



CENTRO DE INGENIERIA Y DESARROLLO
INDUSTRIAL

PROYECTO INDUSTRIAL TERMINAL

**Sistema robotizado para el diagnóstico y monitoreo
automático de las condiciones operativas en líneas de
transmisión de 230 kV y 400 Kv**

005005

PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD EN
“TECNOLOGO EN MECATRONICA”

PRESENTA

Alumno: Miriam Michael Mar Sisniega

Tutor de Planta: Dr. Luis del Llano Vizcaya

Tutor Académico: Dr. Luis del Llano Vizcaya

QUERETARO, QRO.2009



Contenido

TITULO	1
1.- INTRODUCCION	1
1.1.- ANTECEDENTES	1
1.2.- DEFINICION DELPROYECTO.....	2
1.3.- JUSTIFICACION	2
1.4.- OBJETIVOS	3
1.4.1.- OBJETIVOS GENERALES.....	3
1.4.2.- OBJETIVOS PARTICULARES	3
2.- FUNDAMENTOS.....	4
2.1 INTRODUCCION AL DISEÑO MECANICO	4
2.1.1 FASES DEL DISEÑO.	4
2.1.2 TIPOS DE DISEÑOS	7
2.2 ANALISIS DEL ELEMENTO FINITO (MEF)	8
2.3 ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO POR MEDIO DE SOFTWARE	9
2.4 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)	11
2.5 SIMULACIÓN POR COMPUTADORA	12
2.6 SOFTWARE DE MODELADO Y SIMULACIÓN	12
2.6.1 Solid Works.....	13
2.6.2 COSMOS	13
2.7 BREVE RESENA DEL ESTADO DEL ARTE	16
2.7.1 Un Robot Móvil Para Inspección De Líneas De Transmisión De Energía	16
2.7.2 Resultados Preliminares En El Desarrollo De Vehiculo Compacto Teleoperador Para El Trabajo En Lineas Vivas.....	18
2.7.3 Robot Automático Monoestructural Para La Inspección De Las Líneas Eléctricas De Transmisión De Alto Voltaje	20
2.7.4 RIOL – Inspección Robótica Sobre Las Líneas De Energía	22

2.7.5.- Robot De Inspección Para Líneas De Transmisión De Alto Voltaje	24
2.7.6 Control De Un Robot De Inspección De Las Lineas De Transmisión De 110kv Basado En Metodos De Diseño De Un Sistema Experto	26
2.7.7 Reconocimiento De Obstáculos De Estructuras Limitadas Para Robot De Inspección De Las Torres De Transmisión De Energía.....	28
2.7.8 Implementación Mecánica Y Simulación De MOBOLAB, Un Robot Movil Para Las Torres De Transmisión De Energía.....	30
2.7.9 Diseño Y Validación De Robot Móvil Para Las Torres De Transmisión De Energía	33
2.7.10 Diseño Y Validación De Robot Móvil Para Las Torres De Transmisión De Energía	34
2.8 ESTRUCTURA DE LAS TORRES Y OBSTÁCULOS PRESENTES EN LINEAS DE TRANSMISIÓN DE ELECTRICIDAD	36
2.8.1 Estructura de torres	36
2.8.2 Obstáculos comunes a lo largo de la línea	37
2.9 ANÁLISIS DE MECANISMOS EXISTENTES.....	38
2.9.1 Requerimientos	38
2.10 Selección de Modelos Bases	41
3.-.DESARROLLO	41
3.1.- PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS	41
3.1.1 Componentes de propuestas CIDESI 2	42
A continuación se describen todos los elementos que forman el diseño CIDESI 2, estos son clasificados en 2 categorías: manufacturados (diseños propios de CIDESI) y comerciales, recordando que cada uno de estos cumple con los requerimientos establecidos por CFE para que el Robot cumpla con su labor.	42
3.1.2 Componentes Manu facturables (Diseñados).....	42
3.1.3 Componentes Comerciales.....	48
3.2 ESTUDIO DE MOVIMIENTOS.....	50
3.2.1 Secuencia de liberación de obstáculos	50
3.2.2 Descripción de secuencia de Liberación de Obstáculos.....	52

3.2.3 .Estudio de Pares y Fuerzas de desplazamiento	53
3.2.4 Propuesta de motores	58
3.2.6 Características del robot diseñado.....	69
3.2.5 Justificación De La Selección Del Material	70
4.-RESULTADOS	73
4.1 ANÁLISIS ESTÁTICO MEF	73
4.1.1 Propiedades del Estudio.	73
4.1.2 Unidades.....	73
4.1.3 Propiedades del Material.....	73
4.1.4 Restricción.....	78
4.1.5 Carga	78
4.1.6 Información del Mallado.....	78
4.1.7 Resultados del Estudio	78
4.1.8 Gráficas de resultados	79
6.-BIBLIOGRAFÍA	84

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Fig. 1 Definición del proceso de Diseño (2004) [6].....	8
Fig. 2. Ejemplo de solución en un estudio MEF	11
Fig. 3 COSMOS Motion 2008 [22].....	14
Fig. 4 COSMOS Works 2008[22].....	15
Fig. 5 Configuración básica de robot móvil. 1991[14]	17
Fig. 6 El carro de deshielo teleoperador 2000 [11].....	19
Fig. 7 Robot monoestructural 2003 [9]	21
Fig. 8 RIOL mockup 2004 [19].....	23
Fig. 9 Configuraciones del robot –brasil 2004 [16]	25
Fig.10 Transposición.....	26
Fig. 11 La configuración del robot de tres brazos 2005 [20]	27
Fig. 12 Estructura montada en Conductor 2006 [5].....	29
Fig. 13 Obstáculos en las líneas de transmisión de energía	30
Fig. 14 Mecanismo MoboLab: 1) El mecanismo de agarre, 2) de conducción del sistema, 3) uno de los tres mecanismos de brazo y 4) del brazo de conducción del mecanismo 2008 [12].....	32
Fig. 15 LineScout 2008 [10]	34
Fig. 16 Robot Cidesi 1	35
Fig. 17 Estructuras torres Tipo C y 2R	36
Fig. 18 Principales obstáculos en líneas.....	37
Fig. 19 Robot Cidesi 2	41
Fig. 20 Estructura de cuerpo para la articulación diseñada.....	42
Fig. 21 Sistema de seguridad de sujeción rediseñado	43
Fig. 22 Rueda motriz rediseñada.....	44
Fig. 23 Carcasa de Motores.....	46
Fig. 24 Caja Porta Baterías.....	46
Fig. 25 Soporte de unión L.....	47
Fig. 26 Perfil Bosh	48
Fig. 27 Riel de Desplazamiento	49
Fig. 28 Husillo Trapezoidal.....	49
Fig. 29 Secuencia de Liberación.	51
Fig. 30 Ejemplo de liberación en obstáculos adyacentes	52
Fig. 31 Curva del torque requerido-Motor 1	54

Fig. 32 Curva del torque requerido-motor2	55
Fig. 33 Curva del torque requerido- motor de doble eje	56
Fig. 34 Curva del Torque requerido del motor balance.	57
Fig. 35 Análisis: Factor de Seguridad	79
Fig. 36 Análisis de Tensión.....	80
Fig. 37Análisis: Desplazamiento	81
Fig. 38Análisis: Deformación unitaria.....	82
Fig. 39 Robot Diseñado Cidesi 2	83
Tabla 1 Proceso de Diseño.....	4
Tabla 2.Fases de Análisis y Delimitación	5
Tabla 3 REQUERIMIENTOS.....	40
Tabla 4 Propiedades de los polímeros.....	45
Tabla 5 Características del Sistema de Reducción.....	59
Tabla 6 Dimensiones Corona	60
Tabla 7Dimensiones Sin-Fin.....	60
Tabla 8 Características del Sistema de Reducción.....	61
Tabla 9 Dimensiones Corona	62
Tabla 10 Dimensiones Sin Fin	62
Tabla 11 Especificaciones Motor BG75	64
Tabla 12 Especificaciones Motor APPS17	66
Tabla 13 Especificaciones Motor RP23	67
Tabla 14 Especificaciones Motor DX6.....	69

TITULO

Sistema robotizado para el diagnóstico y monitoreo automático de las condiciones operativas en líneas de transmisión de 230 kV y 400 Kv

1.- INTRODUCCION

El Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial se encuentra actualmente desarrollando diversos proyectos para empresas y compañías de México. Este trabajo está enfocado al proyecto que lleva por nombre sistema robotizado para el diagnóstico y monitoreo automático de las condiciones operativas en líneas de transmisión de 230 kv y 400 kv de la empresa CFE

La Subdirección de Transmisión y Transformación de Comisión Federal de Electricidad (CFE) tiene por objetivos operar confiablemente los elementos que integran la transmisión y transformación, así como mantenerlos en condiciones óptimas de operación a lo largo de su vida, garantizar la disponibilidad y confiabilidad de la red eléctrica de potencia para satisfacer la demanda de energía eléctrica y debido a esta demanda En el siguiente documento se presenta el desarrollo del diseño conceptual y simulación del modulo mecánico de un sistema robotizado.

1.1.- ANTECEDENTES

El tiempo invertido en inspección y diagnóstico es grande y los resultados del análisis requieren de expertos en la supervisión de líneas de transmisión, lo que deriva en fallas técnicas latentes que podrían interrumpir el suministro de energía, el cual penaliza no sólo en el gasto relacionado con la reparación de la línea afectada sino en todo lo relacionado con la no continuidad del servicio provocando un conjunto de repercusiones generales a la red de transmisión y que podría incluso, en algunos casos, afectar al consumidor.

Con el envejecimiento, las líneas de transmisión presentan fallas en sus elementos constitutivos debido a causas ambientales y eléctricas que ocasionan desgastes térmicos, mecánicos y químicos. La única forma de prevenir daños derivados de estos tipos de fallas es la supervisión para mantenimiento preventivo, en la actualidad son necesarias alternativas que disminuyan el

riesgo y los costos en esta actividad. Con el adelanto tecnológico mundial en centros de investigación y compañías privadas de diversos países como lo son Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, Brasil, Portugal y algunos países del continente asiático como lo son China y Japón ha sido posible el desarrollo de robots que permiten llevar a cabo esta tarea, de éstos se destacan dos tipos principales de sistemas desarrollados: vehículos aéreos no tripulados (UAV's) dotados de equipos electrónicos y robots semi-autónomos que se desplazan sobre la línea de transmisión o hilo de guarda.

Estos sistemas presentan desventajas como la dificultad para seguir una ruta específica sin control humano o liberar obstáculos. A pesar del avance en las investigaciones, la mayoría de estos sistemas se encuentran aún en el estado del arte y existen varias líneas de investigación que buscan una solución, sin haberse definido una tendencia única en el desarrollo de la misma.

1.2.- DEFINICION DELPROYECTO

El presente trabajo es llevado a cabo sobre el Diseño y simulación de un sistema conceptual robotizado para el diagnóstico y monitoreo que permita determinar las condiciones operativas de las líneas de transmisión de 230 kV y 400 kV.

1.3.- JUSTIFICACION

El proyecto pretende optimizar los procesos de monitoreo y diagnostico de líneas de transmisión, con el desarrollo de tecnología y diseño nacional, con el fin de reducir tiempos, riesgos de pérdida de vidas o accidentes y costos, sustituyendo las verificaciones efectuadas por recursos humanos los cuales están sujetos a error de apreciación.

1.4.- OBJETIVOS

1.4.1.- OBJETIVOS GENERALES

Diseño conceptual y simulación del modulo mecánico de un sistema robotizado para el diagnóstico y monitoreo que permita mediante la instalación de diversos dispositivos de medición e inspección, determinar las condiciones operativas de las líneas de transmisión de 230 kV y 400 kV.

Para obtención de los siguientes objetivos

- ✓ Desarrollo de tecnología nacional
- ✓ Contribución a la definición de una tendencia en el desarrollo de este tipo de sistemas.
- ✓ Mejora del desempeño de las líneas de transmisión.
- ✓ Reducción en el costo de operación del proceso de transmisión de energía eléctrica.
- ✓ Visualización de tecnología Mexicana en este tipo de robots.

1.4.2.- OBJETIVOS PARTICULARES

- ✓ El robot sea capaz de moverse por el/los conductor(es) de una de las fases de las líneas de muy alta o extra-alta tensión.
- ✓ Debe tener dimensiones que no interfieran con la distribución de campo eléctrico e incrementen el riesgo de falla de la línea de transmisión.
- ✓ Las dimensiones de la estructura deben permitir la liberación de los principales obstáculos que se presentan en la línea y el cruce entre torres.
- ✓ La estructura debe de proveer espacio y soporte para los diversos dispositivos de medición
- ✓ La estructura del robot debe ser ligera pero a su vez resistente,
- ✓ Debe contar con un sistema de sujeción mecánica que permita posicionarlo y retirarlo del/los conductor(es) de la línea de transmisión mediante el equipo de trabajo en línea viva.
- ✓ El diseño de los mecanismos de la estructura debe considerar la utilización de la menor energía posible (torque de motores).

2.- FUNDAMENTOS

2.1 INTRODUCCION AL DISEÑO MECANICO

La primera definición de DISEÑO que debemos conocer es la del Internacional Council of Societies of Industrial Design (I.C.S.I.D.); desde 1959 define el diseño como: “El arte de imaginar y crear cosas útiles capaces de satisfacer necesidades, manifiestas o latentes, del individuo o de la comunidad”.

2.1.1 FASES DEL DISEÑO.

El proceso de diseño se realiza en una serie de fases que se pueden concretar en:

1	• Analisis y Delimitacion
2	• Diseno Conceptual
3	• Desarrollo de la Solucion
4	• Realizacion y comercializacion

Tabla 1 Proceso de Diseño

En cada fase se efectuará secuencialmente la evaluación de los resultados que determine la decisión de continuar o abandonar el proyecto, o reciclar el proceso a etapas anteriores.

FASE DE ANÁLISIS Y DELIMITACIÓN.

Los apartados que deben revisarse en esta fase, son los que aparecen en la siguiente tabla.

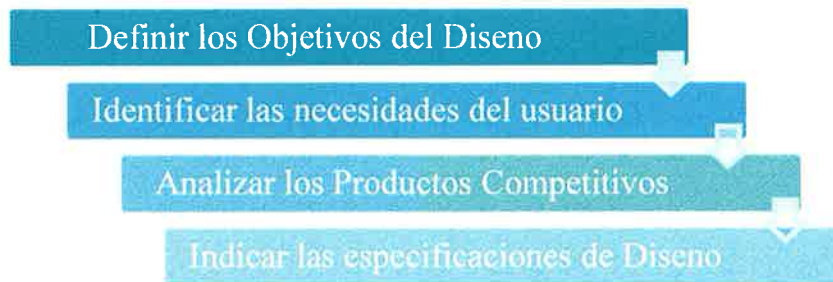


Tabla 2. Fases de Análisis y Delimitación

Los problemas que resuelve un ingeniero son para cubrir una necesidad y no están claramente definidos en su origen, por ello deben identificarse antes de abordar su solución. Para esta fase de identificación de necesidades, es necesario disponer de la información precisa que puede proceder de fuentes internas o externas de la empresa.

Entre las fuentes internas, el ingeniero debe consultar con el departamento comercial que, por su contacto con los clientes y el mercado en general, podrá informar sobre las necesidades y exigencias de los clientes, así como de las ventajas e inconvenientes de los productos competidores.

Entre las fuentes externas a la empresa se debe recabar información sobre las empresas competidoras, patentes y modelos que nos proporcionen soluciones previas, hay que conocer la legislación vigente, y consultar, en caso necesario, los centros de información científica y técnica.

FASE DE DISEÑO CONCEPTUAL.

Esta fase consta, a su vez, de varias sub-fases que se desarrollan a continuación.

Generación de ideas. La fase de conceptualización, imprescindible en el proceso de diseño, abarca aspectos como la exploración de las diferentes posibilidades existentes para llegar a un resultado o la redefinición del problema de partida. La creatividad es la característica fundamental.

Evaluación de las ideas. En esta etapa hay que ser sobre todo analíticos y objetivos, ya que evaluación significa análisis crítico del total de las ideas generadas, y de los productos similares y sustitutivos ya existentes, debiendo responder cada idea a una necesidad, manifiesta o latente, del mercado.

La forma es uno de los atributos básicos del diseño. La forma debe ser siempre consecuencia de la función, de tal modo que ésta nunca puede verse afectada o condicionada por la forma, lo cual no quiere decir que no pueda ser revisada la colocación, distribución y ordenación de los componentes del producto, con el fin de lograr mejores resultados u objetivos formales concretos. Los métodos gráficos son otra forma de análisis de una solución, los planos dibujados a escala y los diseños en 3D por ordenador, ayudan a establecer la interrelación de los movimientos de las partes y la estética en la evaluación del diseño.

En la evaluación de las alternativas, el método de “**análisis de valor**”, proporciona criterios de diseño desde el punto de vista de ahorro de costes y elimina las carencias del producto. En este método, los productos se desmenuzan en todas sus piezas y se detallan las operaciones productivas, de montaje, etc. necesarias para cada una de ellas, lo que permite un cálculo preciso de los costes. Después, se compara cada una de estas piezas y su coste con el valor que aportan al producto, valor que se mide mediante parámetros elegidos en función del grado de satisfacción del cliente.

Criterios ergonómicos. Ello supone considerar el conjunto de factores que hacen confortable un producto. Lo cual, significa tratar de mejorar cuestiones tales como facilitar el esfuerzo necesario que va a originar su uso, su accesibilidad, visibilidad, ruido, nivel de seguridad, mantenimiento, etc. En definitiva, significa plantearse que si un producto va destinado al hombre, no puede concebirse de espaldas a él.

FASE DE DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.

Una vez elegida la solución, deben determinarse los materiales más idóneos valorando su robustez, su ductilidad, la fatiga prevista, la función a realizar, su mayor o menor sencillez de construcción, la forma deseada, etc.

En esta etapa debe verificarse que las ideas elegidas se pueden construir en la propia empresa, o en empresas auxiliares, descartando aquellas que desbordan la capacidad técnica de la empresa. Se definirán todos aquellos diseños de detalle no resueltos en las fases previas, completando los planos necesarios para su fabricación.

Diseño de un prototipo: A este punto, elegida la idea final se recopila la mejor de las ideas de los diseños previos, se pueden citar dos posibles casos:

1.- Diseño del modelo 3D en el ordenador y análisis mediante modelos informáticos por elementos finitos, análisis térmicos, flujos de inyección de plástico en moldes, etc.

2.- Fabricación de un prototipo a escala reducida, o incluso a escala real, para la prueba del producto. Si el modelo no se realiza por un prototipado rápido, será necesario definir previamente los planos correspondientes del prototipo y aquellos relacionados con el proceso de fabricación.

Se entiende por prueba del producto el conjunto de ensayos técnicos y pruebas de mercado que tienen por objeto colocar al producto en condiciones similares a las que se verá sometido en su comercialización y uso.

2.1.2 TIPOS DE DISEÑOS

- Diseño conceptual, en el que se plantean las configuraciones posibles, buscando una síntesis equilibrada desde una perspectiva general sin requerir una excesiva precisión, a partir de las especificaciones iniciales, los requisitos de funcionamiento y la experiencia previa. Las indefiniciones inherentes a esta fase conducen de forma inevitable a cálculos aproximados.

Así también se trata de optimizar las configuraciones seleccionadas de la fase anterior para llegar a una óptima. La simulación se presenta como una herramienta potente y versátil a partir de ahora en el proceso de diseño.

- Diseño detallado y fabricación de prototipo, en el que se desarrolla la solución anterior con cálculos, simulaciones y pruebas con prototipos, donde el coste es más elevado y los medios requeridos mayores.

