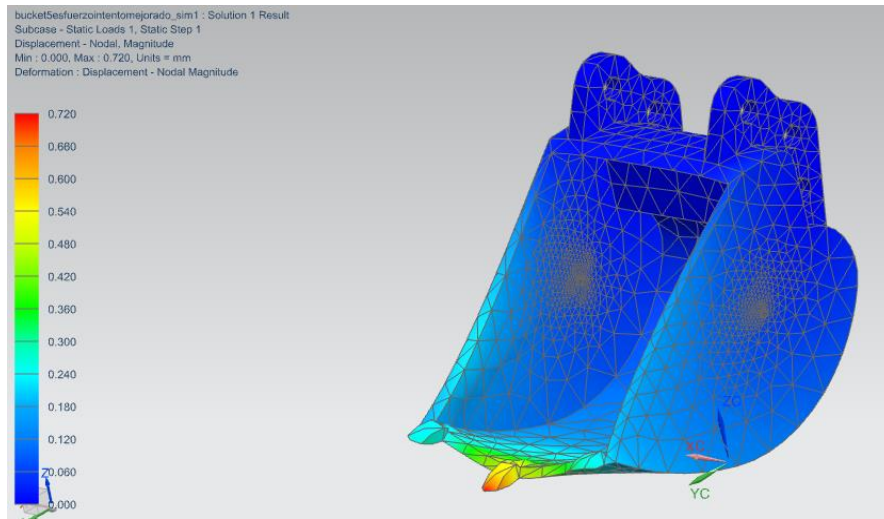


Figura 4.4.3.3. Prueba de desplazamiento del cucharón.

La Figura 4.4.3.3., muestra que el desplazamiento máximo del cucharón en el diente medio.

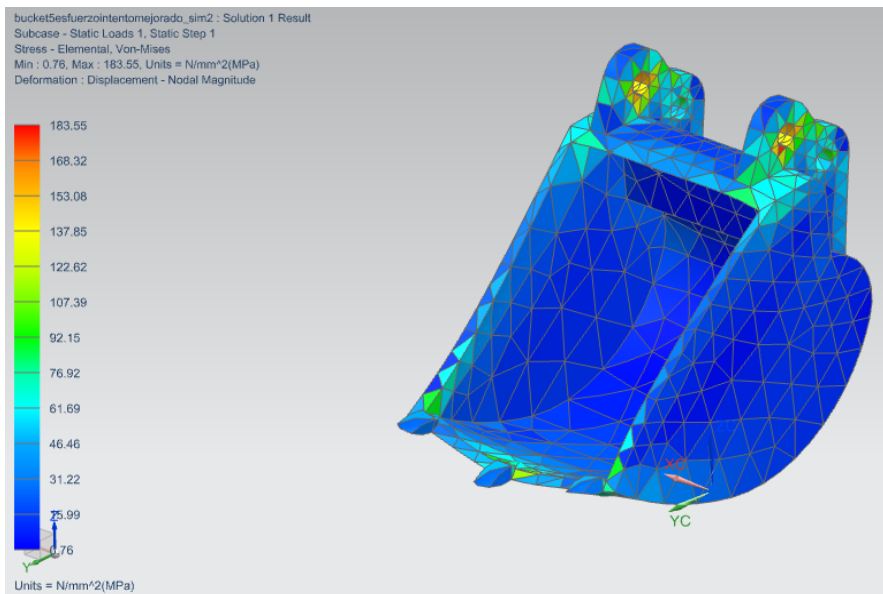


Figura 4.4.3.4. Prueba de esfuerzos por cargas aplicadas del cucharón.

La Figura 4.4.3.4. , muestra el análisis de esfuerzos realizado para la pieza del cucharón. El factor de seguridad obtenido con base en la ecuación 4.4.1.1. es de 1.906 con el esfuerzo máximo obtenido.

La Figura 4.4.3.5. , y Figura 4.4.3.6. , muestra la vista de los análisis de tensión y desplazamientos del brazo excavador. Mientras que la Figura 4.4.3.5. , y Figura 4.4.3.6. muestran la de la pluma.

