

MÁSTER UNIVERSITARIO EN DISEÑO Y FABRICACIÓN INTEGRADA ASISTIDOS POR COMPUTADOR

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DISEÑO DE DISPOSITIVOS MÓVILES PARA UNA CÉLULA DE DEMOSTRACIÓN ROBÓTICA

Autor: MONCAYO VALLEJO, KAREN JANINE

Tutor: ZANÓN MARTÍNEZ, LUIS

Cotutor: MARÍN MATEOS APARICIO, LUIS

SEPTIEMBRE 2019

AGRADECIMIENTO

Me gustaría expresar mi agradecimiento principalmente a Dios por guiarme y protegerme, mi eterna gratitud a mis padres y abuelita que son mi pilar fundamental que sin su amor, apoyo, comprensión y consejos a lo largo de mi vida no hubiera podido alcanzar mis metas, a mi hermano y su esposa quienes están siempre al pendiente de mi brindándome esa fuerza que necesito para seguir mi camino.

A su vez quiero dar mi profundo agradecimiento a AIDIMME que me abrió las puertas para realizar las prácticas y este trabajo, por todo el apoyo y cariño recibido de cada uno de mis compañeros, quienes se han convertido en una familia, a Luis Zanón tutor de este trabajo le auguro muchos éxitos en su vida, es un gran ejemplo como persona, profesional y docente.

Gracias a cada una de las personas que han estado acompañándome en este año lejos de mi hogar, a mi familia que me acogió en su casa brindándome ese calor de hogar, amigos, compañeros que de una u otra forma se han convertido en personas importantes y valorables para mi vida, los llevare siempre conmigo en el corazón.

RESUMEN

En este trabajo se diseñará una mesa móvil para un robot colaborativo para el Instituto Tecnológico AIDIMME, ubicado en el parque tecnológico (Valencia). Dicha mesa permitirá realizar demostraciones orientadas a operaciones de posicionamiento, ensamblaje de cierto tipo de productos, lijado, atornillado y taladrado; por lo tanto, es necesario realizar un análisis de dicho demostrador para asegurar que sea capaz de soportar el peso y las fuerzas ejercidas por el robot. Por otro lado, se diseñará un armario móvil tipo rack en el cual se tendrá un conjunto de sensores y aparata eléctrica que permitirá monitorear el estado de las maquinas durante el proceso.

Palabras claves: Diseño, robot, dispositivos móviles, demostrador.

ABSTRACT

In this work we will design a mobile table for a collaborative robot for the Technological Institute AIDIMME located in the technology park (Valencia), this table will allow to focus demonstrations in operations such as positioning, assembly of certain types of products, sanding, screwing and drilled; with this in mind, it is necessary to perform an analysis of said demonstrator to make sure it is capable of supporting both the weight and the forces exerted by the robot. On the other hand, a mobile cabinet in the type of a rack will be designed in which there will be a set of sensors and electrical switchgear that will allow to monitor the state of the machines during the process.

Keywords: Design, robot, mobile devices, demonstrator.

RESUM

En aquest treball es dissenyarà una taula mòbil per a un robot col·laboratiu per a l'Institut Tecnològic AIDIMME, situat al Parc Tecnològic PATERNA(València). Aquesta taula permetrà realitzar demostracions orientades a operacions de posicionament, assemblatge de cert tipus de productes, escatat, caragolat i trepat; per tant, és necessari realitzar una anàlisi de dita demostradora per a assegurar que siga capaç de suportar el pes i les forces exercides pel robot. D'altra banda, es dissenyarà un armari mòbil tipus rack en el qual es tindrà un conjunt de sensors i aparellatge elèctric que permetrà monitorar l'estat de les màquines durant el procés.

Paraules claus: Disseny, robot, dispositius mòbils, demostrador.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1	1
1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 GENERAL	2
1.2.2 ESPECIFICOS	2
CAPÍTULO 2	3
2 ESTADO DEL ARTE	3
2.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
2.2 ALCANCE	4
CAPÍTULO 3	5
3 MARCO TEÓRICO	5
3.1 INDUSTRIA 4.0	5
3.1.1 PILARES DE LA INDUSTRIA 4.0	6
3.1.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA INDUSTRIA 4.0	8
3.2 ROBOTS EN LA INDUSTRIA 4.0	9
3.2.1 DIFERENCIAS ENTRE LOS ROBOTS COLABORATIVOS Y LOS ROBOTS INDUSTRIALES	10
3.2.2 PROCESOS Y TAREAS QUE PUEDE REALIZAR UN ROBOT COLABORATIVO	12
3.3 MONITOREO DE MAQUINAS Y EQUIPOS EN LA INDUSTRIA 4.0	13
3.4 DISPOSITIVOS MOVILES EN LA INDUSTRIA 4.0	14
3.4.1 DISPOSITIVOS DE MOVILIDAD MANUAL	14
3.4.2 DISPOSITIVOS AUTOGUIADOS	15
CAPÍTULO 4	16
4 DESARROLLO	16
4.1 DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS	16
4.1.1 DISEÑO DE LA MESA MOVIL PARA EL ROBOT COLABORATIVO	16
4.1.1.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LA MESA MOVIL	17
4.1.2 DISEÑO DEL ARMARIO MOVIL TIPO RACK	31
4.2 ANÁLISIS DE INGENIERÍA	38
4.2.1 PREPROCESAMIENTO	38