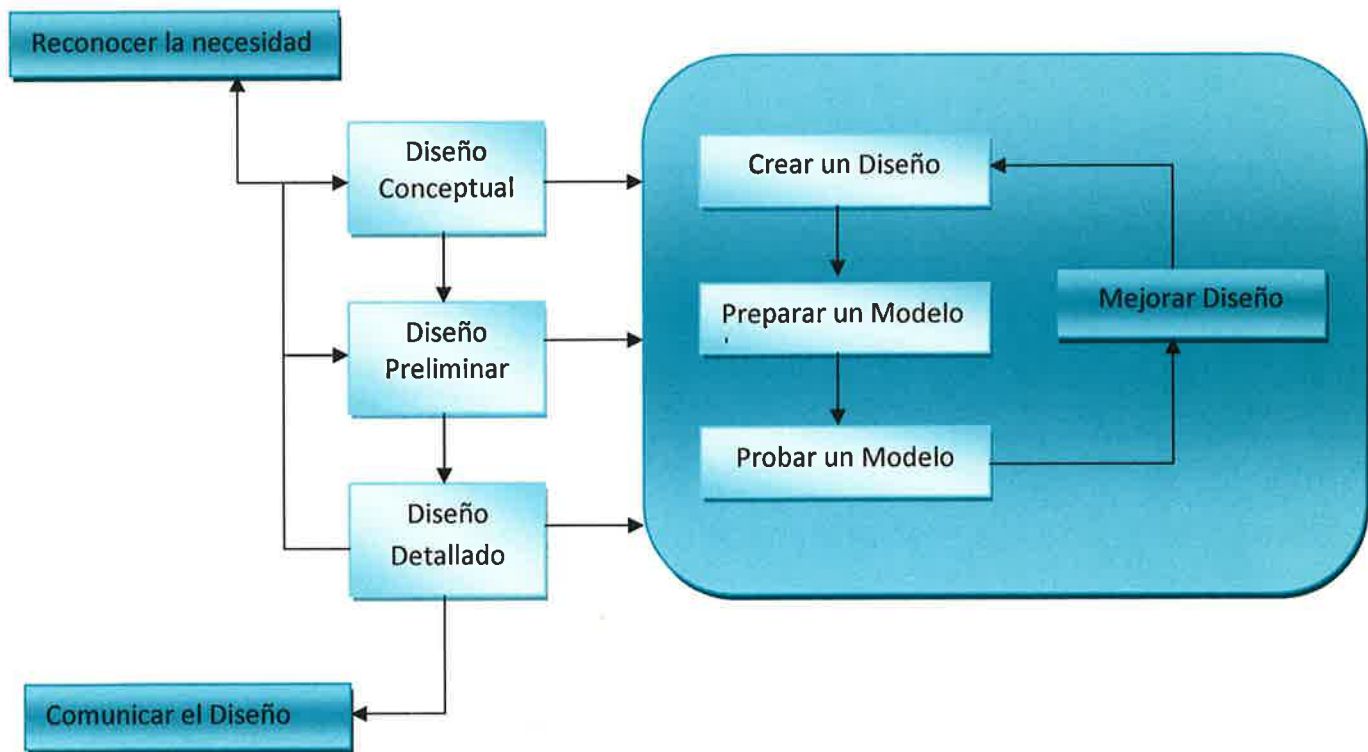


Fig. 1 Definición del proceso de Diseño (2004) [6]

Debe recalcar que el proceso de diseño no es lineal y una de sus características fundamentales es su obligada iteratividad.

2.2 ANALISIS DEL ELEMENTO FINITO (MEF)

El analisis del elemento Finito es un método numérico que se utiliza para la modelación y simulación de problemas en muchos campos de la ingeniería, tales como: análisis estructural,

transferencia de calor, mecánica de fluidos, electricidad y magnetismo o la combinación de los mismos

El MEF es una herramienta que puede ser utilizada para calcular distintos parámetros de variables pertenecientes a diversos problemas, y por lo tanto se requiere la selección del método matemático más conveniente para su solución; sin embargo el algoritmo para la resolución de problemas prevalece siendo el siguiente:

1. Seleccionar el número y tipo de elemento.
2. Aplicar el modelo matemático correspondiente al tipo de elemento seleccionado
3. Representar todos los elementos del problema mediante un arreglo matricial.
4. Aplicar las condiciones de frontera.
5. Resolver el sistema de ecuaciones obtenido al aplicar las condiciones de frontera.
6. Interpretación y análisis de resultados

2.3 ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO POR MEDIO DE SOFTWARE

Las herramientas que nos permiten por medio de un computador realizar este proceso de forma eficiente se denominan herramientas de análisis por elementos finitos, o simplemente herramientas de elementos finitos (HEF).

Estas herramientas nos permiten resolver varios problemas físicos como son: mecánica de fluidos, transmisión del calor, electromagnetismo, mecánica estructural, etc. Algunos de estos programas son: Cosmos -Catia v5 - Sap2000 - Algor - ANSYS - Pro/ENGINEER Mechanical entre otros.

El proceso para la obtención de la solución se realiza mediante las herramientas anteriormente mencionadas en la siguiente secuencia que se describe a continuación.

1. **Discretización o modelado de la estructura:** La estructura es dividida en una cantidad finita de elementos, con ayuda de un *preprocesador*. Este paso es uno de los más cruciales para obtener una solución exacta del problema, de esta forma, determinar el tamaño o la cantidad de elementos en cierta área o volumen del elemento a analizar representa una ventaja del método, pero a la vez implica que el usuario debe estar muy conciente de esto para no generar cálculos innecesarios o soluciones erróneas.

2. **Definir las propiedades del elemento:** En este paso el usuario debe definir las propiedades del elemento.

3. **Ensamblar las matrices de rigidez de los elementos:** La matriz de rigidez de un elemento, consiste de coeficientes los cuales pueden ser derivados del equilibrio, residuos ponderados o métodos de energía. La matriz de rigidez del elemento se refiere a los desplazamientos nodales al ser aplicadas fuerzas en los nodos ($K \cdot F = U$). El ensamble de las matrices de rigidez, implica la aplicación de equilibrio para toda la estructura.

4. **Aplicación de las cargas:** Fuerzas externas concentradas o fuerzas uniformes y momentos son especificados en este paso.

5. **Definir las condiciones de frontera:** Las condiciones de apoyo deben ser dadas, por ejemplo, si el desplazamiento de ciertos nodos es conocido. Usando los elementos de la frontera se pueden determinar las reacciones en los mismos.

6. **Solucionar el sistema de ecuaciones algebraicas lineales:** La secuencial aplicación de los pasos descritos, conduce a un sistema de ecuaciones algebraicas simultáneas, donde los desplazamientos nodales son desconocidos.

7. **Calcular los esfuerzos:** El usuario puede entonces calcular los esfuerzos, reacciones, deformaciones u otra información relevante. El *post-procesador* ayuda a visualizar la salida en forma gráfica.

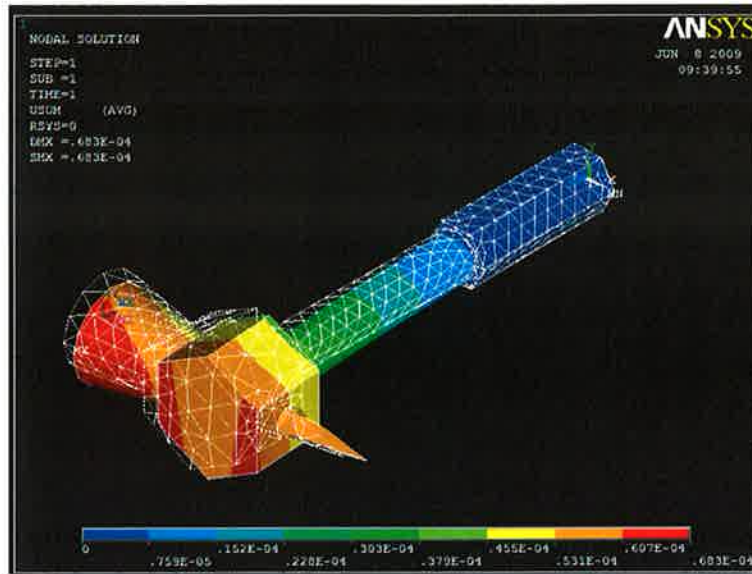


Fig. 2. Ejemplo de solución en un estudio MEF

2.4 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)

El diseño asistido por computadora, que se abrevia CAD (Computer Aided Design), es el uso de un amplio rango de herramientas computacionales que asisten a Ingenieros, Arquitectos y a otros profesionales del diseño en sus actividades. Los paquetes actuales varían desde aplicaciones basadas en vectores y sistemas de dibujo en 2 dimensiones (2D) hasta modeladores en 3 dimensiones (3D) a través del uso de modeladores de sólidos y superficies paramétricas. Se trata básicamente de una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de una interfaz gráfica. Permite diseñar en dos o tres dimensiones mediante geometría alámbrica, esto es, puntos, líneas, arcos, splines; superficies y sólidos para obtener un modelo numérico de un objeto o conjunto de ellos.

2.5 SIMULACIÓN POR COMPUTADORA

Es un proceso que busca modelar situaciones u comportamientos del mundo real por medio de un software de computadora, lo que requiere ser estudiado. Se requiere conocer el comportamiento del sistema, ya sea por cambio de variables, o quizás por predicciones o hipótesis hechas acerca del comportamiento del sistema.

Los principales objetivos de la simulación son:

- 1.- Descubrir el comportamiento de un sistema
2. - Postular teorías o hipótesis que expliquen el comportamiento observado
3. - Usar esas teorías para predecir el comportamiento futuro del sistema, es decir mirar los efectos que se producirían en el sistema mediante los cambios dentro de él o en su método de operación (tiempo en minutos).

La simulación por computadora es ahora una parte útil del modelado de muchos sistemas naturales en física, química y biología, y sistemas humanos como la economía y las ciencias sociales (sociología computacional),

2.6 SOFTWARE DE MODELADO Y SIMULACIÓN

Hoy en día se cuenta con una gran variedad de software para la realización de simulaciones y modelados por computadora, los cuales contienen suficientes recursos para crear elaborados diseños con alto grado de precisión con respecto al modelo real. A continuación daremos una breve descripción de la herramienta utilizada en este proyecto.

2.6.1 Solid Works

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

2.6.2 COSMOS

COSMOSMotion simula el funcionamiento mecánico de ensamblajes motorizados y calcula las fuerzas físicas que se generan. Mediante la determinación de factores tales como el consumo de electricidad y la interferencia existente entre las piezas, COSMOSMotion puede ayudarle a determinar si un diseño fallará, qué piezas pueden fallar y los riesgos de seguridad existentes.

COSMOSMotion trabaja dentro de la ventana de SolidWorks y utiliza la información de ensamblaje existente para generar estudios de simulación de movimiento.

- Correlación automática de relaciones de posición de SolidWorks para derivar condiciones de unión de movimiento.
- Transferencia automática de propiedades de materiales definidos en SolidWorks.

Reutilización de datos de simulación física en COSMOSMotion para obtener una simulación de movimiento realista basada en la física.

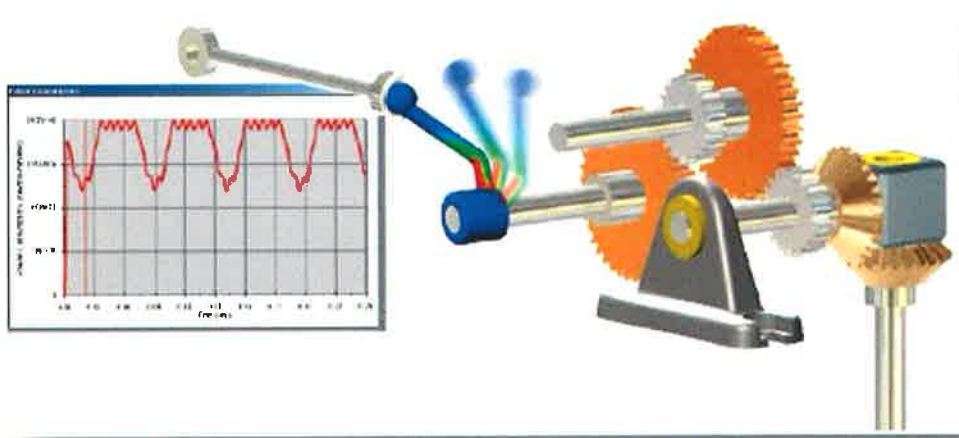


Fig. 3 COSMOS Motion 2008 [22]

COSMOSWorks

COSMOSWorks pertenece a la familia de SolidWorks este tiene la capacidad de transferir cargas para realizar análisis de esfuerzos. Con la transferencia perfecta de cargas de COSMOSMotion a COSMOSWorks, se puede visualizar los esfuerzos y desplazamientos de un componente en un solo instante de tiempo o durante todo el ciclo de la simulación.

Simulación de condiciones de funcionamiento reales.

Mediante la combinación del movimiento basado en la física con la información de ensamblaje procedente de SolidWorks, COSMOSMotion puede utilizarse en un ámbito más amplio de aplicaciones industriales.

- Estimación de la potencia máxima del motor cuando se realicen tareas como poner reflectores de antena, abrir y cerrar puertas de seguridad, manejar materiales y subir y bajar plataformas elevadoras del tipo tijeras. Asimismo, se puede ver cómo la fricción incrementará las necesidades eléctricas y el tamaño de los actuadores.
- Conocimiento detallado del rendimiento de la robótica durante el funcionamiento, por ejemplo; en la instalación de un parabrisas, o al seleccionar o colocar componentes electrónicos en placas de circuitos.

- Optimización o reducción del desequilibrio de fuerzas de un sistema rotatorio en lijadoras orbitales, máquinas de coser, ejes motor, etc.
- Modificación de la longitud del diseño de los sistemas articulados de una retroexcavadora para proporcionar un mejor rendimiento de la excavación.
- Generación de curvas CAM (perfiles) empleadas en mecanismos de avance automático y máquinas roscadoras.
- Representación de interacciones entre distintos engranajes (rectos, de trabajo, helicoidales y de piñón-cremallera) utilizados en diferentes tipos de transmisión de energía o control de movimientos.
- Realización de puestas a punto básicas de la suspensión para aplicaciones de embalado.

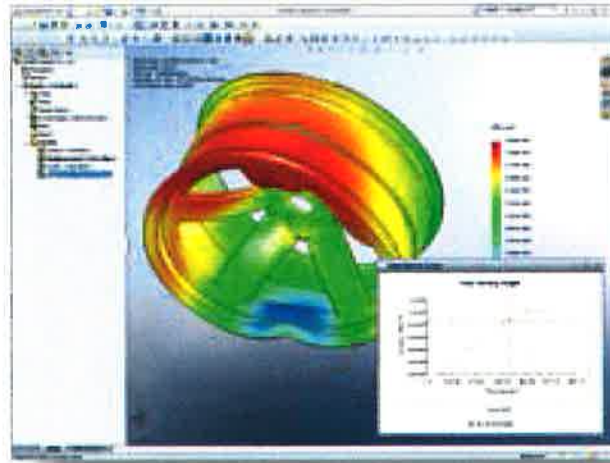


Fig. 4 COSMOS Works 2008[22]

2.7 BREVE RESEÑA DEL ESTADO DEL ARTE

A continuación se muestran una breve reseña de la investigación realizada durante la etapa 1 de los artículos y patentes más sobresalientes que proporcionan información de carácter mecánico.

2.7.1 Un Robot Móvil Para Inspección De Líneas De Transmisión De Energía

Sawada 1991 [14] (A Mobile Robot For Inspection Of Power Transmission Lines)

En este artículo se describe el desarrollo de un robot móvil que puede navegar sobre líneas de transmisión eléctrica completamente desatendido por un operador humano. Su último objetivo es automatizar la inspección del equipo de línea de transmisión de energía. Los autores han montado un modelo a escala natural funcional de un robot móvil. La exploración funcional mecánica del robot ha sido realizada y los resultados son relatados.

El robot navega sobre un cable a tierra que es localizado encima de las líneas de transmisión de poder. Este puede maniobrar sobre obstrucciones (obstáculos) creadas por el equipo subsidiario sobre el cable a tierra, así como los que impiden al cable torcerse y balancearse. También es equipado de un brazo en forma de arco que actúa como un carril de guía y le permite trasladarse entre torres de transmisión. Cuando el robot encuentra una torre, este desdobra el brazo formado de arco y lo adjunta al cable a tierra sobre los lados de enfrente de la torre. Este entonces viaja a lo largo del brazo para pasar alrededor a otro lado de la torre. Una vez que es firmemente puesto al cable del otro lado de la torre este se separa del brazo y se dobla hasta que sea necesario de nuevo.

Información útil para el análisis del estado del arte.

Mecanismo

La investigación antes mencionada dio lugar a un robot del diseño indicado en la Fig. 5, que funciona como un dispositivo de navegación que viaja sobre el cable de tierra y entre las torres. Cuando el robot encuentra un obstáculo, como una torre, este adjunta un arco en forma de brazo antes y después de la obstrucción y se desliza a lo largo del brazo como un carril de guía.

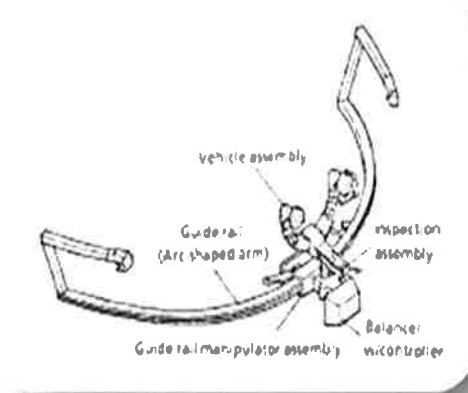


Fig. 5 Configuración básica de robot móvil. 1991[14]

En la segunda mitad de 1988, los autores montaron un modelo funcional para probar la viabilidad de tal robot t en 1989 el modelo ha experimentado una prueba de función mecánica.

Las partes mecánicas del robot se dividen en cuatro ensamblajes, tal como se indica en la Fig. 5. Estos son los vehículos montaje, carril guía de montaje manipulador, carril y balanceador con controlador.

Características generales:

Aplicación: Torres Horizontales (0 a 90)

Ejes de movimiento: 10

Longitud del carril guía: 3m

Peso: aprox. 100 Kg.

Angulo de escalada: 30 máx.

Grados de libertad

Los grados de libertad (GDL) de este robot son:

La navegación en línea recta

- Correr: 2 ejes (ruedas motrices).
- Abrazadera de ruedas: 2 ejes (Para agarrar el cable con abrazadera de ruedas).

2.7.2 Resultados Preliminares En El Desarrollo De Vehiculo Compacto Teleoperador Para El Trabajo En Lineas Vivas

Montambault 2000 [11] (Preliminary Results On The Development Of A Teleoperated Compact Trolley For Live-Line Working)

Esta invención se refiere a un carro teleoperado para las operaciones en las líneas-vivas que está bajo desarrollo en el Instituto de Investigaciones Hydro -Quebec del (IREQ). Este carro compacto y ligero es parte del desarrollo de un método innovador para descongelar los conductores y los cables de tierra.

El carro utiliza como plataforma móvil un prototipo de vehiculo con un control remoto cámara y otros instrumentos para la inspección de las líneas. Otra aplicación del vehiculo es la sustitución del cable de guarda, con el cable de tierra OPGW (o simplemente con un nuevo cable de tierra).

Información útil para el análisis del estado del arte.

Mecanismo

El diseño del vehículo está basado en el concepto de que puede ser usado para muchas aplicaciones. Esto puede ser visto como el corazón de muchos dispositivos operados remotamente para el mantenimiento de las redes de transmisión. El prototipo esta mostrado en la Fig. 3.2, consta de un carro motorizado en que un motor de mecanismo de descongelación ha sido añadido.

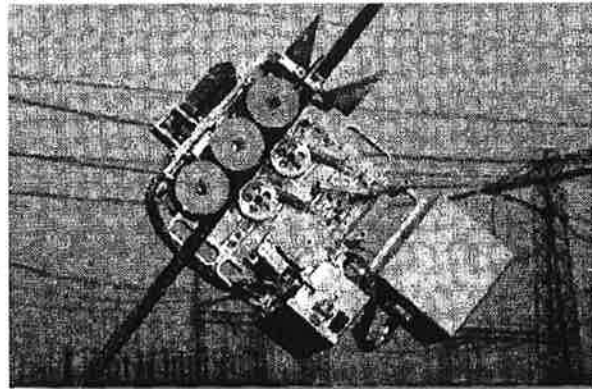


Fig. 6 El carro de deshielo teleoperador 2000 [11]

La geometría y el material de las tres ruedas de tracción se han estudiado en objeto de obtener una máxima fuerza de tracción en el cable. También es importante que el carro se adapte a diferentes conductores o cables (diámetro y juntas), sin tener que realizar ninguna modificación. La presión de las ruedas (debajo del conductor) permite que el carro viaje lo largo del alambre sin el riesgo de caer.

Además cada una de las dos ruedas de presión son montadas sobre una suspensión independiente con el fin de pasar por encima de las juntas.

La fuerza de tracción generada por el carro en el conductor es muy importante en comparación con otros carros compactos existentes. Esta característica puede ser estratégica si la tarea destinada necesita una alta fuerza de tracción del carro. La alta fuerza de tracción obtenida se ilustra en la Fig. 3.2 cuando el carro muestra un tipo de escalada de alambre con una pendiente de 52 grados.