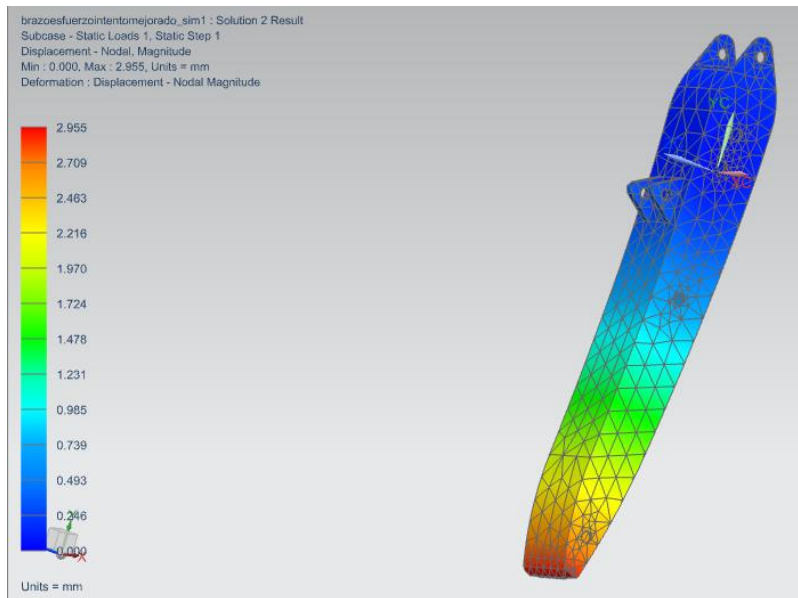


Figura 4.4.3.5. Prueba de desplazamiento del brazo.

El factor de seguridad obtenido para el brazo del esfuerzo máximo observado es de 2.5247.

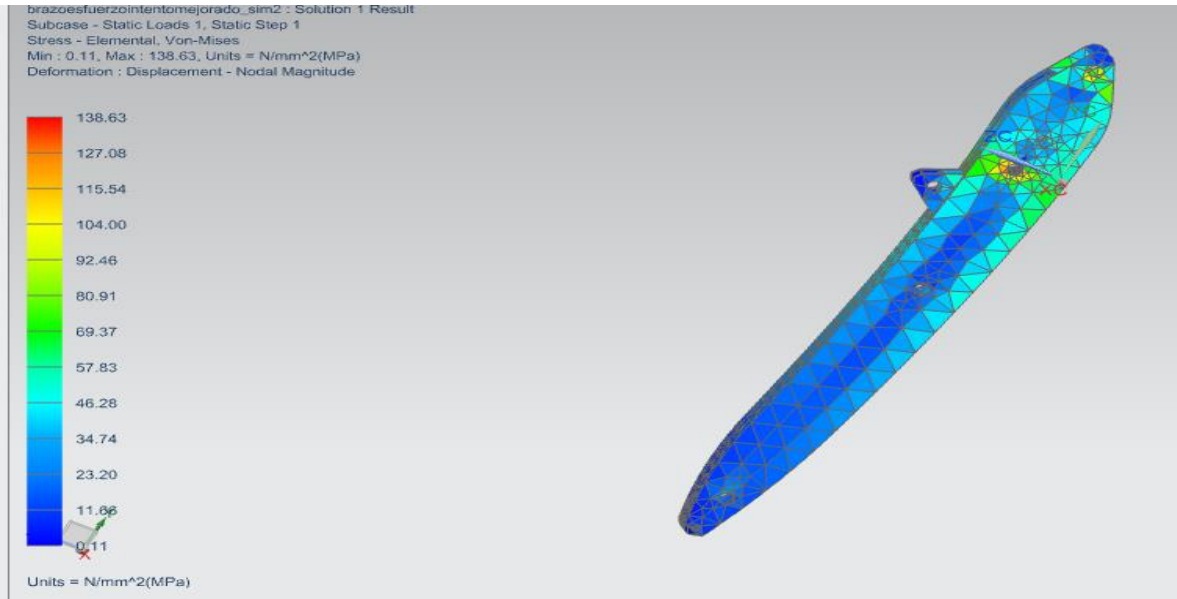


Figura 4.4.3.6. Prueba de esfuerzos por cargas aplicadas del brazo.

Análisis para pluma.

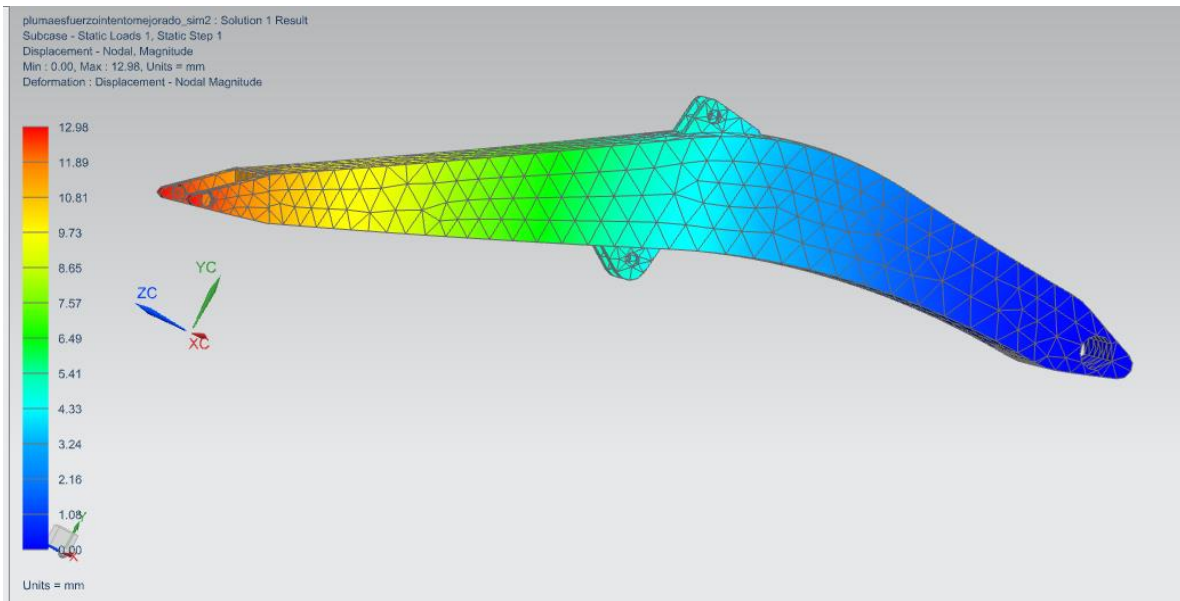


Figura 4.4.3.7. Prueba de desplazamiento de la pluma.