Características generales:

- El dispositivo consta de un carro motorizado en que un motor de mecanismo descongelación ha sido añadido.
- La geometría y el material de las tres ruedas de tracción tienen una máxima fuerza de tracción en el cable.
- El carro se adapta a diferentes conductores o cables (diámetro y juntas), sin tener que realizar ninguna modificación.
- La presión de las ruedas (debajo del conductor) permite que el carro viaje lo largo del alambre sin el riesgo de caer.
- El alta fuerza de tracción causa que el carro pueda tener escaladas en pendiente con ángulos de hasta 52 grados.

2.7.3 Robot Automático Monoestructural Para La Inspección De Las Líneas Eléctricas De Transmisión De Alto Voltaje

Ming Liang 2003 [9] (High Voltage Electric Transmission Line Automatic Inspection Robot Monobody)

Esta invención se refiere a un robot patrulla de inspección automática de las líneas de transmisión de 110Kv de alta tensión. Se formó a partir de una cubierta protectora, un brazo, la unidad de motor de elevación del brazo y las ruedas pequeñas del brazo. Su brazo unidad incluye una rueda motriz, rueda motriz del eje, la banda de bloqueo, el bloqueo de la rueda de banda,

motor principal, motor principal del eje de salida, apertura y cierre de motor, así como apertura de cierre de tornillo.

Información útil para el análisis del estado del arte.

Mecanismos

Por medio de las imágenes incluidas en el documento de la patente se pueden observar las diversas partes del mecanismo.

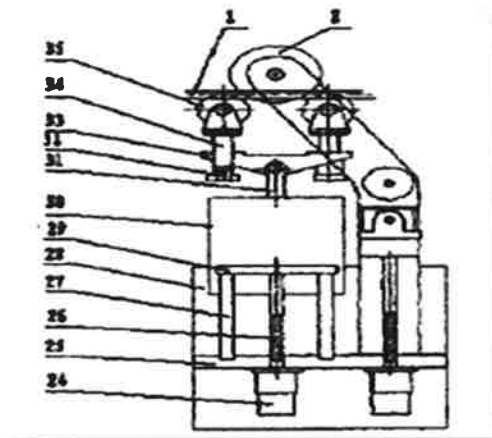


Fig. 7 Robot monoestructural 2003 [9]

Características Generales

- La visualización de los diversos componentes mecánicos del diseño.
- El uso de un robot de una sola estructura puede rediseñarse para cumplir con los requerimientos de nuestra aplicación.
- Estructura ligera.
- Uso de pocos motores.

2.7.4 RIOL – Inspección Robótica Sobre Las Líneas De Energía

Tavares 2004 [19] (Robotic Inspection Over Power Lines)

En este trabajo se describen el desarrollo en curso sobre un prototipo de robot capaz de moverse en las líneas de energía eléctrica ejecutando tareas de inspección. La inspección de la infraestructura de las líneas de energía, vigilancia de incendios forestales, vida silvestre y el estudio son algunas de las posibles aplicaciones.

El robot está compuesto por un cuerpo central con tres brazos en serie. Dos de estos se utilizan para proporcionar el movimiento, utilizando una variación estáticamente estable del movimiento del brazo deslizante, mientras que el tercer brazo se utiliza para asegurar la estabilidad y ayudar a la superación de los obstáculos en las líneas. Además, este tercer brazo ayuda a mantener los pares de torsión requeridos por las otras dos ramas dentro de valores razonables. Las dos juntas de rotación vertical permiten la rotación de las articulaciones del robot para realizar las curvas y control de su centro de masa. El documento presenta los resultados de la simulación básica y los detalles del prototipo bajo construcción.

Información útil para el análisis del estado del arte.

Mecanismos

La estructura de RIOL está compuesta por tres brazos unidos al cuerpo central. Dos dobles brazos eslabones proporcionan la base para los puntos de tracción / propulsión.

El tercer brazo se utiliza sólo para prestar apoyo de toda la estructura con el objetivo de reducir los pares de torsión requeridos cuando supera los obstáculos en la línea. Por ejemplo, cuando supera los marcadores de aviones siempre el robot agarra la línea en dos puntos, proporcionando un apoyo estable para el cuerpo en conjunto.

El cuerpo central está compuesto por tres bloques conectados a través de juntas de rotación vertical. Estos permiten a RIOL robot controlar su centro de masa y se mueven a través de líneas

con direcciones diferentes. El tercer brazo es esencialmente una junta lineal vertical, capaz de mantener al robot solo y enrollado al evitar obstáculos.

El robot prototipo está actualmente en desarrollo, con la mayoría de los componentes mecánicos ya construido. La Fig.8 muestra un tamaño completo del prototipo. Motores DC estándares, capaz de entregar hasta 30N.m se utilizan para accionar las plataformas de codos y hombros. Estos motores son controlados utilizando también controladores conectados a través de un bus CAN. La estructura de los eslabones es de rígido tubo de PVC, 0,4MP, con 3 mm de espesor de pared, debido a su peso ligero, bajo costo, fácil de tallar, y de alta resistencia eléctrica.

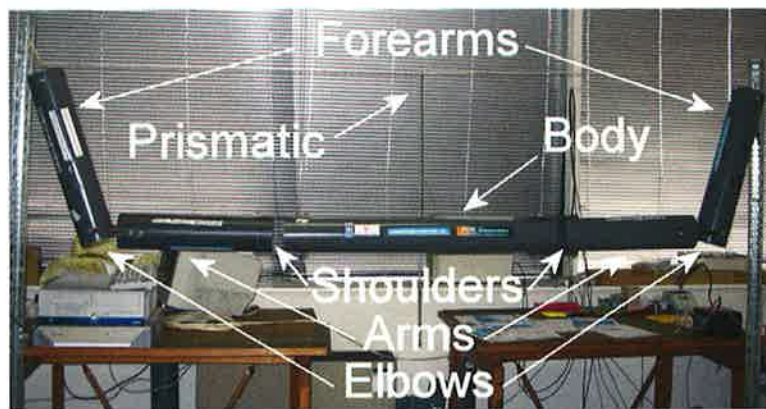


Fig. 8 RIOL 2004 [19]

Características Generales

- La estructura de RIOL está compuesta por tres brazos unidos al cuerpo central.
- Dos dobles brazos eslabones proporcionan la base para los puntos de tracción / propulsión. El tercer brazo se utiliza sólo para prestar apoyo de toda la estructura con el objetivo de reducir la pares de torsión.
- El cuerpo central está compuesto por tres bloques conectados a través de juntas de rotación vertical. El tercer brazo es esencialmente una junta lineal vertical.
- El robot prototipo tiene motores DC estándares, capaz de entregar hasta 30 N.m se utilizan para accionar las plataformas de codos y hombros.

- La estructura de los eslabones es de rígido tubo de PVC, 0, 4MP, con 3 mm de espesor de pared.

2.7.5.- Robot De Inspección Para Líneas De Transmisión De Alto Voltaje

Souza 2004 [16] (Inspection Robot For High-Voltage Transmission Lines)

En este trabajo, un robot móvil se presenta como una herramienta para automatizar las operaciones de inspección. Este robot, actualmente es teleoperado, mientras viaja sobre los cables, recoge imágenes de cable, a través de cámaras, y los envía a una base de operaciones.

Información útil para el análisis del estado del arte.

Mecanismos

Durante el desarrollo del sistema mecánico del robot capaz de moverse a lo largo de un cable de una línea de transmisión es necesario el desarrollo de la locomoción y la actuación de los subsistemas y un mecanismo de transposición en las torres. La metodología de desarrollo del sistema mecánico incluye el estudio de los efectos del viento sobre el robot. Dependiendo de los resultados, la configuración del robot puede ser cambiada, ya que se prevé, en este proyecto, la visualización del cable, también. A continuación, algunas posibles configuraciones se estudiaron al aplicar los requisitos del proyecto y, por último, el movimiento de energía se calculó basado en la masa del robot y las poleas del sistema de tracción del vehículo.

Por último, varias configuraciones del robot se llevaron a cabo para ser evaluados en pruebas de laboratorio.

Durante el desarrollo de la arquitectura mecánica para el robot de inspección, más allá de todos los requisitos relacionados al efecto del viento, los requisitos para permitir la incorporación del

robot las torres de conexiones de cable fueron tomados en consideración. Una metodología evolutiva se adoptó para diseñar el prototipo de robot mecánico. El ciclo de diseño fue incremental y consiste en desarrollar una configuración mecánica, desarrollo detallado de la mecánica del proyecto, construir un prototipo de prueba y desarrollar mejoras. Varias configuraciones de las líneas de transmisión de inspección robot se propusieron y fueron probadas. La Fig. 9 muestra todas estas configuraciones.

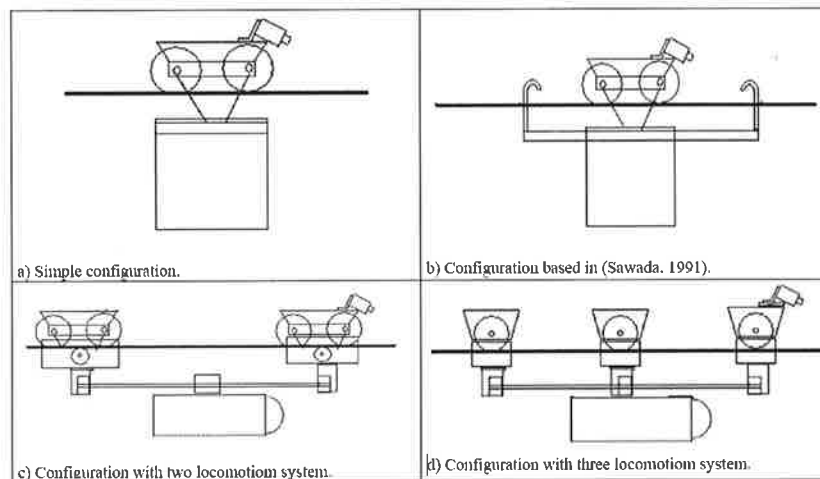


Fig. 9 Configuraciones del robot –brasil 2004 [16]

La transposición en las torres se produce de manera similar mostrada en la Fig.3.6 como sigue: el primer conjunto de ruedas toca el cramp(pieza metálica) que sostiene el cable, la caja se mueve hacia atrás a lo largo de la pista, como se visualiza en la figura; en este momento el conjunto de guías curvas y las ruedas traseras se mueve hasta que superar el herraje; entonces la guía del conjunto de ruedas vuelve al cable, la caja se mueve hacia adelante hasta estar debajo del mismo, el robot se mueve hacia atrás hasta que el conjunto de ruedas supera el herraje.

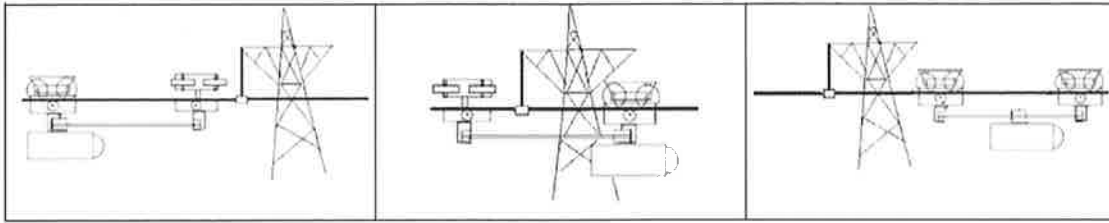


Fig.10 Transposición

Características Generales

- La metodología de desarrollo del sistema mecánico incluye el estudio de los efectos del viento sobre el robot.
- La elección de la configuración Sawada como una opción.
- Las cuatro diversas configuraciones mecánicas presentadas desde el uso de un solo brazo como mecanismo de agarre evolucionando a dos manipuladores que provee mucha más versatilidad al igual que con el uso de tres brazos disminuye la misma pero ofrece mayor estabilidad.

2.7.6 Control De Un Robot De Inspección De Las Líneas De Transmisión De 110kv Basado En Métodos De Diseño De Un Sistema Experto

Zhou 2005 [20] (Control Of An Inspection Robot For 110kv Power Transmission Lines Based On Expert System Design Methods)

En el documento se presentan los resultados de experimentos en línea que muestran que la estrategia de control puede servir de guía en el robot de inspección para patrullar a lo largo de las líneas de transmisión y esquivar diversos obstáculos típicos de manera eficiente. En los lugares de esquinas y curvas de la línea de transmisión más obstáculos complicados se producen, por lo que dos sub-sistemas expertos trabajan juntos y guían al robot para pasar por las locaciones sin problemas. En esos lugares, obviamente disminuye la velocidad del robot, esto debido a las consideraciones de seguridad.

Información útil para el análisis del estado del arte.

Mecanismos

Después de estudiar cuidadosamente la estructura de 110kV de líneas de transmisión eléctrica, se han obtenido un conjunto de requisitos para las configuraciones mecánicas del robot. La estructura mecánica del robot se muestra en la Fig. 11. Ello consta de cinco partes principales a conocer, el mecanismo de conducción del vehículo, ensamble de sistema de freno, brazos flexibles, ensamble de abrir y cerrar pinza, fuente de alimentación y controlador.

El robot puede ser utilizado para la inspección de las líneas de transmisión de 110kV con el tipo de cable LGJ185. Cuenta con 16 ejes de mociones para proporcionar la flexibilidad requerida para el movimiento del robot. Tiene una longitud de 1,2 m, alcanza un ángulo máximo de escalada de 60.

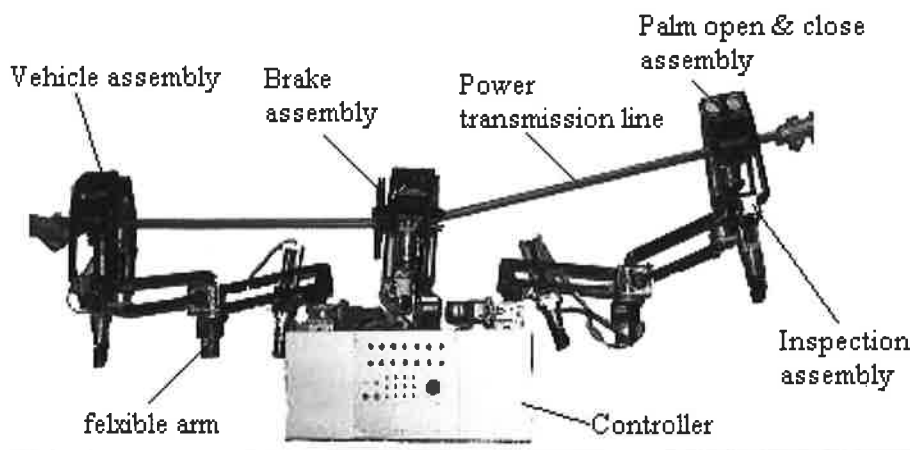


Fig. 11 La configuración del robot de tres brazos 2005 [20]

Las ruedas motrices están diseñadas para ser conectadas flexiblemente a la estructura por lo que se puede abrir a un espacio de repuesta para cierre de pinzas, suspensiones y otros obstáculos. El marco de apoyo para las ruedas motrices tiene un hueco en la estructura que permite al robot el paso de los amortiguadores sin que ningún tipo de acciones adicionales que deban tomarse en

cuenta. Esta estructura mejora en gran medida la velocidad de viaje del robot. El brazo flexible está estructurado con conexión en cascada de doble bisagra cuatro palancas que mantiene un ángulo fijo y el nivel de las palmas cuando los brazos corto y largo se mueven hacia arriba y hacia abajo. Esta estructura da lugar a una ventaja para los controladores de conjunto para que sean mucho más simples.

Características generales

- La estructura mecánica del robot muestra cinco partes principales: mecanismo de conducción del vehículo, ensamble de sistema de freno, brazos flexibles, ensamble de abrir y cerrar pinza, fuente de alimentación y controlador.
- Cuenta con 16 ejes de para el movimiento del robot.
- Tiene una longitud de 1,2 m.
- Alcanza un ángulo máximo de escalada de 60.
- Es flexible a la liberación de diversos obstáculos debido a sus ruedas motrices que están diseñadas para ser conectadas flexiblemente a la estructura.
- El marco de apoyo para las ruedas motrices tiene un hueco en la estructura que permite el paso de los amortiguadores sin ningún tipo de acciones adicionales.

2.7.7 Reconocimiento De Obstáculos De Estructuras Limitadas Para Robot De Inspección De Las Torres De Transmisión De Energía

Fu Siyao 2006 [5] (Structure-Constrained Obstacles Recognition For Power Transmission Line Inspection Robot)

Este robot de inspección planifica su comportamiento para detectar los obstáculos según sus tipos. Sin embargo, en la mayor parte de los casos, descubrir los obstáculos a lo lejos es complejo y es una tarea difícil. Por esta razón, un novedoso y rápido algoritmo de reconocimiento de obstáculos es diseñado basado en la estructura de una línea de transmisión de energía de 220KV.

El principio básico de la arquitectura y el algoritmo son dados en esta propuesta, son tomados en cuenta tres obstáculos típicos en la línea de transmisión de energía, aislantes de cables, contrapesos y la suspensión de abrazaderas se pueden reconocer con gran precisión. Experimentos en la línea de transmisión demuestran su eficacia. Este método puede contribuir al proceso de liberación de obstáculos del robot móvil.

Información útil para el análisis del estado del arte.



Fig. 12 Estructura montada en Conductor 2006 [5]

Considerando los requerimientos para el diseño mecánico y la estructura de las líneas de transmisión de energía, nuestro robot de inspección tiene dos brazos, donde cada uno consta de un rodillo impulsor. El rodillo impulsor en cada brazo se diseñó para poder soltar y agarrar la línea. Por lo tanto, el brazo se diseña con una estructura arriba/abajo (up/down). Cuando el robot encuentra los obstáculos, las partes impulsoras (llantas), se sueltan de la línea, y el robot es conducido hacia adelante por los motores de rueda-conducción en el antebrazo; hay un movimiento relativo entre el brazo posterior y el antebrazo en este momento, después de que el robot supera el obstáculo, el brazo posterior baja y agarra la línea en el otro lado de el obstáculo.

Así el robot pasa los obstáculos y continúa su movimiento hacia adelante o hacia atrás a lo largo del cable.

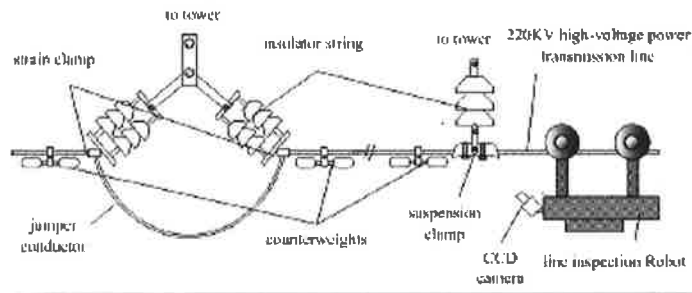


Fig. 13 Obstáculos en las líneas de transmisión de energía

Características Generales

- La estructura de este robot provee gran estabilidad y versatilidad por el uso de dos manipuladores a los extremos.
- Uso de Sistemas de propulsión por parte de tornillos de poder
- El robot puede planificar su comportamiento para detectar los obstáculos
- El robot de inspección constara de dos brazos, cada uno con un rodillo impulsor.
- Los rodillos impulsores en cada brazo se diseñaron para poder soltar y agarrar la línea.
- El brazo se diseño con una estructura (up/down) es decir para que suba o baje, con el uso de tornillos de poder con ello mejora el rendimiento en cuanto a cuestiones de torque por parte de los motores.
- Hay un movimiento relativo entre el brazo posterior y el antebrazo en el momento de pasar el obstáculo.

2.7.8 Implementación Mecánica Y Simulación De MOBOLAB, Un Robot Movil Para Las Torres De Transmisión De Energía

Nayyerloo 2008 [12] (Mechanical Implementation And Simulation Of MOBOLAB, A Mobile Robot For Inspection Of Power Transmission Lines)

En este artículo se describe la primera fase en el desarrollo de un robot móvil que puede navegar aéreamente por las líneas de transmisión completamente desatendido por operadores humanos.

Su finalidad última es para automatizar el control de líneas de transmisión eléctrica y sus equipos.

Los autores han desarrollado un modelo a escala funcional de dicho robot móvil con un simple ordenador preliminar, navega en una línea de transmisión de energía entre dos torres de tensión y puede maniobrar obstáculos creados por el equipo de la línea tales como aislantes, las esferas de alerta, amortiguadores espaciales. También puede atravesar fácilmente las torres con sus tres brazos flexibles.

Información útil para el análisis del estado del arte .

Mecanismos

Durante el desarrollo de la arquitectura mecánica para el robot de inspección, todos los requisitos relacionados a:

- Autonomía de viaje.
- La superación de los obstáculos especialmente torres.
- Rápido viaje y rápido libramiento de los obstáculos.
- Capacidad para llevar cierta cantidad de carga.
- Capacidad de escalar caminos inclinados de acuerdo a la pendiente de la recta.
- Bajo consumo de energía.
- Sencillez en el control.

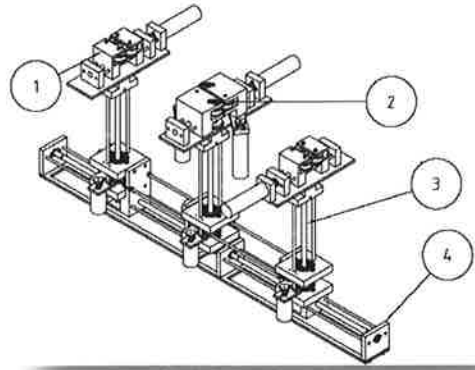


Fig. 14 Mecanismo MoboLab: 1) El mecanismo de agarre, 2) de conducción del sistema, 3) uno de los tres mecanismos de brazo y 4) del brazo de conducción del mecanismo 2008 [12]

MoboLab tiene tres pinzas similares (1 en la Fig. 14) instaladas en la parte superior de cada brazo. En las pinzas tiene cuatro ruedas similares que se adaptan con el radio de la sección transversal de la línea.

Todos los movimientos de son simplemente hechos por un mecanismo de tornillo de poder. El principal punto en el sistema de tornillo de movimiento lineal es el hecho de que la tuerca tiene que deslizarse a lo largo de su tornillo cuando se gira el tornillo y la tuerca es guiada y no puede girar. Sistemas de Tornillo de Poder, como se les llama, tienen altos coeficientes de transmisión de energía, por lo que puede utilizarlos como cajas de engranajes.

Características generales

- La estructura mecánica para el robot de inspección, considera todos los requisitos relacionados a: Autonomía de viaje, la superación de los obstáculos especialmente torres, rápido viaje y rápido libramiento de los obstáculos, etc.
- La metodología en el diseño de un prototipo mecánico del robot.

- Simulación del mecanismo diseñado en ADAMS.
- Todos los movimientos de MoboLab son simplemente hechos por un mecanismo de tornillo de poder.

2.7.9 Diseño Y Validación De Robot Móvil Para Las Torres De Transmisión De Energía

Pouliot 2008 [10] (Design And Validation Of A Mobile Robot For Power Line Inspection And Maintenance)

Este documento presenta la Tecnología LineScout, un robot móvil tele operado para la inspección y mantenimiento de líneas eléctricas. La optimización de varios parámetros geométricos ha alcanzado un diseño compacto que fue probado con éxito en muchas configuraciones de líneas y con diversas secuencias de obstáculo.

Información útil para el análisis del estado del arte

Mecanismos

El peso del robot es= 100 Kg.

Las dimensiones son= 1.37m x 0.75m

Fuerza de Tracción= 500 N

Velocidad Lineal= 1.0 m/s

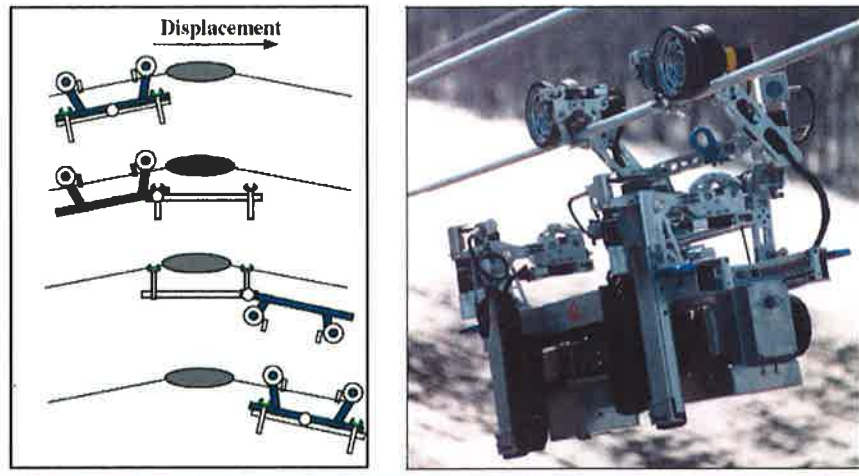


Fig. 15 LineScout 2008 [10]

Características generales.

- El uso de dos manipuladores como tracción del vehículo así como los tres bastidores para liberación de obstáculos.
- El uso de ruedas de caucho para la tracción el cual le da una fuerza de tracción óptima y el diseño de la geometría que le permite liberar diversos tipos de obstáculos.
- El algoritmo para liberación de obstáculos

2.7.10 Diseño Y Validación De Robot Móvil Para Las Torres De Transmisión De Energía

El Robot Cidesi 1 es un robot rediseñado con base en el robot Chino, este fue realizado durante la primera etapa del proyecto, El robot tiene la capacidad de llevar a cabo la inspección de líneas a lo largo de la línea de guarda y principalmente cuenta con las siguientes características.

- 11GDL 5 cada brazo y 1 GDL presente en el sistema de balance
- Longitud máx. * Altura máx. = 1.4m * 0.73 m.
- Peso = 70 Kg. Plataforma= 45 Kg. (Fabricada de Aluminio 6061)
- Contiene un sistema de sujeción mecánica que permite posicionarlo y retirarlo de el/los conductor(es).

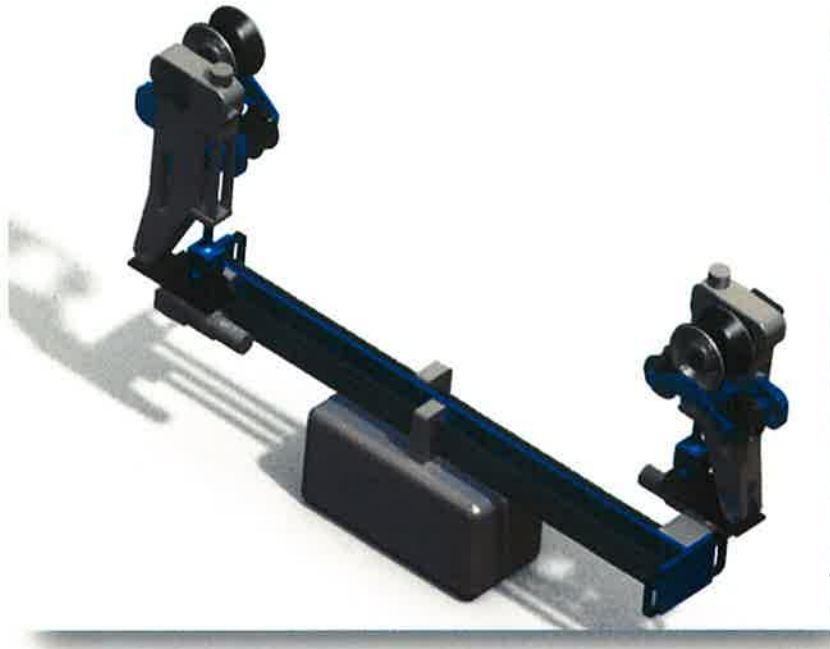


Fig. 16 Robot Cidesi I

2.8 ESTRUCTURA DE LAS TORRES Y OBSTÁCULOS PRESENTES EN LINEAS DE TRANSMISIÓN DE ELECTRICIDAD

Por medio de una revisión a información concentrada por la Comisión Federal de Electricidad, así como una investigación de campo en las zonas donde se encuentran instaladas las torres con líneas de 230 kV y 400kV, se observaron los principales obstáculos por los cuales el robot debe cruzar o trasladarse.

2.8.1 Estructura de torres

Las estructuras son los elementos principales e indispensables para las líneas de transmisión aéreas y se pueden definir como los soportes donde se encuentran instalados todos los componentes de una línea de transmisión como son los aisladores, conductores, cables de guarda, herrajes y sus accesorios. Estos soportes o estructuras son de diferente diseño y cuentan con diferentes características según su utilización en campo.

De las diferentes configuraciones de diseño de torres que más frecuentemente son utilizados en 230kV y 400kV, se eligieron dos tipos de estructuras las cuales para su modelado contienen las diversas configuraciones de conexiones, consideradas como obstáculos para el trayecto del robot. Ver Fig. 17



Fig. 17 Estructuras torres Tipo C y 2R

2.8.2 Obstáculos comunes a lo largo de la línea

De acuerdo a una revisión previa de los componentes de las líneas aéreas de transmisión así como de las configuraciones existentes se identificaron los principales obstáculos a ser liberados por el robot.

Se lista a continuación algunas conexiones o herrajes (obstáculos en el desarrollo del proyecto)

- Aisladores de Remate con anillo
- Aisladores de Remate
- Doble Aislador de Paso
- Aisladores de Paso

a) aisladores y separadores



b) anillos de efecto corona y amortiguadores



Fig. 18 Principales obstáculos en líneas

2.9 ANÁLISIS DE MECANISMOS EXISTENTES

De acuerdo a las necesidades estructurales y de diseño se debe considerar requerimientos y restricciones para el funcionamiento óptimo del robot, acorde a los dispositivos de inspección que transporta la plataforma.

2.9.1 Requerimientos

Son aquellos que por su contenido se refieren a los componentes, partes y elementos constitutivos del modelo, así como los principios técnicos de funcionamiento del mismo.

A continuación se listan criterios de evaluación que el presente desarrollo debe contemplar en los diferentes aspectos del diseño conceptual, previo a los análisis de integridad estructural y posterior manufactura.

- **Mecanismo:** Los principios que darán funcionalidad al modelo.
- **Dimensiones:** Debe tener dimensiones que no interfieran con la distribución de campo eléctrico e incrementen el riesgo de falla de la línea de transmisión.
- **Peso:** La estructura del robot debe ser ligera.
- **Motores:** La cantidad de motores instalados en el robot.
- **Adaptabilidad:** La estructura debe de proveer espacio y soporte para los diversos dispositivos de medición de las variables.
- **Energía:** La eficiencia del robot para utilizar el menor consumo de energía.
- **Manipulación:** La simplicidad de modelo para realizar diversos movimientos (facilidad de teleoperación).
- **Transportación:** Fácil instalación y cambio de ubicación del modelo.
- **Seguridad:** Debe contar con elementos de respaldo, a fin de asegurar que no se caiga de la línea en condiciones ambientales extremas o por pérdida de energía.

- **Versatilidad:** La posibilidad de que el modelo pueda realizar distintos movimientos para la liberación de diversos obstáculos.
- **Resistencia:** Los esfuerzos a soportar por el modelo.
- **No. de componentes:** La cantidad de componentes, partes y elementos que constara el producto.
- **Carcasa:** El medio de protección de los mecanismos en el producto.
- **Blindaje:** Que posea una geometría que permita la adaptación del sistema de blindaje.
- **Estructurabilidad:** Las consideraciones de funcionalidad de los distintos componentes, parte elementos que conforman al modelo.

A continuación se presenta una tabla de evaluación sobre las características de los modelos mencionados anteriormente.

NOTA: Se han considerando los obstáculos y las especificaciones de las estructuras utilizadas por la CFE que se presentan a lo largo de las líneas aéreas de transmisión de 230kV y 400kV.

Tabla 3 REQUERIMIENTOS

ESTADO DEL ARTE:																			
MODELOS	IMPLEMENTACIÓN	MECANISMOS	DIMENSIONES	PESO	No. MOTORES	ADAPTABILIDAD	ENERGIA	MANAPULACION	TRANSPORTACION	SEGURIDAD	VERSATILIDAD	RESISTENCIA	No. COMPONENTES	CARCASA	ESTRUCTURABILIDAD	BLINDAJE	PUNTAJE	PROMEDIO	
	1.- Robot Sawada	0	2	5	4	4	1	4	2	3	1	1	2	3	2	4	3	41	2.73
	2.- Robot Deshielo	4	3	2	1	3	3	3	2	3	5	1	5	4	5	3	3	50	3.12
	3.- Robot Monoestructural	0	3	4	4	3	3	5	4	5	2	2	2	3	2	4	2	48	3.2
	4.- RIOL	2	5	3	5	3	2	2	4	5	2	5	2	3	2	5	4	54	3.75
	5.- Robot Brasil	0	2	2	2	3	4	2	3	3	5	3	4	5	4	3	4	49	3.26
	6.- Robot Sistema Experto	3	4	4	3	5	3	2	2	3	3	4	3	5	3	3	2	52	3.25
	7.- Robot Chino	2	3	4	3	3	4	3	4	4	3	4	3	4	4	4	3	55	3.43
	8.- MOBOLAB	2	4	3	3	4	4	2	3	2	4	3	4	4	4	3	4	53	3.31
	9.- Robot Canadá	5	4	4	3	4	4	3	3	4	4	3	3	5	4	4	3	60	3.75
	10.- Robot Rediseñado (CIDESI 1)	0	4	4	4	3	5	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	56	3.73
Ponderaciones																			
5.- Muy alta	+																		
4.- Alta																			
3.- Media																			
2.- Baja																			
1.- Nula	-																		

2.10 Selección de Modelos Bases

En la tabla 3 se puede observar, que de acuerdo a la ponderación establecida y a los requerimientos anteriormente descritos; el Robot Sawada, Riol, Canada y Cidesi 1, obtuvieron los puntajes más elevados, por lo tanto conociendo las ventajas y desventajas de estos se tomaron como base para el diseño del sistema mecánico para liberación de obstáculos en líneas de transmisión CIDESI 2

3.-DESARROLLO

3.1.- PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

En base a los requerimientos de CFE El Robot Rediseñado (CIDESI 1) realizado en la primera etapa es considerado como un sistema muy robustecido, y con manufactura especial, por lo que se busco utilizar piezas comerciales, motivo por el cual se diseño **Robot CIDESI 2**.

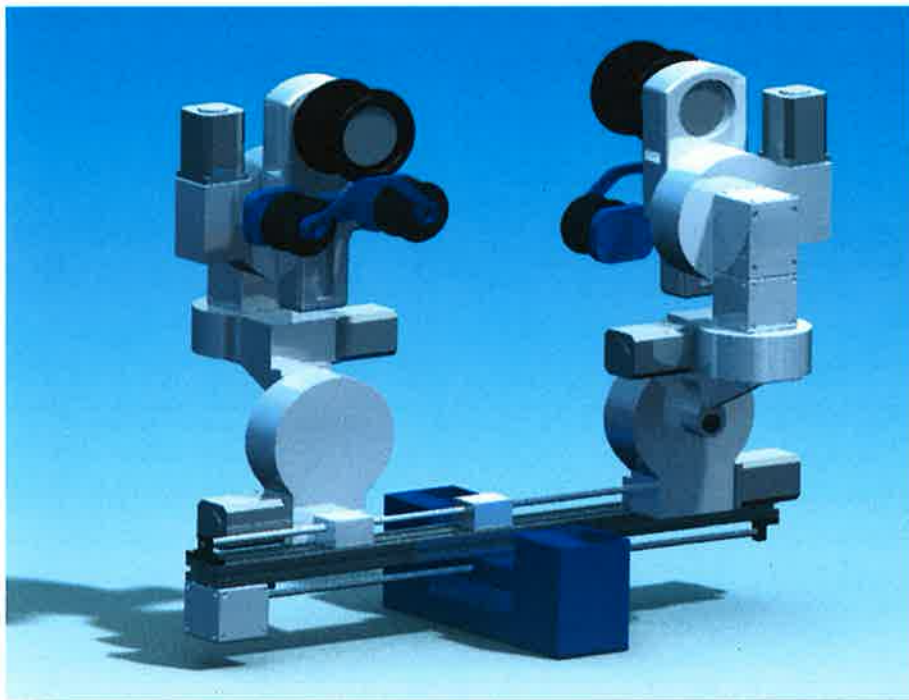


Fig. 19 Robot Cidesi 2

3.1.1 Componentes de propuestas CIDESI 2

A continuación se describen todos los elementos que forman el diseño CIDESI 2, estos son clasificados en 2 categorías: manufacturados (no comerciales) y comerciales, recordando que cada uno de estos cumple con los requerimientos establecidos por CFE para que el Robot cumpla con su labor.

3.1.2 Componentes Diseñados

Estructura de las Articulaciones

Se realizó el diseño de la estructura de los manipuladores del robot partiendo de las necesidades observadas en las propuestas, se realizaron modificaciones en dimensiones y acoplamiento interior de los componentes, lo anterior con el objetivo de reducir el peso y altura del robot.



Fig. 20 Estructura de cuerpo para la articulación diseñada

El cuerpo en su interior posee espacio para el motor de la llanta y el tornillo de potencia para el sistema de sujeción con su respectivo motor.

Las características del cuerpo son:

Dimensiones: 386mm*150mm*65mm

Material: Aluminio 6061

Sistema de Seguridad de Sujeción

El mecanismo de sujeción realizado en el robot Cidesi 1 cumplió con los requerimientos de seguridad solicitados por la empresa por lo cual la idea se introdujo nuevamente en el robot Cidesi 2 pero ella ahora rediseñada para reducir peso.

Este mecanismo consiste en una plancha acoplada a un tornillo de poder que le otorga desplazamiento (arriba-abajo), el par de ruedas auxiliares instaladas en ella otorgando seguridad y equilibrio a la rueda motriz. Así también se instalo en conjunto con las ruedas auxiliares una placa protectora la cual evita cualquier posibilidad de salida del conductor.



Fig. 21 Sistema de seguridad de sujeción rediseñado

Ruedas Motrices

Cada rueda motriz fue diseñada en base a la geometría requerida por el brazo del manipulador para mejorar la sujeción a lo largo de la línea. Las ruedas son principalmente compuestas de caucho debido a que este material es considerado como el más conveniente por sus excelentes propiedades de elasticidad y resistencia ante los ácidos y las sustancias alcalinas. También posee las características de ser repelente al agua, aislante de la temperatura y de la electricidad.

Las características de las llantas son:

Diámetro rueda = 0.15m.

Material: Caucho Natural



Fig. 22 Rueda motriz rediseñada

CLASIFICACION POR PROPIEDADES DE ELASTOMEROS												
Propiedades Generales	POLIMEROS BASE NOMBRE USUAL	CAUCHO NATURAL	BUTADIENO	GRS SBR	BUTILO	EPT EPDM	HYPALON	NEOPRENO	SINTACRILLO BUNA	VITON	SILICONAS	URETANO
	NOMBRE QUIMICO	Poliisopreno	Poli-butadieno	Batiadieno Estireno	Isobutileno Isopreno	Etileno Propileno	Poli-etileno Clorosulfonato	Cloropreno	Butadieno Acrilonitrilo	Hidrocarburo fluorado	Polisiloxano	Poliester Poliester Ureano
	ADHESION A METALES	E	E	E	P-B	P-B	E	E	B-E	P	B-E	E
	RANGOS DE TEMPERATURAS DE TRABAJO (°C)	-20 a 70	-20 a 80	-10 a 70	-15 a 150	-35 a 150	-35 a 180	-10 a 100	-35 a 130	-10 a 230	-80 a 250	-30 a 170
Propiedades Físicas Generales, temperatura ambiente	RESISTENCIA A LA FLEXION	B/E	BE	B	B	N	P/B	B/E	B	P	N	N
	RESISTENCIA A LA TRACCION (max.) (kg/cm ²)	300	200	220	200	200	250	250	260	200		450
	ALARGAMIENTO DE LA ROTURA (risk %)	650	650	600	800	600	500	600	650	300	900	750
	DEFORMACION PERMANENTE POR COMPRESION	E	B	B	P	B	P-B	B	B	B-E	B-E	B
	RESILIENCIA	E	E	B	P	B	P	E	B	P	B	P-R
	PERMEAB. DE LOS GASES	(P)	(N)	(P)	(E)	(P)	(B)	(B)	(B)	(E)	(B)	(C)
	RESISTENCIA ELECTRICA	E	E	E	E	E	B	P	C	B	E	B

Nota: Cuando se indican dos letras (ej: P-B) se puede variar de pobre a bueno según la formulación empleada. Esta tabla representa solo valores referenciales

Letras: E Excelente, B BUENO, P Pobre, C Uso con precaución solo casos especiales, N No recomendable, S/D Sin determinar

CLASIFICACION POR PROPIEDADES DE ELASTOMEROS												
Propiedades Físicas Mec. temp. A	POLIMEROS BASE NOMBRE USUAL	CAUCHO NATURAL	BUTADIENO	GRS SBR	BUTILO	EPT EPDM	HYPALON	NEOPRENO	SINTACRILLO BUNA	VITON	SILICONAS	URETANO
	RESISTENCIA A LA ABRASION	E	E	B-E	P	B	B-E	B-E	B	B	P-B	E
	RESISTENCIA AL DESGARRE	E	B	P	B	P	B	B	B	B	N-P	E
	RESISTENCIA AL IMPACTO	E	B	E	P	B	B	B	P	B	C-P	E
	ENVEJECIMIENTO A 100° C	P-B	P	B	B-E	E	B-E	BE	B	E	E	B
	ELASTICIDAD A LOS 100° C	B	B	B	P	P-B	P	B	B	B-E	E	C
	RESISTENCIA A LA LLAMA	N	C	C	C	C	B-E	E	C	E	E	C
Propiedades Ambientales	TEMPERATURA DE RIGIDEZ (°C)	-30 a -45	-35 a -50	-18 a -45	-25 a -40	-30 a -45	-35 a -45	-10 a -45	-10 a -45	-10 a -28	-50 a -82	-25 a -35
	OZONO	N	N	N	E	E	BE	B-E	P	E	E	E
	OXIDACION	B	B	P	E	E	E	E	B	E	E	B
Propiedades Químicas	AGUA Y LUZ SOLAR	C	C	C	E	E	E	E	C	E	E	E
	AGUA / VAPOR	BB	BB	B/P	BB-E	EE	BB	BB	BBB	E-B	EP	P-BC
	ALCALIS DILUIDOS / CONCENTRADOS	B/P-B	P-B/P-B	P-B/P-B	E-E	E/E	E/E	E/E	B-B	E-E	E-E	P/C
ACIDO DILUIDO / CONCENTRADOS	B/P-B	P-B/P-B	P-B/P-B	E-E	E/E	E/E	E/E	B-B	B-P	B-P	P/C	

Nota: Cuando se indican dos letras (ej: P-B) se puede variar de pobre a bueno según la formulación empleada. Esta tabla representa solo valores referenciales

Letras: E Excelente, B BUENO, P Pobre, C Uso con precaución solo casos especiales, N No recomendable, S/D Sin determinar

Tabla 4 Propiedades de los polímeros

Carcasa de motores

Las carcasas de los motores fueron diseñadas para recubrir a la corona y al tornillo sin-fin; La forma y dimensiones varían de acuerdo al radio y longitud respectivamente. Su interior es hueco y su geometría permite acoplar el motor para el control del sistema.