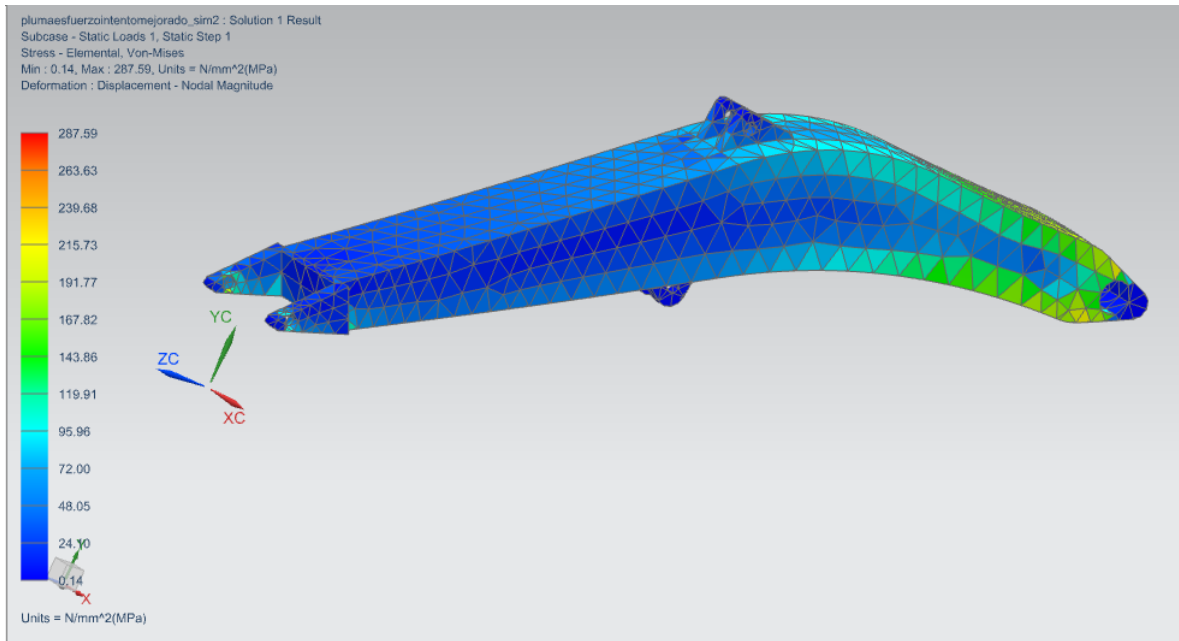


Figura 4.4.3.8. Prueba de esfuerzos por cargas aplicadas de la pluma.

El factor de seguridad obtenido para la pluma, con base en el esfuerzo máximo observado es de 1.2170.

4.5. Criterio y selección de configuración

En esta etapa se realizó una evaluación de los sistemas propuestos. Las evaluaciones realizadas se determinaron por la suma de calificaciones obtenidas dentro de la matriz de decisión mostrada en la Tabla 4.5.1. Los valores mostrados para cada diseño van del 1 al 4, en donde 4 representa el mejor desempeño en el atributo mencionado y 1 el peor.

Los atributos que se evaluaron fueron los siguientes: *Costo, Ciclo, Estabilidad, Manufactura, Seguridad, Mantenimiento, Dimensiones del Sistema, Peso, Maniobrabilidad y Apariencia.*

Tras la evaluación realizada de cada uno de los sistemas con base en los atributos mencionados anteriormente, se obtuvo que el Sistema desmontable y el Chasis sobre neumáticos como las opciones más viables, gracias al puntaje obtenido.

Debido a que la diferencia del total entre ambos no fue grande, se optó por una combinación de ambos diseños en donde se obtuvo que la mejor opción a plantear sería un chasis sobre neumáticos en donde la pala se coloca a un costado del mismo para eficientar el ciclo de excavación, así como para su resguardo en el momento en que la pala se encuentre inactiva, procurando ahorrar espacio, costo de manufactura y proporcionar mayor estabilidad, seguridad y es de un uso fácil.

A continuación, se presenta una pequeña definición de los atributos considerados para la valoración en la matriz de decisión:

Costo: Valor monetario de fabricación total del diseño.

Ciclo: Ciclo de operación de la excavadora que determina la productividad de las excavadoras. Ver anexo.

Estabilidad: Refiriéndose a un estado de equilibrio mecánico en el que pequeñas perturbaciones del sistemas no son seguidas por un alojamiento indefinido de la situación de equilibrio.

Equilibrio: Cuando la suma de fuerzas y momentos sobre cada partícula del sistema es cero

Manufactura: Complejidad en el proceso de fabricación de la pala excavadora.

Diseño	Costo	Ciclo	Estab.	Manuf.	Segurid.	Manten.	Dimens.	Peso	Uso fácil	Apariencia	Total
Sistema modular	2	4	2	4	2	4	3	4	1	2	224
Sistema plegable	1	1	3	2	4	2	1	2	1	3	214
Sistema desmontable	4	2	2	4	4	2	4	1	3	2	308
Chasis sobre neumáticos	1	4	3	4	5	3	4	2	3	5	336

Tabla 4.5.1. Matriz de decisión.

Ponderación de atributos	Valor
Costo	15
Ciclo	11
Estabilidad	17
Manufactura	9
Seguridad	19
Mantenimiento	5
Dimensiones	13
Peso	7
Maniobrabilidad	3
Apariencia	1

Tabla 4.5.2. Valores para los atributos de la matriz de decisión.

Al final junto con la matriz de decisión se pudo identificar un concepto de referencia. Sin embargo se realizaron diversas iteraciones en el mismo proceso en donde se buscaron cambios y combinaciones que ayudaron a mejorar el concepto final, observando sus debilidades y fortalezas.