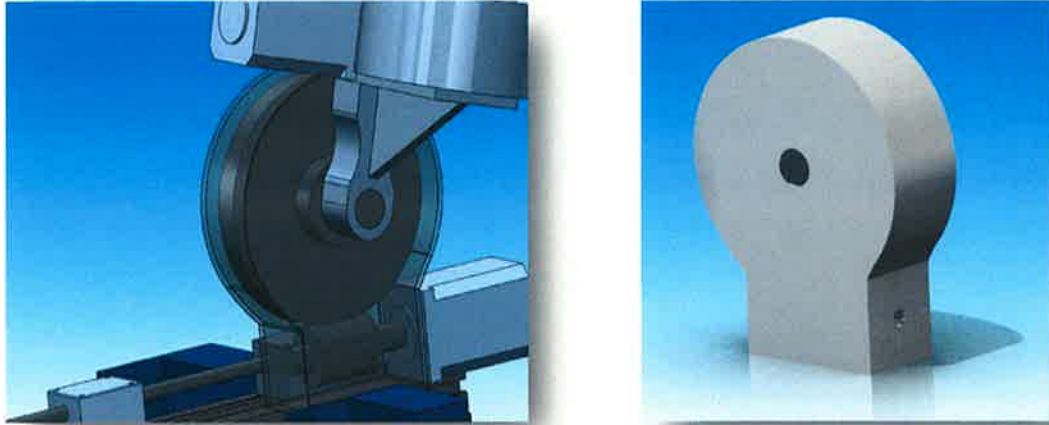


Fig. 23 Carcasa de Motores

Porta Baterías

De acuerdo a las necesidades previamente observadas en los modelos y del diseño antes realizado en el robot Cidesi 1 se optimizó la caja porta-baterías con el fin de mejorar la distribución de cargas y disminuir las dimensiones. En base a esto la forma de la caja es como de H, con el fin de distribuir el peso de las baterías a lo ancho de la estructura, Esta en su interior es hueca y tiene la capacidad de almacenar 4 baterías, dos por cada lado, en la parte inferior posee un espacio libre para la colocación de electrónica y control.

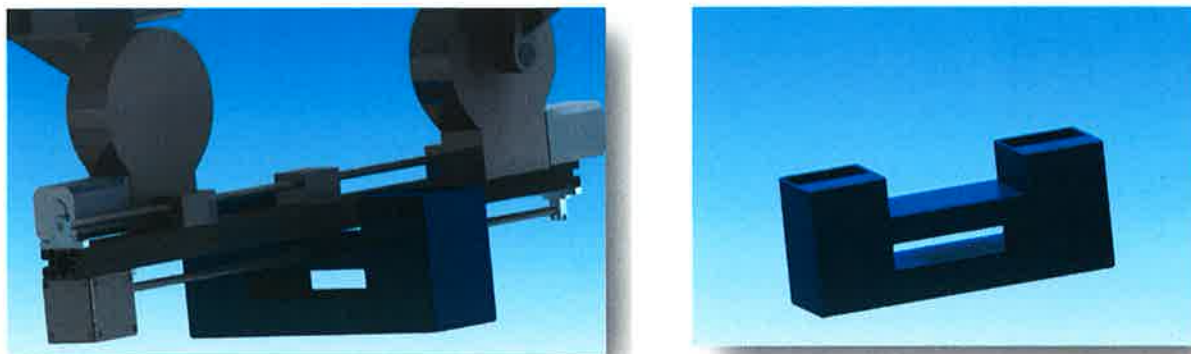


Fig. 24 Caja Porta Baterías

Soporte L

Los soportes L fueron diseñados para unir y dar soporte al cuerpo del manipulador. El soporte está compuesto principalmente de acero templado para mayor rigidez y su forma permite que los motores realicen su trabajo sin obstrucción alguna.

Características principales:

Material: Acero Templado



Fig. 25 Soporte de unión L

3.1.3 Componentes Comerciales

Perfil de Conducción

En el diseño del Robot Cidesi 2 se ha implementado como riel de conducción para los brazos un perfil de acero de la marca Bosch. Este cuenta con características muy significativas como son alta rigidez y menor peso, con ello se logro disminuir las dimensiones de la plataforma y el peso del robot en general..

Las características del perfil son:

Dimensiones: 40mm*80m*1000mm

Material: Aluminio 6061-6063

(Plano en Anexo A)

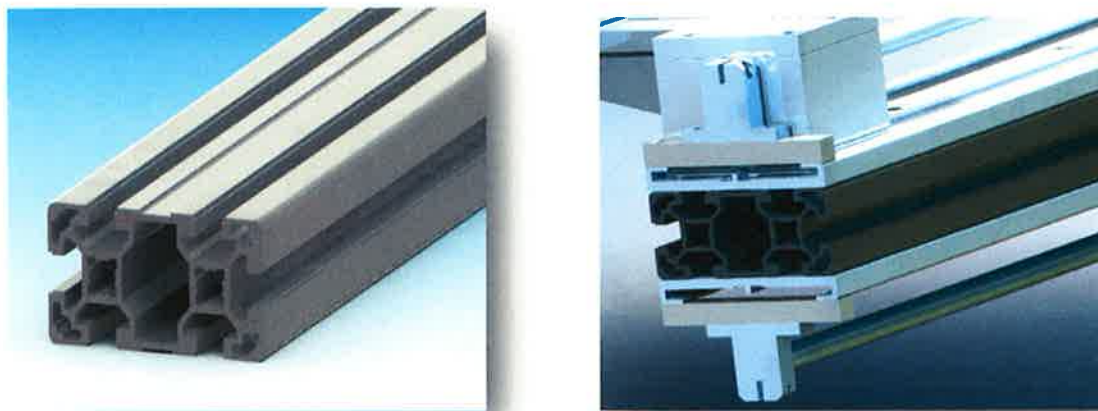


Fig. 26 Perfil Bosh

Rieles de desplazamiento

De la misma forma que los perfiles de conducción, el riel es un aditamento mas para que los manipuladores puedan desplazarse a lo largo del perfil, este al igual que el perfil es de acero y pertenecen a la familia de los perfiles Bosch.

Características del riel:

Dimensiones: 12mm*80mm*1000mm

Material: Aluminio 6061

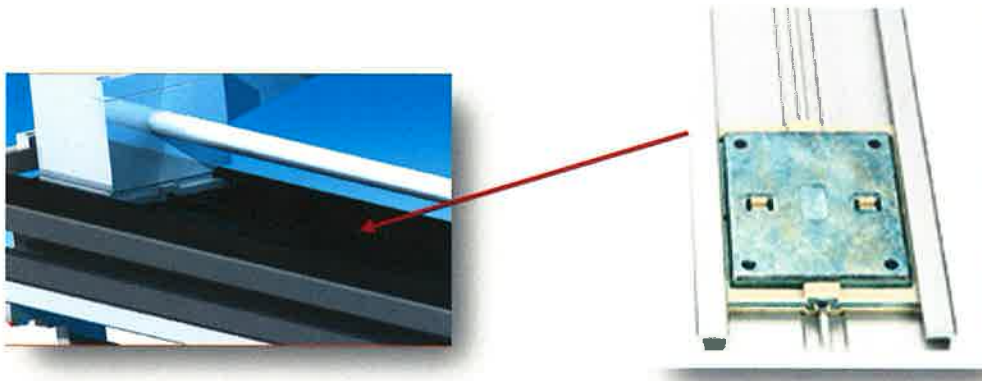


Fig. 27 Riel de Desplazamiento

Husillo de Rosca Trapezoidal

El husillo trapezoidal es de suma importancia en el sistema de desplazamiento de los manipuladores, su movimiento es dado por un motor de doble eje y es a través del husillo que los manipuladores obtienen la fuerza que los mueve a lo largo del perfil.



Fig. 28 Husillo Trapezoidal

Dimensiones: Longitud: 1000mm; Diámetro: 120mm

Material: Acero 4340 Templado

Motores (Ver Estudios de Movimiento)

Nota: Los motores usados y sus respectivos sistemas de engranes son del tipo comercial, pero por cuestiones de acomodo, la información al respecto se encuentra en el apartado estudios de movimiento.

3.2 ESTUDIO DE MOVIMIENTOS

El estudio de los movimientos posibles a realizar por el robot en su campo de aplicación, fue llevado a cabo mediante el software de diseño COSMOSMotion introduciendo el modelo del mecanismo, el cual nos permite simular el funcionamiento mecánico de nuestro modelo y calcular las fuerzas físicas requeridas por los motores.

3.2.1 Secuencia de liberación de obstáculos

A continuación se muestra la serie de movimientos que el Robot Cidesi 2 debe realizar para cruzar un obstáculo en línea viva sobre torres tipo C

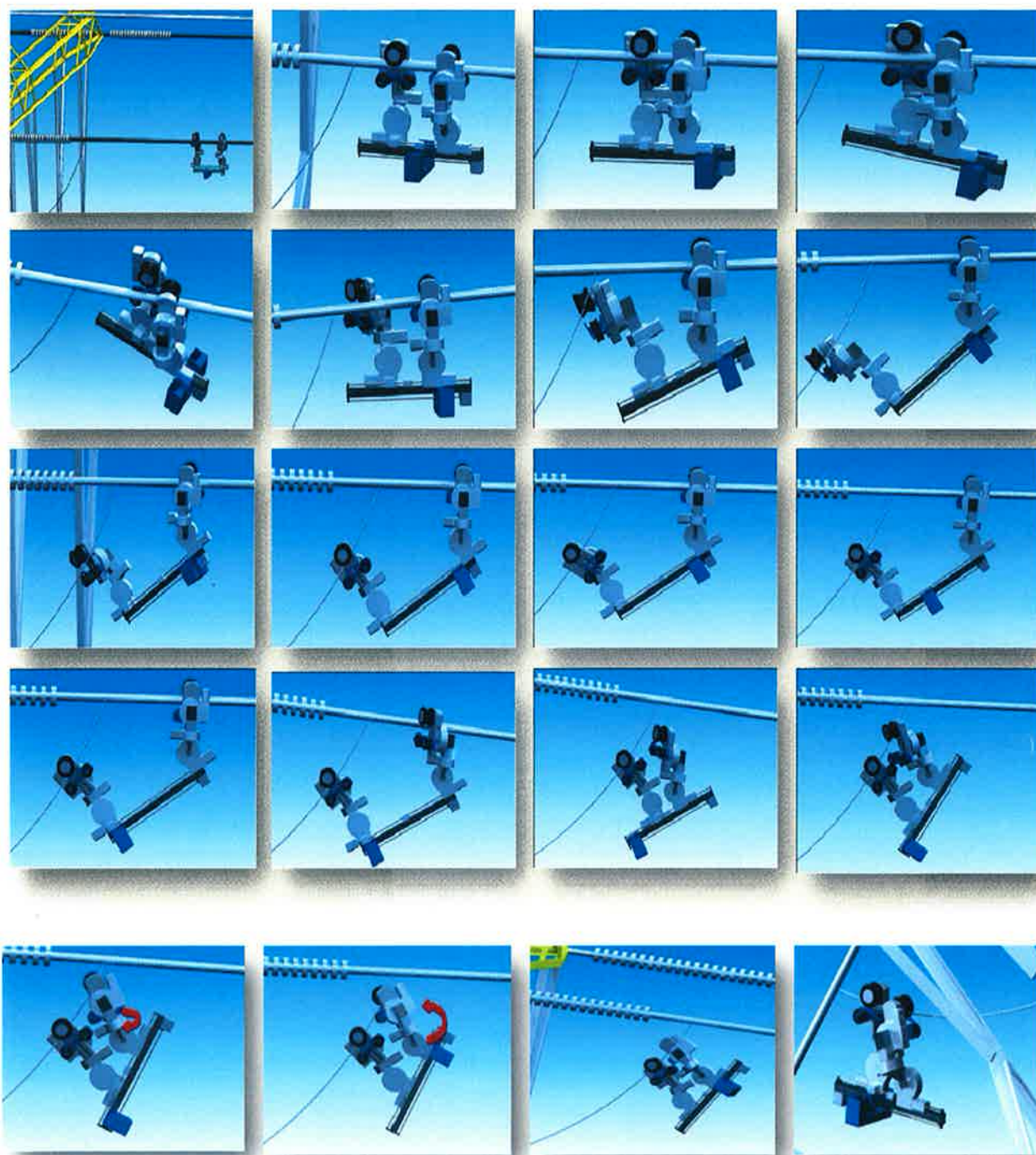


Fig. 29 Secuencia de Liberación.

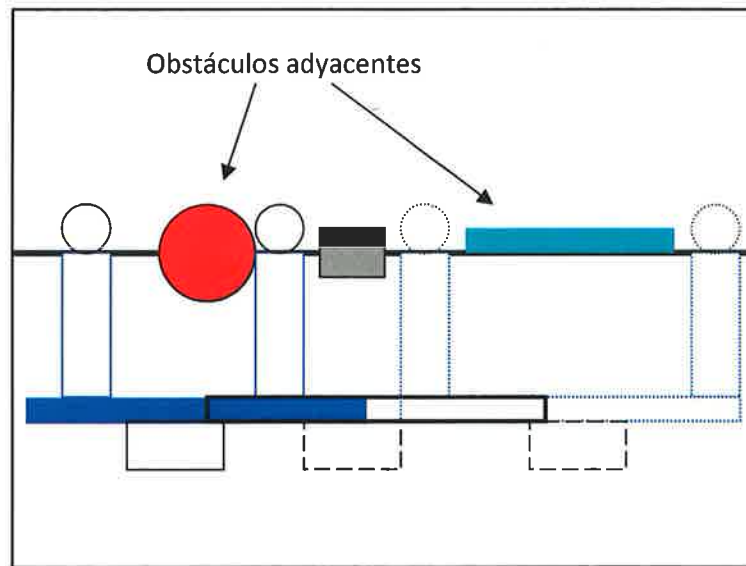


Fig. 30 Ejemplo de liberación en obstáculos adyacentes

3.2.2 Descripción de secuencia de Liberación de Obstáculos.

1. El robot se encuentra viajando sobre el hilo de guarda y conforme se acerca a la torre comienza a frenar para colocarse justo antes del obstáculo.
2. El módulo de los componentes electrónicos y control se desplaza hasta alcanzar una posición de equilibrio permitiendo con esto una menor palanca sobre la estructura al realizarse el siguiente movimiento.
3. El sistema de sujeción del manipulador más cercano se abre para permitir que este se desenganche del conductor.
4. El manipulador suelto gira para salir de la línea.
5. El perfil de conducción alcanza una inclinación de X grados proporcionada por el manipulador que se encuentra sujeto a la línea
6. El manipulador suelto y el perfil de conducción se desplazan hacia fuera; con este movimiento el manipulador suelto alcanza una posición más cercana a la línea del otro lado del obstáculo.
7. El manipulador suelto busca su posicionamiento sobre la línea del otro lado del obstáculo.
8. Una vez que ha alcanzado el conductor, el manipulador ajusta su posición para colocarse sobre el mismo y cerrar el sistema de sujeción.

9. El sistema de balance se desplaza hasta el otro extremo del perfil conductor; con esto el brazo que previamente servía de apoyo tiene la posibilidad de desengancharse del conductor.
10. El brazo desenganchado y el perfil de conducción se desplazan hacia adentro para alcanzar una posición más cercana al otro manipulador.
11. El Brazo que esta de apoyo pone en posición al perfil y al brazo que se encuentra libre.
12. El brazo Libre se posiciona sobre la línea.
13. El sistema de sujeción se cierra para proveer la seguridad necesaria para el robot.
14. El moduló de dispositivos electrónicos se posiciona en el centro del bastidor.
15. El robot está listo para iniciar su recorrido en el conductor hasta encontrar un nuevo obstáculo

3.2.3 .Estudio de Pares y Fuerzas de desplazamiento

A continuación se presenta el análisis realizado mediante el software COSMOSMotion, con el objetivo de conocer las fuerzas necesarias para realizar los movimientos de los manipuladores.

NOTA: No considera factores de viento, ni ninguna condición climática extrema.

Mov. Motor 1-Inferior

Este movimiento es realizado cuando uno de los brazos esta fijo al conductor, por lo tanto para levantar el extremo contrario es necesario activar el motor 1 situado en la posición mostrada en la fig. 31

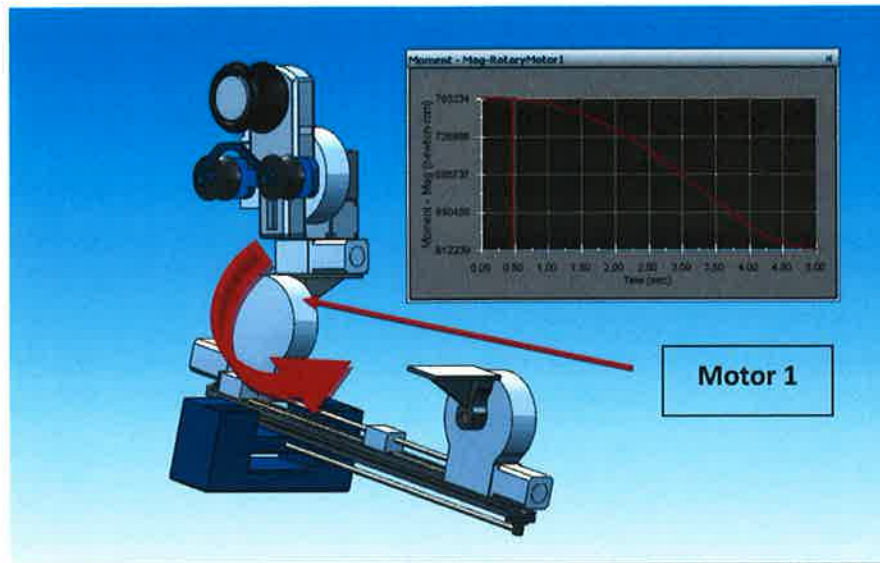


Fig. 31 Curva del torque requerido-Motor 1

En la grafica anterior se observa que el máximo torque requerido para este motor con un peso en el extremo opuesto de 900 N es de= **800 N-m**.

Mov. Motor 2-Intermedio

En esta secuencia el brazo que provee el movimiento se encuentra totalmente fijo al conductor y el movimiento es realizado por el motor 2 que se muestra en la Fig.32. Este análisis de movimiento fue realizado con un ángulo de inclinación de 45 grados y un peso de 900 N

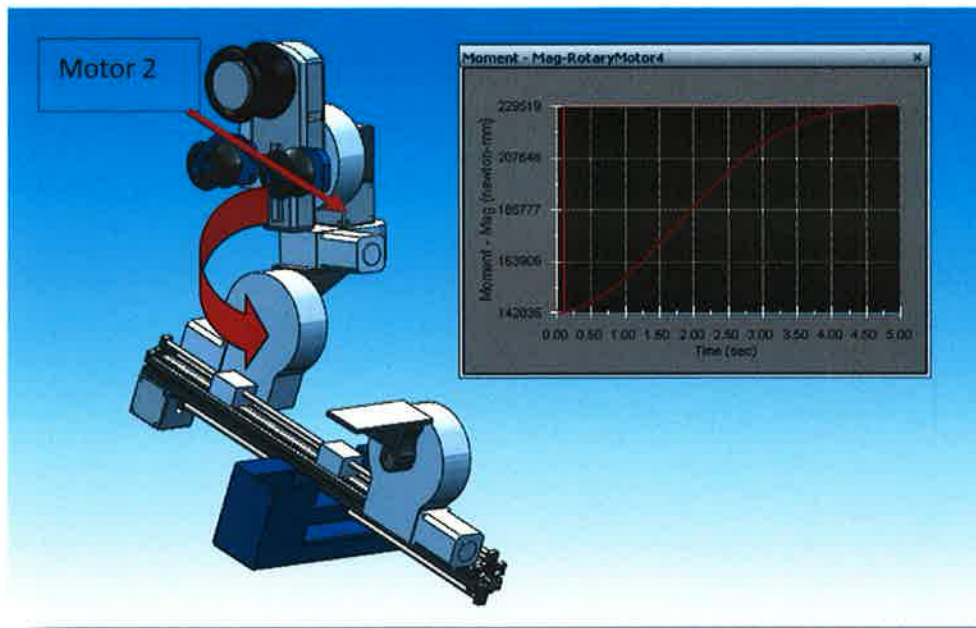


Fig. 32 Curva del torque requerido-motor2

En la grafica anterior se observa que el máximo torque requerido para que el motor gire al perfil con 900N de peso en el extremo es de = **300 N-m**.

Motor base de manipuladores

En este diseño se propuso el uso de un motor de doble eje para mover de forma asíncrona los manipuladores, en este análisis se colocó un brazo fijo sobre la línea y el bastidor se encuentra junto con el otro manipulador en un ángulo de 45 grados, en el análisis se da a conocer el torque requerido por el motor para subir el perfil y el brazo libre.

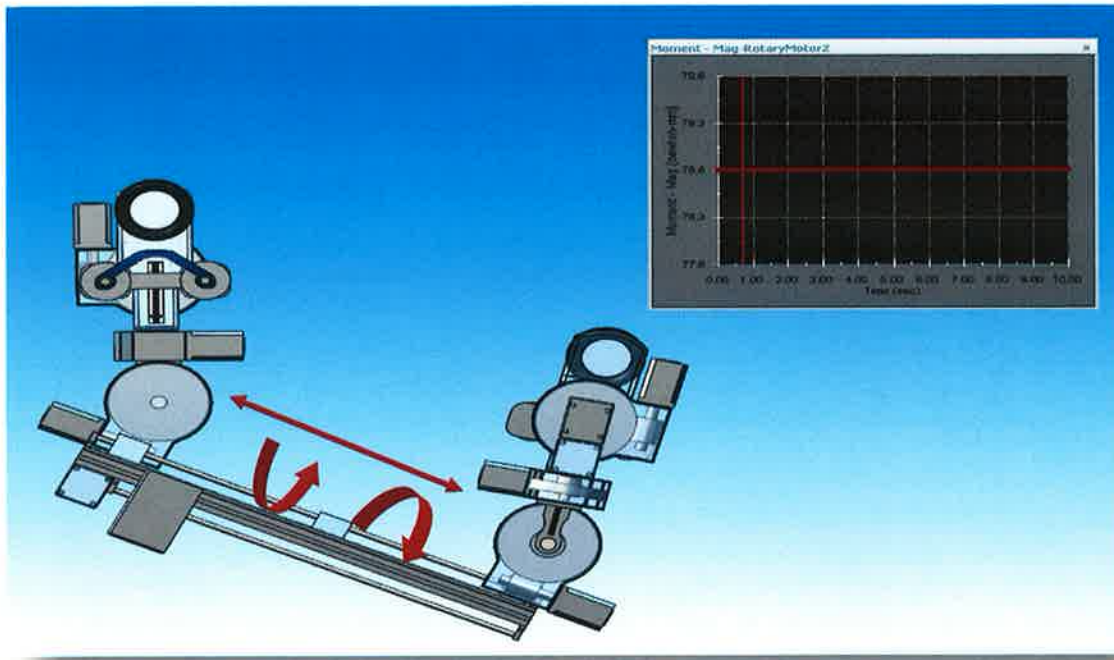


Fig. 33 Curva del torque requerido- motor de doble eje

En la grafica anterior observamos que el resultado obtenido del análisis requiere de un torque máximo de = $0.078 \text{ N}\cdot\text{m}$ para mover los 2 manipuladores con un ángulo de inclinación de 45 grados.

Motor sistema de balance

El sistema de balance consiste en el desplazamiento del modulo de dispositivos (baterías, control, etc.) a lo largo del perfil con el objetivo de balancear el sistema durante la liberación de obstáculos.

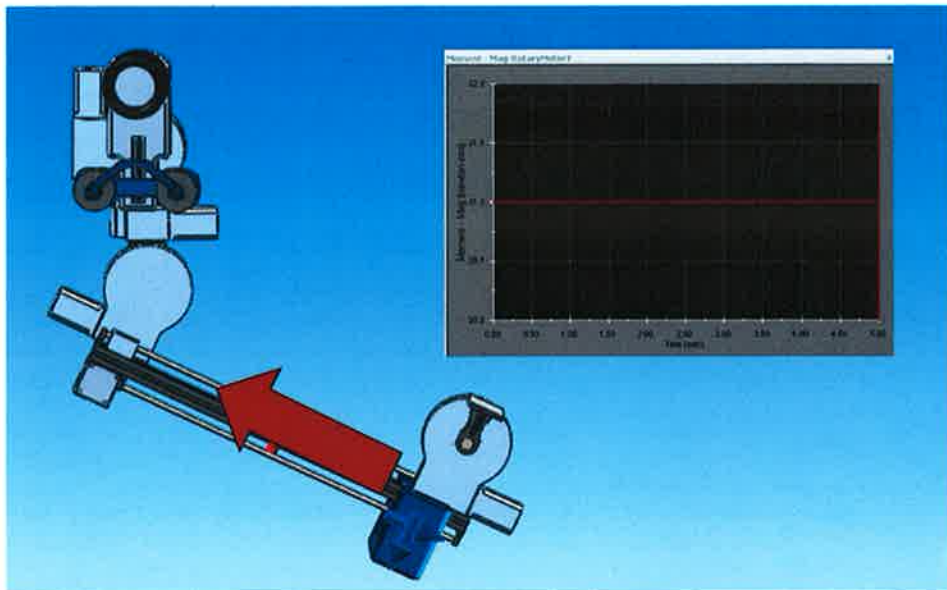


Fig. 34 Curva del Torque requerido del motor balance.

En base al análisis anterior se obtiene el torque requerido por el motor de balance para subir la caja de control y baterías que se encuentra en un ángulo de 45 grados debajo de la horizontal. El torque requerido es de 0.021 N-m

Motor sistema de sujeción

Este movimiento se lleva a cabo cuando es necesario abrir o cerrar el mecanismo de sujeción del robot; con ello la plancha que contiene las dos ruedas auxiliares sube o baja dependiendo de lo que se requiera. El movimiento es proporcionado por un motor encontrado dentro del cuerpo del manipulador el cual proporciona movimiento al tornillo con un avance de 1.5mm/vuelta , que trasmite el movimiento lineal a la plancha.

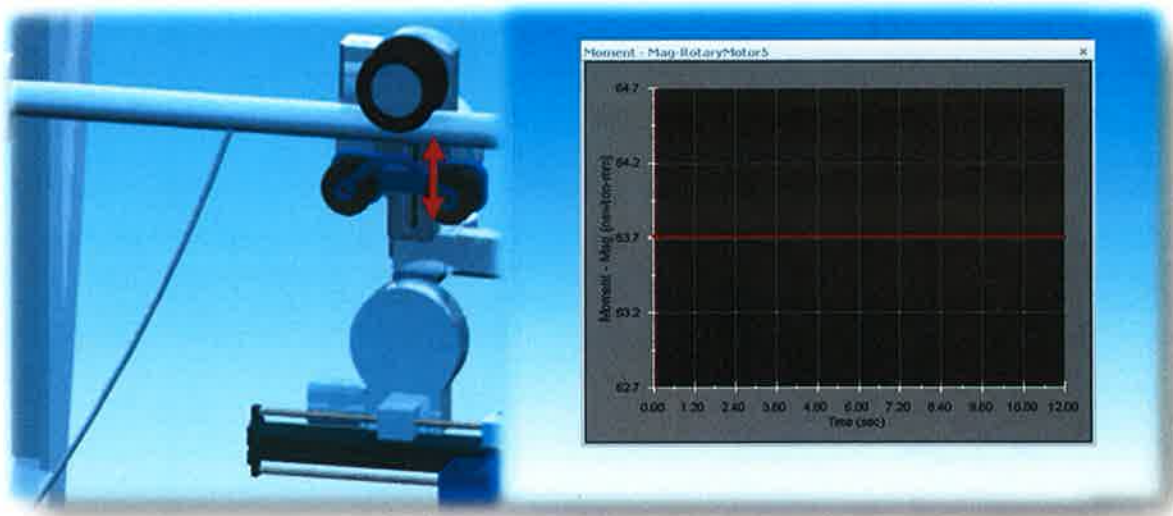


Fig.4.31 Movimiento motor sujeción

En la grafica anterior se observa que el máximo torque requerido para que el motor realice el apriete del sistema es de $= 0.063 \text{ N}\cdot\text{m}$.

3.2.4 Propuesta de motores

En base a los análisis realizados se propone el uso de un sistema Corona-Sin fin como reductor para los motores 1,2 y 3 ya que durante una investigación realizada en busca de motores se concluyo que los motores que proporcionan el torque requerido en los análisis son motores que tienen un peso y dimensiones muy elevadas

Los motores seleccionados para cada Sistema de engranes-reductor, proporcionan el torque requerido, tienen un bajo consumo de corriente y su peso y dimensiones son adecuados.

Selección de Reductor.

Motor 1-Inferior

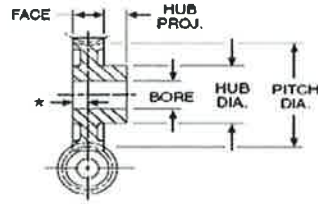
De acuerdo al análisis de movimiento el Torque requerido para el Motor 1 es de 800 N-m por lo que se propone usar una corona y un sin-fin que proporcionan un torque de 7260 lb-in lo cual es equivalente a 820 N-m y mayor al requerido.

En la tabla 5 que se muestra a continuación se dan los torque de salida proporcionados por los sistemas corona-sinfin de la marca Boston Gear, en los cuales se encuentra el seleccionado para la aplicación.

Worm RPM	1800		600		100		Worm Cat. No.	Gear Cat. No.	DP	
Ratio	Center Distance	Input HP	Output Torque	Input HP	Output Torque	Input HP				Output Torque
40	2.167	.48	490	.26	672	.06	782	H1056	GB1052A	12
	2.625	.72	742	.43	1134	.11	1361	H1066	GB1062A	10
	3.250	1.12	1190	.71	1874	.18	2420	H1076	GB1072A	8
	4.333	2.11	2910	1.39	4034	.38	5345	H1086	GB1078	6
48	3.750	1.26	1614	.79	2622	.20	3267	H1076	GB1073	8
	5.000	2.37	3110	1.56	5445	.43	7260	H1086	GB1083	6
	10.000†	4.06	5920	1.68	6608	.72	17088	H1116	G1114†	9
50	2.583	.55	700	.30	998	.07	1134	H1056	GB1053A	12
	3.125	.83	1068	.51	1733	.12	1954	H1066	GB1063	10
	3.875	1.30	1716	.82	2836	.21	3498	H1076	GB850	8
	5.167	2.43	3927	1.60	5777	.44	7563	H1086	GB1079	6
54	11.000†	4.34	5985	1.79	7434	.77	19224	H1116	G1115†	9
60	3.000	.60	924	.33	1323	.08	1664	H1056	GB1260A	12
	3.625	.91	1408	.54	2142	.13	2571	H1066	GB1064	10
	4.500	1.42	2269	.89	3718	.23	4538	H1076	GB860	8
	6.000	2.66	4970	1.75	7625	.49	10210	H1086	GB1087	6
72	7.000	2.79	5521	1.84	9805	.51	12705	H1086	GB1084	6
80	3.833	.64	1288	.35	1849	.08	2118	H1056	GB1054	12
	4.625	.96	1961	.57	3042	.14	3630	H1066	GB1067	10
	5.750	1.49	3165	.94	5210	.24	6555	H1076	GB1074A	8
100	4.667	.60	1505	.33	2206	.08	2458	H1056	GB1055	12
	5.625	.90	2310	.54	3571	.13	4223	H1066	GB1065	10
	7.000	1.40	3711	.88	6092	.22	7563	H1076	GB8100	8

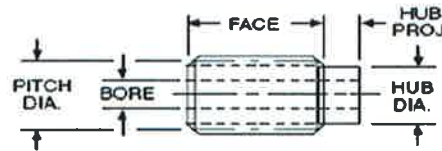
Tabla 5 Características del Sistema de Reducción

Las dimensiones de la corona y sin-fin son mostradas en las siguientes tablas las cuales se tomaron de las referencias de la tabla anterior H1086-GB10883.



6 DIAMETRAL PITCH					WORM GEARS		FACE = 1.000" *CENTER LINE WORM TO FLUSH END = .500"					
No. of Teeth	Pitch Dia.	Bore	Hub		Style See Page 150	SINGLE Thread		DOUBLE Thread		QUAD Thread		
			Dia.	Proj.		Catalog Number	Item Code	Catalog Number	Item Code	Catalog Number	Item Code	
BRONZE												
16	2.667	1.250	2.38	1.00	A	-	-	-	-	OB616**	13804	
20	3.333	.750	2.00	.88		GB1077A	13670	-	-	-	-	-
		1.000	2.00			-	-	DB620A	13752	-	-	-
24	4.000	1.250	2.00	.98	-	-	-	-	-	OB620A	13806	
		.750	1.04		GB1080A	13672	-	-	DB1430A	13754	DB1630A	13808
30	5.000	.875	2.19	.88	B	GB1081	13674	-	-	-	-	
36	6.000	1.000	2.50	.88		-	-	DB1431A	13756	DB1631A	13810	-
		1.250	2.44			GB1082	13676	-	-	-	-	-
40	6.667	1.000	2.44	.88		GB1078	13678	-	-	-	-	-
48	8.000	1.250	2.75	1.00		GB1083	13680	-	-	DB1432A	13758	DB1632A

Tabla 6 Dimensiones Corona



6 DIAMETRAL PITCH					WORMS FOR ABOVE GEARS					
Pitch Dia.	Face	Bore	Hub		SINGLE Thread		DOUBLE Thread		QUAD Thread	
			Dia.	Proj.	Catalog Number	Item Code	Catalog Number	Item Code	Catalog Number	Item Code
UNHARDENED - STEEL										
2.000	2.500	1.000	-	-	-	-	D1438KRH†	12818	D1638KRH†	12834
	3.500	1.000	-	-	-	-	D1438KLH†	12820	D1638KLH†	12836
		.875	-	-	L1086‡	12906	L1438	12918	-	-
	2.500	.875	-	-	G1086KRH‡	12872	-	-	-	-
		.875	1.56	.75	G1086KLH‡	12874	DH1438RH	12850	DH1638	12860
	.875	-	-	GH1086RH	12896	DH1438LH	12852	-	-	
	.875	-	-	GH1086LH	12898	-	-	-	-	
HARDENED STEEL										
2.000	2.500	1.000	-	-	-	-	H1438RH†	12994	H1638†	13002
	3.500	1.000	-	-	-	-	H1438LH‡	12992	-	-
		.875	-	-	HL1086‡	13012	HL1438†	13024	-	-
	2.500	.875	-	-	H1086RH‡	12974	-	-	-	-
	.875	-	-	H1086LH‡	12972	-	-	-	-	

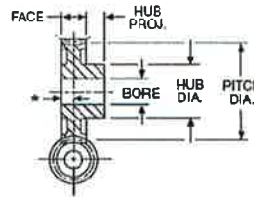
Tabla 7 Dimensiones Sin-Fin

Motor 2-Intermedio

Para el torque requerido en el análisis del motor 2 se propone el uso de un Sin fin y corona que proporcionan el siguiente torque.; 2836 lb-in – 320 N-m ya que el requerido es de 300N-m.

Worm RPM		1800		600		100		Worm Cat. No.	Gear Cat. No.	DP
Ratio	Center Distance	Input HP	Output Torque	Input HP	Output Torque	Input HP	Output Torque			
3	1.000	.52	50	.27	72	.06	83	H1607	QB1212	12
	1.500	1.19	109	.66	183	.15	227	H1627	QB812	8
	1.625	.42	217	.25	336	.06	391	H1066	GB1060A	10
20	2.000	.65	343	.41	567	.10	706	H1076	GB1070	8
	2.167	.83	483	.43	693	.09	794	H1407	DB1402A	12
	2.667	1.22	665	.80	1156	.22	1550	H1086	GB1077A	6
	2.625	1.25	742	.71	1156	.16	1374	H1418	DB1412	10
	3.250	1.98	1191	1.18	1974	.28	2433	H1427	DB1422	8
	4.000	2.92	1667	1.99	3025	.64	4663	H1106	GB1100	4
	4.333	3.77	2318	2.36	4034	.60	5420	H1438	DB1432A	6
24	3.000	1.42	933	.93	1613	.26	2163	H1086	GB1080A	6
	6.000†	3.23	2218	1.81	4020	.53	7109	H1116	G1111†	3
	4.500	3.41	2336	2.32	4235	.75	6504	H1106	GB1101	4
25	2.583	.99	726	.52	1048	.11	1197	H1407	DB1403A	12
	3.125	1.50	1112	.85	1730	.19	2048	H1418	DB1413A	10
	3.875	2.39	1794	1.43	2962	.34	3671	H1427	DB1423A	8
	5.167	2.27	1738	1.42	3028	.36	4018	H1438	D1433†	6
30	1.750	.40	294	.21	410	.05	473	H1056	GB1051	12
	2.125	.59	452	.35	693	.09	831	H1066	GB1061A	10
	2.625	.90	725	.57	1197	.13	1286	H1076	GB1071	8
	3.000	1.15	1008	.60	1450	.13	1663	H1407	DB1260A	12
	3.500	1.69	1386	1.12	2426	.31	3233	H1086	GB1081A	6
	3.625	1.74	1544	.98	2395	.22	2836	H1418	DB1414A	10
	4.500	2.75	2489	1.65	4128	.39	5105	H1427	DB860A	8
7.000†	4.23	3326	2.53	6002	.76	10683	H1116	G1112†	3	
32	5.500	2.13	1955	1.46	3546	.47	5445	H1106	G1102†	4
36	4.000	1.95	1915	1.29	3366	.36	4470	H1086	GB1082A	6

Tabla 8 Características del Sistema de Reducción

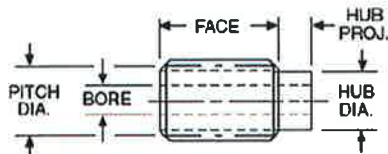


10 DIAMETRAL PITCH					WORM GEARS		FACE = .625" *CENTER LINE WORM TO FLUSH END = .312"					
No. of Teeth	Pitch Dia.	Bore	Hub		Style See Page 150	SINGLE Thread		DOUBLE Thread		QUAD Thread		
			Dia.	Proj.		Catalog Number	Item Code	Catalog Number	Item Code	Catalog Number	Item Code	
BRONZE												
16	1.600	.750	1.50	.75	A	-	-	-	-	QB1016†	13780	
20	2.000	.500 .875	1.25 1.62	.62		GB1060A	13640	-	-	-	-	-
30	3.000	.625 .875	1.69	.62	B	-	-	DB1410	13728	DB1610	13782	
						GB1061A	13648	-	-	-	-	-
40	4.000	.625 .875	1.69	.62		-	-	DB1411	13736	DB1611	13788	
						GB1062A	13642	-	-	-	-	-
50	5.000	.750 .875	1.94	.75		GB1063	13644	-	-	-	-	-
						-	-	DB1413A	13732	DB1613A	13786	
60	6.000	.750 .875	1.94	.75	GB1064	13646	-	-	-	-		
80	8.000	.750	1.94	.75	C	-	-	DB1414A	13734	-	-	
						GB1067	13650	-	-	-	-	
100	10.000	.750	2.00	.75		GB1065	13652	-	-	-	-	

Tabla 9 Dimensiones Corona

WORM LEAD and LEAD ANGLE

	SINGLE	DOUBLE	QUAD
LEAD	.3142°	.6283°	1.2566°
LEAD ANGLE	4°34'	9°5'	17°45'



REFERENCE PAGES

- Alterations — 149
- Horsepower Ratings — 85, 86
- Lubrication — 149
- Materials — 150

80	8.000	.750	1.94	.75	C	GB1067	13156	D1414A	13298	D1614A	13374
100	10.000	.750	1.94	.75		-	-	D1080A	13300	Q1080A	13376
						GB1065	13158	-	-	-	-

10 DIAMETRAL PITCH					WORMS FOR ABOVE GEARS						
Pitch Dia.	Face	Bore	Hub		SINGLE Thread		DOUBLE Thread		QUAD Thread		
			Dia.	Proj.	Catalog Number	Item Code	Catalog Number	Item Code	Catalog Number	Item Code	
UNHARDENED - STEEL											
1.250	1.375	.750	-	-	-	-	D1418KRH†	12810	D1618KRH†	12828	
	2.000	.750	-	-	-	-	D1418KLH†	12812	D1618KLH†	12828	
		.625	-	-	-	L1068†	12902	-	-	-	
1.375	.625	.97	.60	-	-	G1066KRH†	12864	-	-	-	
				G1066KLH†	12866	-	-	-	-		
				GH1066RH	12888	DH1418RH	12842	DH1618	12856		
						GH1066LH	12890	DH1418LH	12844	-	-
HARDENED STEEL											
1.250	1.375	.750	-	-	-	-	H1418RH†	12986	H1618†	12998	
	2.000	.750	-	-	-	-	H1418LH†	12984	-	-	
		.625	-	-	-	HL1066†	13008	HL1418†	13020	-	-
1.375	.625	-	-	-	H1066RH†	12966	-	-	-	-	
					H1066LH†	12964	-	-	-	-	

Tabla 10 Dimensiones Sin Fin

Selección de Motor

De acuerdo a la previa selección de los sistemas de reductores, los motores propuestos fueron seleccionados debido a que cumplan con las siguientes características

- Potencia de salida
- Peso
- Voltaje
- Corriente
- Dimensiones*

**Esta no es considerada como significativa pero si se busco que su tamaño no fuera excesivo*

Motores –Reductores

Conociendo las potencias requeridas por los sistemas de reducción Corona-Sinfín, El motor propuesto para la parte inferior, intermedia y superior del manipulador es el motor BG 75 de la marca Dunkermotoren ya que proporciona una potencia de entre 220-530W.