La configuración final al utilizar el chasis sobre neumáticos junto con la pala excavadora permite el transporte de personas y de medicamentos con ligeras modificaciones realizadas al chasis. Además, se consideró que es más conveniente y más económico adicionar un elemento al chasis existente al cual ya no se le da un uso, que realizar la generación y adaptación de una pala a un contenedor por cuestiones de elementos a incluir.

Otra de las ventajas que ofrece el diseño final, es el aprovechamiento de la suspensión y los elementos existentes dentro de la carrocería para un carro ecuación.

El diseño final se configuró con la pala a un costado por la facilidad de almacenamiento de la misma y la posibilidad de mejorar el ciclo de excavación y

aumentar la productividad de excavación realizada, así como ofrecer mayor visibilidad al operario.

Se optó por utilizar un sistema hidráulico como se mencionó anteriormente con un mecanismo del tipo de válvula y émbolo, ya que ofrece las ventajas de la potencia hidráulica como son reducir el desgaste del sistema, considerar el fluido hidráulico como lubricante, precisión de potencia, flexibilidad de trabajo del cucharón , velocidad y facilidad de adaptación.

La pluma de excavación se decidió en realizarse a una sola pieza ya que no se creyó necesario involucrar otra pieza para un chasis tan pequeño y por el incremento en costo que agregar una pieza genera.

La pluma con forma curva se eligió ya que proporciona mayor espacio libre sobre los obstáculos cuando se realicen excavaciones en zanjas o cargas a camiones. La pluma es estrecha para otorgar visibilidad hacia el cucharón y el área en donde se realice la zanja o excavación en toda la gama de operación.

EL balancín se decidió corto ya que contiene mayor fuerza de penetración, en caso de que se necesiten excavaciones en terrenos más duros. Sin necesidad de cambiar el equipo hidráulico. El presente balancín ofrece la profundidad y alcance necesario sin descuidar la fuerza de excavación.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Este capítulo presenta los resultados y las conclusiones obtenidas del diseño realizado.

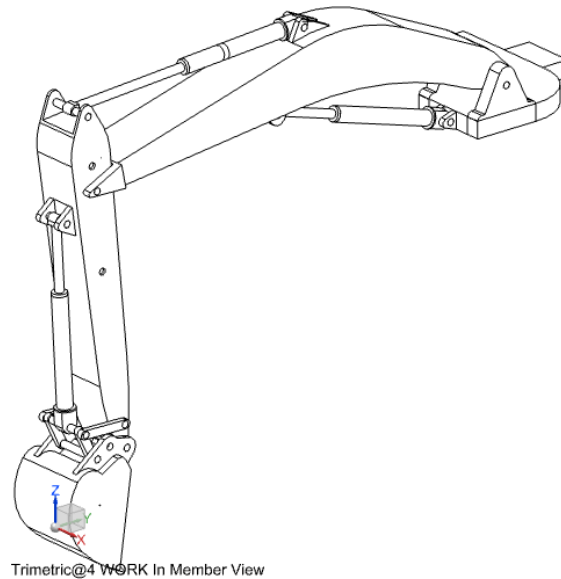


Figura 5.1. Vista del brazo excavador final.

5.1. Resultados.

Con base en las pruebas y los criterios de fallas empleados para las piezas del brazo como esfuerzos de flexión y desplazamiento con base en el criterio de Von Mises se obtuvieron los siguientes resultados:

Nombre de la pieza	Masa pieza[kg]	Máximo esfuerzo generado [MPa]	Desplazamiento [mm]	Factor de seguridad
Cucharón	28.21	183.55	0.72	1.906837374
Brazo	51	138.63	2.95	2.524706052
Pluma	97	287.59	12.96	1.217010327

Tabla 5.1.1.Resultados obtenidos de desplazamiento, esfuerzos, masa y factor de seguridad.

Como se puede observar en la Tabla 5.1.1. para el cucharón el esfuerzo máximo generad es de 183.55 [Mpa], para el brazo de 138.63 [Mpa] y para la pluma de 287.59[Mpa]. Mientras que el desplazamiento máximo para el cucharón es 0.72 [mm.], para el brazo de 2.95 [mm.] y para la pluma de 12.96 [mm.].