La potencia requerida en el motor inferior y superior es de 320Watts y la requerida en el motor intermedio es de 165 W.



Data / Technische Daten		BG 75x25		BG 75x50		BG 75x75
Rated voltage/ Nennspannung	VDC	24	40	24	40	40
Continuous rated speed/ Nenn Drehzahl	rpm ^{*)}	3620	3500	3700	3500	3370
Continuous rated torque/ Nenn Drehmoment	Ncm ^{*)}	66	64	110	110	150
Continuous current/ Nennstrom	A ^{*)}	13.1	7.4	21.2	12	15.6
Starting torque/ Anlaufmoment	Ncm ^{**)}	250	250	500	500	630
Peak current/ Zulässiger Spitzenstrom	A ^{**)}	65	37	98	55	63
Rotor inertia/ Trägheitsmoment	gcm ²	240	240	440	440	650
Weight of motor/ Motorgewicht	kg	1.6	1.6	2.2	2.2	2.8

^{*)} Δθ₀ = 100 K; ^{**)} θ_a = 20°C

Tabla 11 Especificaciones Motor BG75

Motor Base de Manipuladores

De acuerdo al estudio de movimiento realizado en el apartado anterior el torque requerido es de 0.078 N-m por lo cual se selecciono el motor APPS17 de la marca Electrocraft en base a los requerimientos establecidos.



APPS17 : AxialPower™ Plus Stepper Type Linear Actuator

Technology: Stepper

Size: Nema 17

Torque: to 47 oz-in or 33 Ncm

APPS17 Mechanical / Winding Data

Stack Size Models	APPS17 - 29A	APPS17 - 47A	APPS17 - 29V	APPS17 - 47V
Holding Torque Bi-Polar (oz-in)	29.0	47.0	29.0	47.0
Holding Torque Bi-Polar (Ncm)	20.48	33.19	20.48	33.19
Holding Torque Uni-Polar (oz-in)	0.0	0.0	22.2	36.1
Holding Torque Uni-Polar (Ncm)	0.00	0.00	15.68	25.49
Length (inches)	1.3	1.5	1.3	1.5
Length (cm)	3.3	3.8	3.3	3.8
Width (inches)	1.6	1.6	1.6	1.6
Width (cm)	4.1	4.1	4.1	4.1
Weight (oz)	7.0	9.0	7.0	9.0
Weight (Kg)	0.2	0.3	0.2	0.3
Step Angle (°/step)	1.8	1.8	1.8	1.8
Number Leads	4	4	6	6

APPS17Uni-Polar Windings


Winding Models	APPS17 - 29V40 - 1	APPS17 - 29V60 - 1	APPS17 - 29V96 - 1	APPS17 - 29V120 - 1	APPS17 - 47V40 - 1	APPS17 - 47V60 - 1	APPS17 - 47V120 - 1	APPS17 - 47V240 - 1
Current Bi-Polar (A/Phase)	0.7	0.4	0.3	0.2	0.9	0.6	0.3	0.1
Voltage Bi-Polar (V/Phase)	5.6	8.5	13.6	17.0	5.6	8.5	17.0	33.9
Resistance Bi-Polar (R/Phase)	8.4	19.2	48.0	77.0	6.6	15.0	60.0	240.0
Inductance Bi-Polar (mH)	10.0	23.2	60.0	92.0	12.8	28.0	112.0	448.0
Current Uni-Polar (A/Phase)	1.0	0.6	0.4	0.3	1.2	0.8	0.4	0.2
Voltage Uni-Polar (V/Phase)	4.0	6.0	9.6	12.0	4.0	6.0	12.0	24.0
Resistance Uni-Polar (R/Phase)	4.2	9.6	24.0	38.5	3.3	7.5	30.0	120.0
Inductance Uni-Polar (mH)	2.5	5.8	15.0	23.0	3.2	7.0	28.0	112.0

Tabla 12 Especificaciones Motor APPS17


Stack Size Models	RP23 - 26	RP23 - 34	RP23 - 54	RP23 - 73
Continuous Stall Torque (oz-in)	26	34	54	73
Continuous Stall Torque (Ncm)	18.36	24.01	38.13	51.55
Peak Torque (oz-in)	50	80	150	190
Peak Torque (Ncm)	35.30	56.49	105.92	134.16
Motor Constant (oz-in / Watt)	4.50	6.60	9.20	15.00
Electrical Constant (msec)	1.24	1.30	1.54	1.62
Mechanical Constant (msec)	9.06	9.21	6.24	5.41
Rotor Inertia (oz-in-sec ²)	0.0015	0.0029	0.0047	0.0072
Rotor Inertia (gm-cm ²)	105.9	204.8	331.9	508.5
Thermal Resistance (C / Watts)	3.2	3.0	2.8	2.7
Weight (oz)	15.0	21.0	54.0	47.0
Weight (Kg)	0.4	0.6	1.5	1.3
Length (inches)	1.6	2.0	3.0	4.0
Length (cm)	4.1	5.1	7.6	10.2
Number of Poles	4	4	4	4

Motor Sistema de Sujeción y Balance

De acuerdo al estudio de fuerzas aplicadas necesarias para realizar los movimientos del Sistema de Sujeción y Balance, se recomienda el uso de motores RP23 de la marca Electrocraft, los cuales proveen de un torque de 134 N-cm y el requerido por el sistema es de:0.063 N-m



RP23 : RapidPower™ BLDC Motor
 Size: Nema 23
 Peak Torque: to 190 oz-in or 134 Ncm

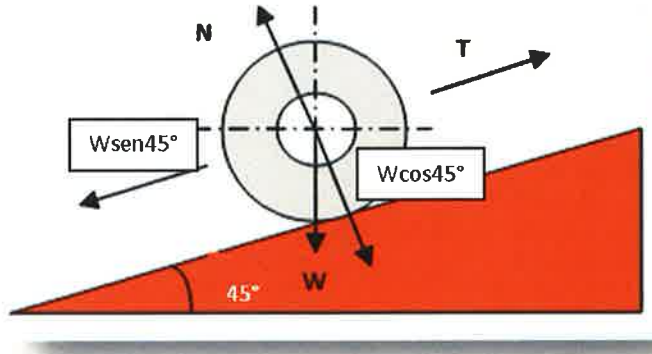


Winding Models	26V12	26V24	26V48	26V90	34V12	34V24	34V48	34V160	64V12	64V24	64V48	64V160	73V24	73V48	73V90	73V160
Design Voltage (VDC)	12	24	48	90	12	24	48	160	12	24	48	160	24	48	90	160
Continuous Current (Amps)	5.3	4.6	2.6	1.6	8.6	4.5	2.5	1.1	8.7	5.7	4.2	1.5	8.3	4.7	3.1	1.8
Peak Current (Amps)	11.0	9.0	6.5	3.5	17.5	10.0	7.0	2.6	15.9	18.5	11.1	4.2	25.3	14.4	8.5	5.4
Voltage Constant ±10% (VDC/RPM)	3.4	4.2	6.7	11.3	3.0	5.5	9.6	22.9	4.9	6.5	10.0	26.7	6.7	11.2	18.0	28.1
Torque Constant ±10% (oz-in / Amp)	4.6	5.7	9.1	15.2	4.1	7.5	13.0	30.9	6.6	8.8	13.5	36.1	9.0	15.1	24.3	38.0
Torque Constant ±10% (Ncm / Amp)	3.248	4.025	6.426	10.734	2.895	5.296	9.180	21.820	4.661	6.214	9.533	25.492	6.355	10.663	17.160	26.834
Resistance																
Resistance ±10% (Ohms)	0.1	1.5	3.5	9.2	0.4	1.3	4.0	21.0	0.4	0.9	1.6	12.5	0.4	1.3	3.0	7.9
Inductance ±10% (mH)	1.1	1.8	4.6	11.3	0.5	1.8	4.5	25.0	0.6	1.3	2.4	18.0	0.7	2.0	4.3	14.5

Tabla 13 Especificaciones Motor RP23

Motor –Llanta

Para la selección de este motor no fue posible hacer un análisis de movimiento por lo que se analizó en un DCL tomando como condiciones que la rueda se encuentra sobre una línea con un ángulo de inclinación de 45 grados; Para encontrar su torque, es necesario conocer la fuerza que actúa sobre el cuerpo (T).



$$\Sigma F_x = 0$$

$$T = W \text{sen}45 = 0$$

$$T = .W \text{sen}45$$

$$T = 900 \text{ sen}45$$

$$T = 636.39 \text{ N}$$

Torque

$$\tau = F \times r$$

$$\tau = (636.39\text{N})(0.075\text{m})$$

$$\tau = 47.7 \text{ N-m}$$

El torque requerido en base al análisis anterior es de 47.7 N-m, y el motor propuesto es el DX6 de la marca Parker ya que proporciona un torque continuo de 127 N-m, lo cual sobrepasa al requerido.

Performance Specifications

Tire Diameter		152mm (6in)									
Speed Code				20	25	30	36				
Motor Code	Power										
1	150	Speed	Km/hr MPH	6.3 3.9	5.0 3.1	4.2 2.6	3.5 2.2				
		Peak Torque	Nm in lb	65 578	81 722	97 866	116 1,040				
		Continuous Torque	Nm in lb	20 174	24 217	29 260	35 312	20 174	24 217	29 260	35 312
2	300	Speed	Km/hr MPH	5.8 3.6	4.7 2.9	3.9 2.4	3.2 2.0	7.7 4.8	6.3 3.9	5.2 3.2	4.3 2.7
		Peak Torque	Nm in lb	88 784	110 980	132 1,176	158 1,411	88 784	110 980	132 1,176	158 1,411
		Continuous Torque	Nm in lb	26 235	33 294	40 353	48 423	26 235	33 294	40 353	48 423
3	748	Speed	Km/hr MPH	5.5 3.4	4.4 2.7	3.6 2.2	3.0 1.8	7.3 4.5	5.9 3.6	4.9 3.0	4.1 2.5
		Peak Torque	Nm in lb	235 2,100	294 2,625	353 3,150	423 3,780	235 2,100	294 2,625	353 3,150	423 3,780
		Continuous Torque	Nm in lb	70 630	88 788	106 945	127 1,134	70 630	88 788	106 945	127 1,134
ALL TIRES		Load Capacity	kg lb	454 1,000				454 1,000			



Tabla 14 Especificaciones Motor DX6

3.2.6 Características del robot diseñado

Con base a los requerimientos que CFE demanda y tomando en cuenta las necesidades observadas en los prototipos existentes, el robot Cidesi 2 cuenta con las siguientes características:

- 3GDL en cada brazo
- Longitud máx. * Altura máx.* Ancho max = 100cm * 90 cm.*70cm
- Peso = 90 Kg.
- No. de motores:12

- Contiene un sistema de sujeción mecánica que permite posicionarlo y retirarlo de el/los conductor(es).
- Permite la liberación de diversos obstáculos como esferas de precaución, separadores, anillos de efecto corona, amortiguadores y aisladores de paso en todas sus configuraciones.
- Presenta dos alternativas de montaje sobre la línea.
 - a) Hilo de Guarda
 - b) Una de las fases de la línea
- Cuenta con un sistema de balance en movimientos para liberación de obstáculos.
- Geometría optimizada;

3.2.5 Justificación De La Selección Del Material

De acuerdo a los requerimientos de resistencia y peso se propone el uso de aluminio 6061 T6 y Acero4340 templado los cuales presentan las siguientes características:

Aluminio 6061 T6

- **Ligero:** El aluminio es el más ligero de todos los metales para uso estructural, a excepción del magnesio. El aluminio pesa solo la tercera parte que el hierro y el cobre.
- **Resistencia mecánica:** El aluminio tiene la resistencia para trabajos pesados, por lo general esta resistencia se obtiene mediante aleaciones de aluminio adicionando metales como manganeso, silicio, cobre, magnesio y zinc. Las aleaciones de aluminio pueden ser tan resistentes como algunos aceros.
- **Elasticidad:** La elasticidad de un material es la medida de su capacidad para regresar a su forma original después de que ha sido deformada por fuerzas externas. La elasticidad de los metales depende del tratamiento metalúrgico que tienen se puede decir en general que la elasticidad viene acompañada de dureza, esto significa que el aluminio puede ser mas o menos elástico como lo requiera su aplicación.

- **Resistencia a la corrosión:** En un ambiente en el que el aire este húmedo se forma una película fina resistente de oxido de aluminio que protege que la oxidación avance hacia el interior del metal.
- **Conductividad eléctrica:** Las aleaciones de aluminio son los mejores conductores de electricidad económicos disponibles porque manejan sobre dos veces la corriente que el cobre en relación a su peso. El aluminio puro tiene una conductividad eléctrica de 65% y algunas aleaciones el 55%.
- **Conductor del calor:** El aluminio es un excelente conductor del calor, lo conduce tres veces mejor que el acero.
- **Refleja la energía radiante:** Las superficies pulidas de aluminio son excelentes reflectores de la energía radiante.
- **No magnético:** Para efectos prácticos el aluminio es no magnético lo que lo hace que sea de los pocos metales apropiados para proteger ciertas aplicaciones eléctricas y electrónicas.
- **No flamable:** Aunque es un excelente conductor eléctrico, el aluminio no produce chispas. Esto es una propiedad esencial en productos usados con alta flamabilidad o materiales y ambientes explosivos.
- **Composición química:** Se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 4.1 Composición química del aluminio 6061

Silicio	Hierro	Cobre	Manganeso
0.40-0.82	0.70 max.	0.15-0.40	0.15 max.
Magnesio	Cromo	Zinc	Titanio
0.80-1.20	0.04-0.35	0.25 max.	0.15 max.

- **Propiedades mecánicas**

Módulo elástico= $6.9e+010$ Pa.

Límite elástico. $5.5149e+007$ Pa.

Coefficiente de Poisson = 0.33

Módulo cortante = $2.6e+010$. Pa.

Límite de tracción= $1.2408e+008$ Pa.

Dureza: 95 Brinell.

4.-RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS ESTÁTICO MEF

Para validar el nuevo diseño propuesto es necesario hacer un análisis de elemento finito. El programa de uso comercial CosmosWorks fue utilizado para obtener este análisis estático.

Cuando uno de los brazos se encuentra fijo al conductor y la estructura del bastidor queda en posición similar a una viga en voladizo (cantilever), se concentra el mayor número de esfuerzos mecánicos para el mecanismo del robot. Por ello fue considerada la posición a estudiar y es descrito el desarrollo a continuación.

4.1.1 Propiedades del Estudio.

Nombre del Estudio	Estudio de Esfuerzos
Tipo de Análisis	Estatico
Tipo de Mallado	Mallado Solido
Tipo de Solución	FFEPlus

4.1.2 Unidades

Sistema de unidad:	SI
Longitud/Desplazamiento	M
Temperatura	Kelvin
Velocidad Angular	rad/s
Tensión/Presión	N/m ²

4.1.3 Propiedades del Material

No.	Nombre Del Cuerpo	Material	Masa	Volumen
1	Eje de Aluminio	[SW]AISI 4340	0.887814 kg	0.000113097 m ³

	12mm-1	Acero Templado		
2	Eje de Aluminio	[SW]AISI 4340	0.887814 kg	0.000113097 m ³
	12mm-2	Acero Templado		
3	MOTOR part1-1	[SW]Aleación 6061	1.92918 kg	0.00071451 m ³
4	MOTOR part1-3	[SW]Aleación 6061	1.92918 kg	0.00071451 m ³
5	Motor RP23-2	6061 Aluminio	0.382673 kg	0.000141731 m ³
6	Soporte ruedas RP23-2	6061 Alloy	1.55139 kg	0.00057459 m ³
7	adaptador superior2-1	[SW]Aleación 6061	0.0248832 kg	9.216e-006 m ³
8	adaptador superior2-2	[SW]Aleación 6061	0.0248832 kg	9.216e-006 m ³
9	adaptador superior2-3	[SW]Aleación 6061	0.0248832 kg	9.216e-006 m ³
10	adaptador superior2-5	[SW]Aleación 6061	0.0248832 kg	9.216e-006 m ³
11	base BG75 -2-1	[SW]Aleación 6061	5.4758 kg	0.00202807 m ³
12	base motor-1	[SW]Aleación 6061	2.21894 kg	0.000821831 m ³
13	caucho BG75-1	[SW]6061 Alloy	0.86243 kg	0.000319419 m ³
14	eje llanta-1	[SW]6061 Alloy	4.06984 kg	0.00150735 m ³
15	ensamble BG75 Good-1/cajita BG75-1	6061 Alloy	1.19103 kg	0.000441124 m ³
16	ensamble BG75 Good-1/eje corona BG75220909-2	[SW]AISI 4340 Acero Templado	0.621508 kg	7.9173e-005 m ³
17	ensamble BG75 Good-1/eje sin fin BG75220909-1	[SW]Aleación 6061	0.114473 kg	4.23974e-005 m ³
18	ensamble BG75 Good-1/enrane BG75-1	[SW]Aleación 6061	2.3782 kg	0.000880816 m ³
19	ensamble BG75	6061 Alloy	1.72793 kg	0.000639974 m ³

	Good-1/motor BG75-1			
20	ensamble BG75 Good-1/sin fin BG75-1	[SW]Aleación 6061	0.280986 kg	0.000104069 m ³
21	ensamble BG75 Good-2/cajita BG75-1	6061 Aleación	1.19103 kg	0.000441124 m ³
22	ensamble BG75 Good-2/eje corona BG75220909-2	[SW]AISI 4340 Acero Templado	0.621508 kg	7.9173e-005 m ³
23	ensamble BG75 Good-2/eje sin fin BG75220909-1	[SW]Aleación 6061	0.114473 kg	4.23974e-005 m ³
24	ensamble BG75 Good-2/engrane BG75-1	[SW]Aleación 6061	2.3782 kg	0.000880816 m ³
25	ensamble BG75 Good-2/motor BG75-1	6061 Aleación	1.72793 kg	0.000639974 m ³
26	ensamble BG75 Good-2/sin fin BG75-1	[SW]Aleación 6061	0.280986 kg	0.000104069 m ³
27	ensamble BG75 Good-3/cajita BG75-1	6061 Aleación	1.19103 kg	0.000441124 m ³
28	ensamble BG75 Good-3/eje corona BG75220909-2	[SW]AISI 4340 Acero Templado	0.621508 kg	7.9173e-005 m ³
29	ensamble BG75 Good-3/eje sin fin BG75220909-1	[SW]Aleación 6061	0.114473 kg	4.23974e-005 m ³
30	ensamble BG75 Good-3/engrane BG75-1	[SW]Aleación 6061	2.3782 kg	0.000880816 m ³
31	ensamble BG75 Good-3/motor	6061 aleación	1.72793 kg	0.000639974 m ³

BG75-1				
32	ensamble BG75 Good-3/sin fin BG75-1	[SW]Aleación 6061	0.280986 kg	0.000104069 m ³
33	motor-caja cuarto- 2/cuarta caja-1	6061 Aleación	0.90773 kg	0.000336196 m ³
34	motor-caja cuarto- 2/eje corona cuarto220909-1	[SW]AISI 4340 Acero Templado	0.304539 kg	3.87948e-005 m ³
35	motor-caja cuarto- 2/eje sin fin cuarto220909-1	[SW]Aleación 6061	0.0628989 kg	2.32959e-005 m ³
36	motor-caja cuarto- 2/engrane cuarto-1	[SW]Aleación 6061	1.30253 kg	0.000482418 m ³
37	motor-caja cuarto- 2/motor quart-1	6061 Aleación	1.72793 kg	0.000639974 m ³
38	motor-caja cuarto- 2/sin fin cuarto-1	[SW]Aleación 6061	0.0695 kg	2.57407e-005 m ³
39	perfil nuevo-1	[SW]6061 Aleación	2.55843 kg	0.000947568 m ³
40	placa sujeción Rb75-1	[SW]Aleación 6061	0.182828 kg	6.77141e-005 m ³
41	porta baterias-1	6061 Aleación	16.6219 kg	0.00615627 m ³
42	soporte BG75-1	[SW]Aleación 6061	1.20594 kg	0.000446644 m ³
43	soporte BG75-2	[SW]Aleación 6061	1.20594 kg	0.000446644 m ³
44	soporte segundo-1	[SW]6061 Aleación	0.019932 kg	7.38223e-006 m ³
45	soporte segundo-2	[SW]6061 Aleación	0.019932 kg	7.38223e-006 m ³
46	soporte segundo-3	[SW]6061 Aleación	0.019932 kg	7.38223e-006 m ³
47	soporte segundo-4	[SW]6061 Aleación	0.019932 kg	7.38223e-006 m ³
48	tornillo R1-2	[SW]Aleación 6061	0.148016 kg	5.48208e-005 m ³

49	travesaño 2-1	6061 Aleación	0.448406 kg	0.000166076 m ³
50	travesaño 2-2	6061 Aleación	0.448406 kg	0.000166076 m ³
51	travesaño 2-3	6061 Aleación	0.448406 kg	0.000166076 m ³

Nombre del Material:	[SW]AISI 4340 Acero Templado
Tipo de material del Modelo:	Isotrópico Linear Elástico

Nombre de la propiedad	Valor	Unidades	Tipo de Valor
Modulo Elástico	2.05e+011	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.285	NA	Constante
Modulo Cortante	8e+010	N/m ²	Constante
Densidad	7850	kg/m ³	Constante
Limite de Tracción	7.45e+008	N/m ²	Constante
Limita elástico	4.7e+008	N/m ²	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	1.2e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	44.5	W/(m.K)	Constante
Calor específico	475	J/(kg.K)	Constante

Nombre del material	6061 Aleación
Tipo de:Material	Isotrópico Linear Elástico

Nombre de la propiedad	Valor	Unidades	Tipo de Valor
Modulo Elástico	6.9e+010	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.33	NA	Constante
Modulo Cortante	2.6e+010	N/m ²	Constante
Densidad	2700	kg/m ³	Constante
Limite de Tracción	1.2408e+008	N/m ²	Constante
Limite elástico	5.5149e+007	N/m ²	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	2.4e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad	170	W/(m.K)	Constante

Térmica			
Calor Especifico	1300	J/(kg.K)	Constante

4.1.4 Restricción

Nombre de la restricción	Conjunto de Selección
Restriccion-1 <base BG75 -2-1>	Sobre 2 caras.

4.1.5 Carga

Nombre de la carga	Conjunto de Selección	Tipo de carga
Fuerza/Torque-1 <soporte BG75-2>	en 1 cara(s) fuerza normal aplicada 500 N distribución uniforme	Carga secuencial

4.1.6 Información del Mallado

Tipo de Mallado	Mallado Solido
Mallado usado:	Mallado Estándar
Transición automática:	Apagado
Superficie suave:	Encendido
Verificación Jacobina:	4 Puntos
Tamaño de elemento	10.688 mm
Tolerancia:	0.5344 mm
Calidad:	Alta
Numero de elementos	231014
Numero de nodos:	58698
Tiempo para finalizar el mallado(hh:mm:ss):	00:02:50
Nombre de la computadora:	CIQRO-LY8K1

4.1.7 Resultados del Estudio

Nombre	Tipo	Min	Ubicación	Max	Ubicación
Tensión 1	VON: Tensión de Von Mises	0 N/m ² Nodo: 13755	(-41.763 mm, 722.13 mm,	4.51319e+007 N/m ²	(-6.85668 mm, 50.2322 mm,

			210.354 mm)	Nodo: 225	214.34 mm)
Desplazamiento 1	URES:	0 m	(-71.0199 mm,	0.00518176 m	(342.043 mm,
	Resultado de Desplazamiento	Nodo: 7422	497.986 mm,	Nodo: 57076	204.402 mm,
			237.565 mm)		-388.897 mm)
Deformación 1 unitaria equivalente	ESTRN:	0	(-41.763 mm,	0.000557387	(-212.282 mm,
	Deformación	Nodo: 13755	722.13 mm,	Nodo: 2892	379.128 mm,
			210.354 mm)		210.686 mm)

4.1.8 Gráficas de resultados

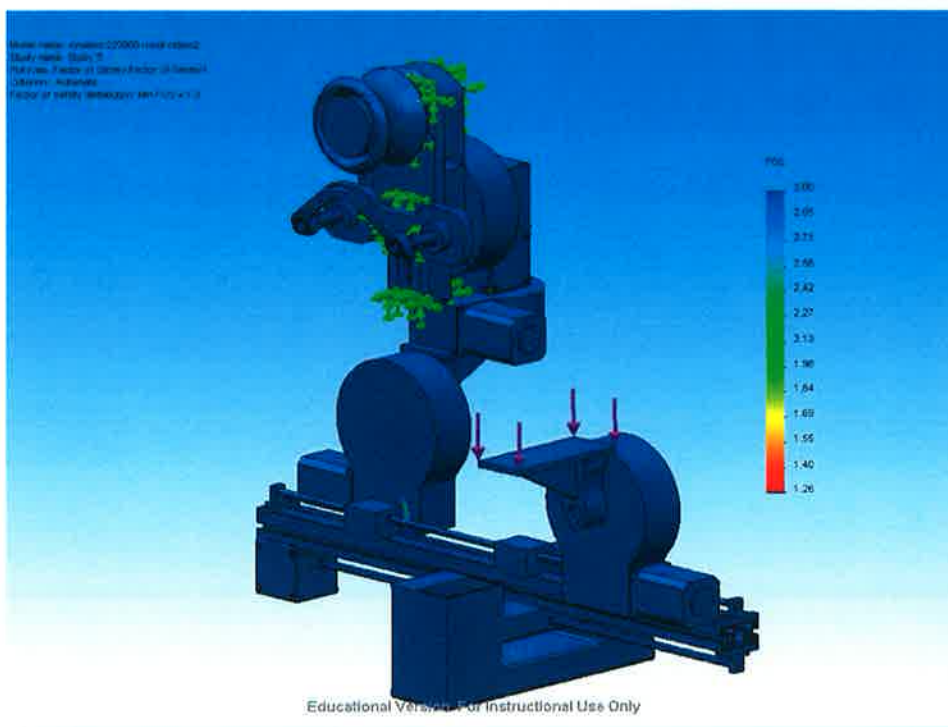


Fig. 35 Análisis: Factor de Seguridad

En la Fig. 35 se observa que existe un factor de seguridad mínimo= **1.2** obtenido de la relación Limite Elástico/ Von Mises

De acuerdo al estudio anterior se valida que la estructura soporta las cargas, y por consecuente el diseño cumple con las características de resistencia requeridas.

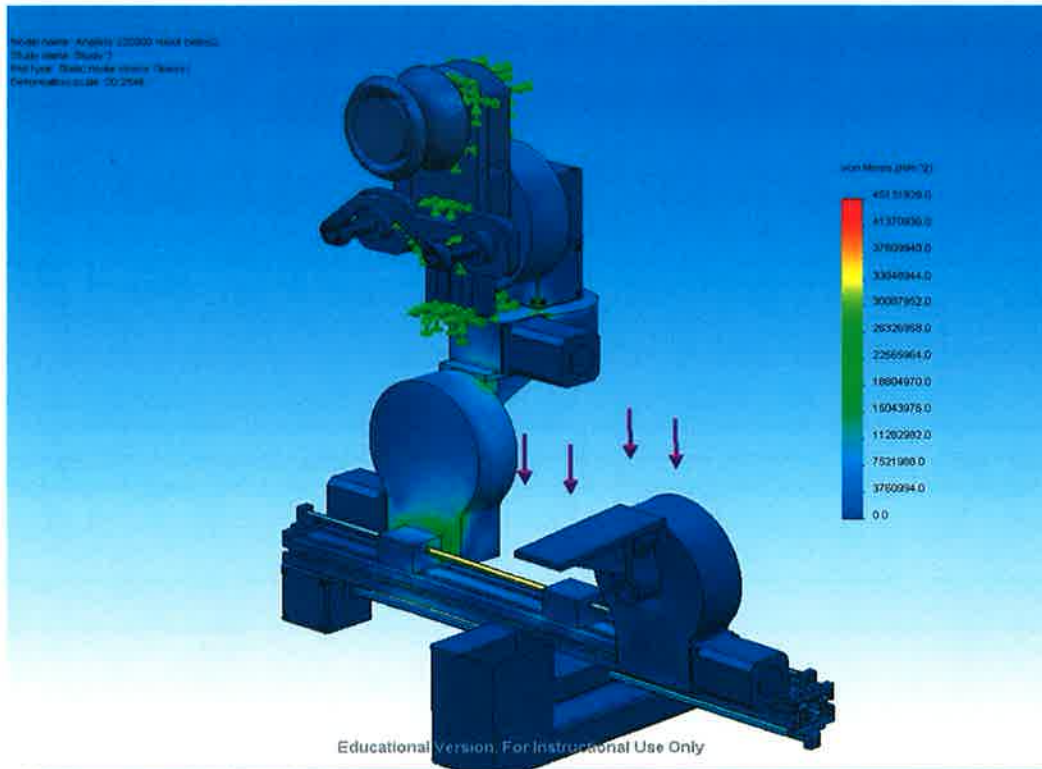


Fig. 36 Análisis de Tensión

En la Fig. 36 se puede observar que la máxima tensión presente en la estructura es = 4.51319×10^7 N/m² y su límite elástico se encuentra por arriba de los 55 MPa. Dando como conclusión que el diseño es conservador en un factor de seguridad contra el esfuerzo de fluencia de 1.2.

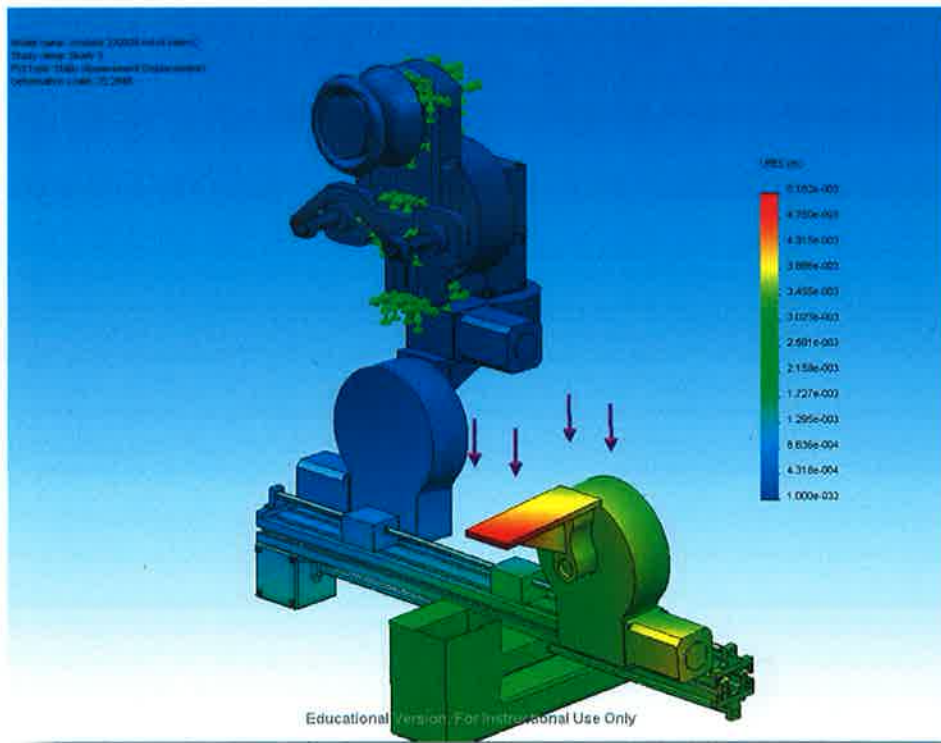


Fig. 37 Analisis: Desplazamiento

En la figura anterior se observa que existe un desplazamiento máximo= 5.18176 mm.

Nota: El desplazamiento máximo obtenido en el análisis No es considerado como significativo debido a la relación que hay con la longitud total del robot.

5.-CONCLUSIÓN

En base a los resultados obtenidos en los análisis mostrados anteriormente se puede concluir que el Robot CIDESI 2 es un diseño que cumple con los requerimientos de CFE ya que este Diseño será capaz de montarse sobre hilo de guarda y línea viva y llevar a cabo su recorrido liberando cualquier tipo de obstáculo que se le presente. Su estructura cuenta con dimensiones que no interfieren con la distribución del campo eléctrico ni con la liberación de obstáculos.

A ti título personal considero que el tiempo de prácticas realizado en CIDESI si cumplió con el objetivo planteado, ya que a lo largo del desarrollo se fueron aplicando conocimientos de Diseño y mecánica adquiridos durante la especialidad, no obstante también se adquirieron diversos conocimientos en el área.

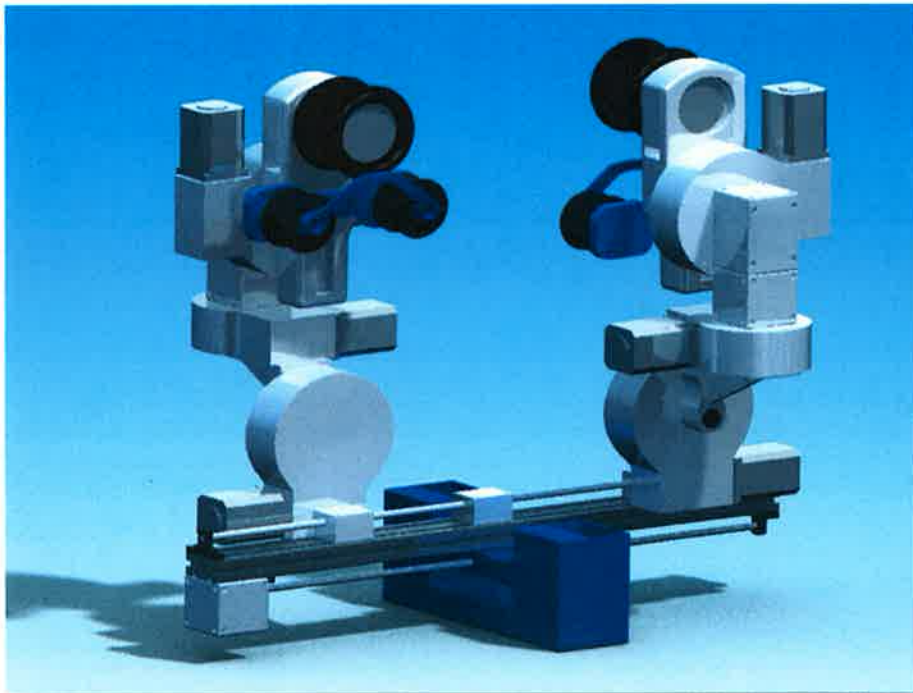


Fig. 39 Robot Diseñado Cidesi 2

6.-BIBLIOGRAFÍA

- [1] Boon, G.K.; Mercado, A., Automatización Flexible en la Industria, Ed. LIMUSA-Noriega, México, 1991.
- [2] Campos; Bracarense A. Q.; Pereira G. A. S.; Pinheiro G. A.; Vale Samuel R; Oliveira Mauricio P, A robot for installation and removal of aircraft warning spheres on aerial power transmission lines, IEEE, Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil, 2001.
- [3] Córdova Aquino Jacobo; Domínguez; Castillo Méndez Rocío del Carmen, Aplicación del método de elemento finito en el cálculo de las deflexiones de una barra sujeta a una fuerza axial, Episteme Revista Académica Electrónica, No. 11. Año 3, Tabasco, México, 2007.
- [4] Fu K. S.; González R. C.; Lee C. S. G., Robotics: Control, sensing, vision and intelligence, Ed. McGraw-Hill, Segunda edición. s/l, s/f.
- [5] Fu Siyao; Li Weiming; Zhang Yunchu; Liang; y otros, Structure-Constrained Obstacles Recognition For Power Transmission Line Inspection Robot, IEEE, China, 2006
- [6] González V.; Jiménez F.; Álvarez, J, Análisis Del Proceso De Diseño En Ingeniería Y Estudio De Estrategias Metodológicas Para Su Enseñanza, s/e Universidad Politécnica de Madrid, España, 2004.
- [7] Martínez-Val, R., Diseño Industrial. Anales De Ingeniería Gráfica., Vol. 2, N°2, s/l, 1993.
- [8] Mason, J., Burton, L. Y Stacey, K., Pensar matemáticamente, Labor-MEC ,Barcelona, 1989.
- [9] Ming Liang y otros, High Voltage Electric Transmission Line Automatic Survey Inspection Robot Monobody, Patente No. H02G 1/02, China, 2003.
- [10] Montambault y Pouliot, Design and Validation of a Mobile Robot for Power Line Inspection and Maintenance, s/e, Canadá, 2008.
- [11] Montambault Serge; Cote Jacques; St-Louis Michel, Preliminary Results On The Development Of A Teleoperated Compact Trolley For Live-Line Working, IEEE, Canadá, 2000.
- [12] Nayyerloo; Yeganehparast ; Barati y Saadat Foumani, Mechanical Implementation and Simulation of MoboLab, A Mobile Robot for Inspection of Power Transmission Lines, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 5, No. 2 , Iran, 2008.
- [13] Polya, G. , Cómo Plantear Y Resolver Problemas, Trillas, México, 1981.

- [14] Sawada J.; Kusumoto; Munakata; Maikawa Y.; Ishikawa Y, A Mobile Robot For Inspection Of Power Transmission Lines, IEEE, Tokio Electric Power Co., Toshiba Corporation. Tokio Japón, 1991
- [15] Sedra Adel S.; Smith Kenneth, Circuitos Microelectrónicos, Editorial Oxford University Press, Cuarta edición.
- [16] Souza Adinan de; Moscato; dos Santos; Vidal Filho Nunes Ferreira; Ventrella A. G. , Inspection Robot For High-Voltage Transmission Lines, ABCM, Brasil, 2004.
- [17] Svant Jr.; Roden; Carpenter G., Diseño Electrónico. Circuitos y Sistemas, Editorial Prentice Hall, Tercera edición, Impreso en México, s/f.
- [18] Switek; C. Acosta y J. Alencastre , Simulación y Modelado en el Diseño Mecánico de un Reductor de Velocidad, Información Tecnológica-Vol. 15 N°4, s/l, 2004.
- [19] Tavares Luis; Silva Sequeira; RIOL - Robotic Inspection Over Power Lines; s/e, Portugal, 2004.
- [20] Zhou; Wang J.D.; Li Y.; Wang; Xiao, Control Of An Inspection Robot For 110kv Power Transmission Lines Based On Expert System Design Methods, IEEE, China, 2005

Paginas Web

- [22] S/A, SolidServicios, <http://www.solidworks.com/>, Dassault Systèmes SolidWorks Corp, 2008.