Mientras que el factor de seguridad obtenido de despejar la ecuación 4.4.1.1, se observa es mayor a 1 para los tres elementos analizados.

Por otra parte la suma total del brazo junto con la pluma equivale a 148 [kg].

Además de acuerdo a la Figura 5.1.1. , en donde se aprecia el rango de trabajo horizontal del brazo excavador, se observa que tiene movilidad de un radio de 90° a la izquierda y 90° a la derecha partiendo del origen, en donde se especifica con la letra mayúscula O.

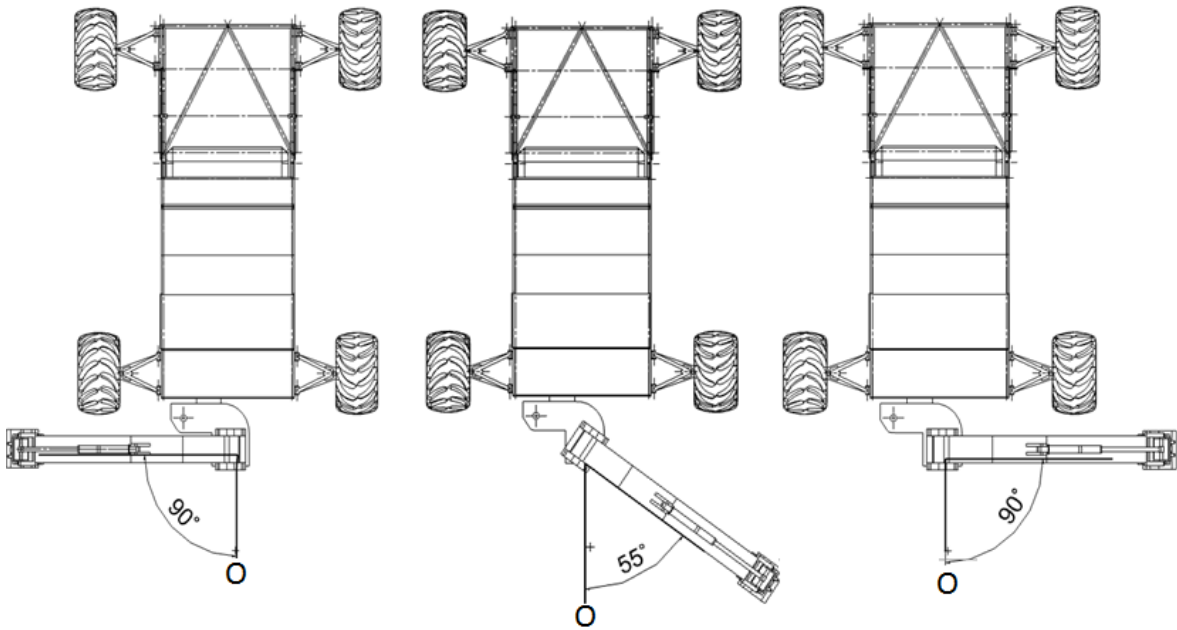


Figura 5.1.1. Rango de trabajo horizontal del brazo excavador.

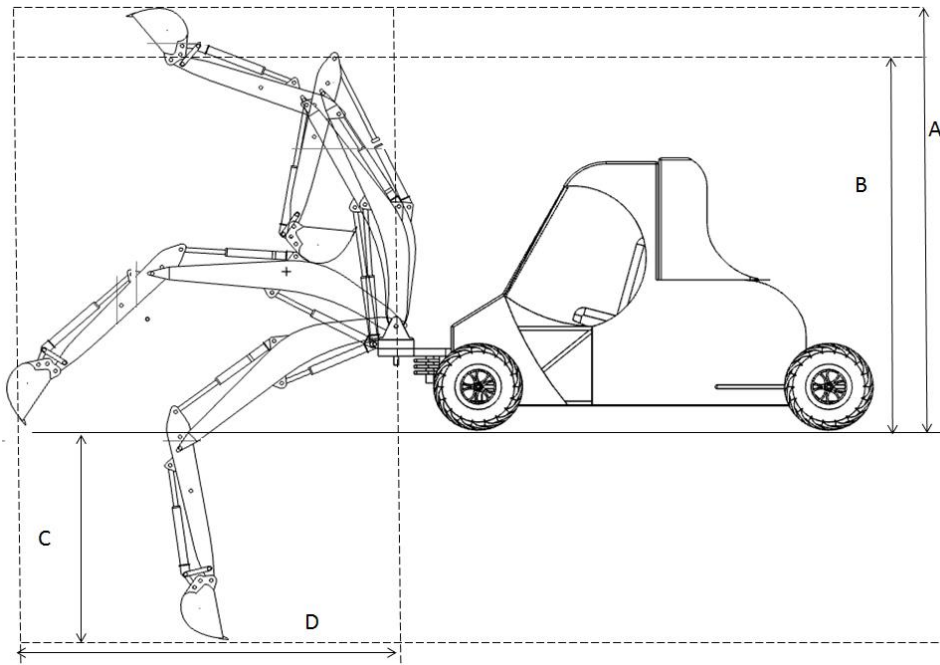


Figura 5.1.2. Rango de trabajo vertical del brazo excavador.

Longitud del brazo excavador		Distancia
A	Altura de excavación máxima	2800mm
B	Altura de eliminación de material máxima	2500mm
C	Profundidad de excavación máxima	1400mm
D	Alcance de excavación máxima	2400mm

Tabla 5.1.2. Medidas del alcance vertical del brazo excavador.

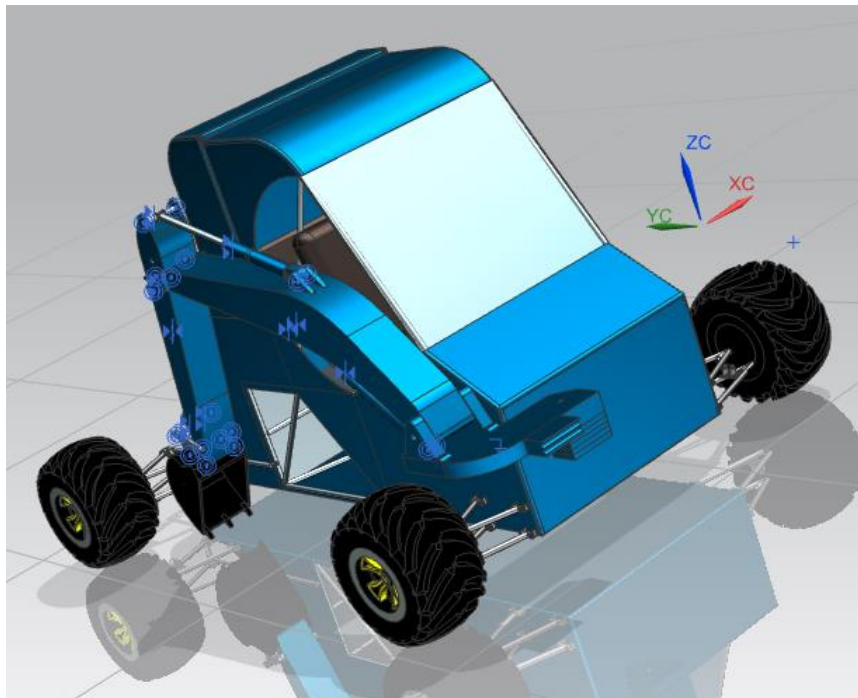


Figura 5.1.3. Vehículo excavador con pala en posición de almacenamiento.

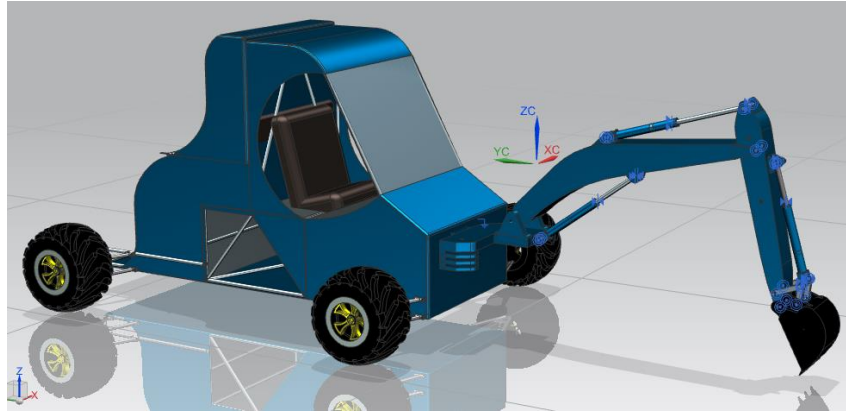


Figura 5.1.4. Vehículo excavado en posición de trabajo.

5.2. Conclusiones

Después de realizar distintas y variadas iteraciones, de acuerdo con el trabajo presentado, se puede concluir que el brazo excavador diseñado puede ser utilizado como base para la fabricación de un prototipo que ayudará en el movimiento de tierras, ya que cumplió tanto con los objetivos planteados como con la lista de métricas obtenidas acorde a las necesidades del servicio comunitario.

En primer lugar el diseño propuesto se menciona factible ya que permite una gran movilidad en espacios reducidos y puede ser aplicado en cualquier tipo de operación de ligera construcción.

Se demostró con base en cálculos que la masa a levantar y el volumen a ocupar es razonable con las especificaciones solicitadas, lo que permite tener un ciclo de trabajo eficiente en cada carga y descarga. Además de que compite con la capacidad de lo existente en el mercado.

Por otra parte, se pudo observar que las piezas diseñadas soportan los esfuerzos máximos con un coeficiente de seguridad unitario como se había establecido. Además, los desplazamientos mostrados son menores para los tres casos, al espesor en la placa que es de 20 [mm.]. Por lo tanto las piezas también son

seguras en aspectos de deformación con condiciones de cargas aplicadas cíclicas.

Gracias al rango de operación obtenido se puede observar que las actividades a desempeñar del mismo pueden ser variadas desde la realización de zanjas, carga, transporte y descarga de volúmenes reducidos de material. Sin embargo hay que tener en consideración que elevar la pala a su altura máxima podría ocasionar un vuelco en la maquinaria completa.

Por último, tener la posibilidad de colocar la pala a un costado en el diseño permite no solo tener una herramienta de excavación sino un sistema de transporte en donde la visibilidad no será obstruida, al final el diseño creado es como tener dos artículos en uno.

CAPITULO 6. TRABAJO A FUTURO

El presente diseño aunque cumple con las especificaciones y objetivos planteados, tiene muchos aspectos de mejora para concluir el producto final.

Se pretende realizar un análisis completo del vehículo excavador completo involucrando chasis y la pala excavadora para conocer el comportamiento del vehículo excavador final ya que en el presente trabajo solo se realizó para la herramienta de manera independiente.

Una vez realizado este análisis quedaría pendiente la fabricación de un prototipo en donde se pondría a prueba el mismo ya que como se mencionó en el capítulo 4 existen muchas suposiciones que se toman dentro del análisis que puede diferir un poco con la realidad.

Por último, el proyecto da pie una vez terminada la fabricación diseñar el control y automatización del mismo ya que como se sabe las tareas realizadas pueden llegar a ser tediosas y generar errores humanos. Sin embargo el enfoque dado una vez automatizado sería diferente ya que los costos se incrementarían así como el mantenimiento del mismo vehículo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Karl T.Ulrich-Steven D.Eppinger, “Product Design and development”, pp.116-120, Fifth edition.
- [2] David G. Ullman, “The Mechanical Design Process”, pp. 31-35, Fourth edition.
- [3] Armando Alvarado Chaves, “Maquinaria y mecanización agrícola”, pp.12-17, Editorial EUNED.
- [4] Paul Galabru, “Maquinaria General en obras y movimientos de tierras”, pp.254-263, Editorial Reverté. 2002.
- [5] C. S. Krishnamoorthy, “Finite Element Analysis Theory and Programming”, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, pp. 67, 68,69 .Second edition.
- [6] “Design and structural optimization of backhoe attachment of mini hydraulic excavator” for construction work, Patel Bhaveshkumar Prahladbhai, M.S. Thesis, Shri Jagdishprasad Jhabarmal Tibarewala University Department of Computer Science & Engineering, Vol.7, 8 y 9. , India, 2012.
- [7] <http://www.saemexico.org/>