4.2.2	RESOLUCIÓN	51
4.2.3	POSTPROCESAMIENTO	52
4.3	FABRICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS	56
4.3.1	PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA MESA MOVIL	56
4.3.2	PROCESO DE FABRICACIÓN DEL ARMARIO RACK	59
CAPÍTULO 5.....		61
5	VALORACIÓN ECONÓMICA	61
5.1	PRESUPUESTO ECONÓMICO DE LA MESA MÓVIL.....	61
5.2	PRESUPUESTO ECONÓMICO DEL ARAMRIO RACK	62
5.3	COMPARACIÓN DE COSTO CON PRODUCTOS SIMILARES DISPONIBLES EN EL MERCADO	63
CAPÍTULO 6.....		65
6	PRUEBAS.....	65
6.1	PRUEBAS REALIZADAS DEL MONTAJE, MOVILIDAD Y TRABAJO DE LA MESA MÓVIL.....	65
6.2	PRUEBAS REALIZADAS DEL MONTAJE, MOVILIDAD Y TRABAJO DEL ARMARIO RACK.....	66
CAPÍTULO 7.....		67
7	CONCLUSIONES Y POSIBLES MEJORAS.....	67
7.1	CONLUSIONES.....	67
7.2	POSIBLES MEJORAS	68
CAPÍTULO 8.....		69
8	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	69
ANEXOS		1
A.	DATASHEET DEL ROBOT TM5-900 PROPORCIONADOS POR LA PAGINA DE OMRON	1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Evolución de las revoluciones industriales [1].	5
Figura 3.2: Pilares de Industria 4.0 [1].	6
Figura 3.3: Robot Colaborativo UR [2].	9
Figura 3.4: Diferencias en el modo de trabajo de un robot colaborativo y un industrial [3].	10
Figura 3.5: Modo de operación de un robot colaborativo [4].	11
Figura 3.6: Monitoreo de máquinas y dispositivos en la industria [5].	13
Figura 3.7: Dispositivo móvil manual [6].	14
Figura 3.8: Dispositivo móvil autoguiado por trayectoria fija [7].	15
Figura 3.9: Dispositivo móvil autoguiado basado en inteligencia artificial [8].	15
Figura 4.1: Mesa móvil comercial por la empresa Omron [9].	16
Figura 4.2: Robot colaborativo Omron TM5-900 [10].	17
Figura 4.3: Sistema de movimiento y soporte, carro inferior.	18
Figura 4.4: Vistas CAD Controlbox Omron.	19
Figura 4.5: Vistas CAD Armario Eléctrico.	19
Figura 4.6: Sistema de sujeción controlbox y armario eléctrico.	20
Figura 4.7: Estructura del carro inferior.	20
Figura 4.8: Ranuras de ventilación carro inferior.	21
Figura 4.9: Estructura de las puertas.	21
Figura 4.10: Tomacorriente general para la mesa móvil.	22
Figura 4.11: Módulo final del carro inferior.	22
Figura 4.12: Vistas módulo final del carro inferior.	23
Figura 4.13: Modelo CAD robot colaborativo Omron TM5-900.	24
Figura 4.14: Planos robot colaborativo Omron TM5-900.	24
Figura 4.15: Placa superior del carro superior.	25
Figura 4.16: Placa base del carro superior y sistema de apoyo para el robot.	25
Figura 4.17: Estructura del carro superior.	26
Figura 4.18: Sistema para la disipación de calor carro superior.	26
Figura 4.19: Sistema para transportar la mesa móvil.	27
Figura 4.20: Sistema de seguridad.	27
Figura 4.21: Módulo final del carro superior.	28
Figura 4.22: Vistas módulo final del carro superior.	28
Figura 4.23: Demostrador mesa móvil para robot colaborativo.	29
Figura 4.24: Ubicación del robot para el traslado del demostrador.	30
Figura 4.25: Ejemplo de tabla de diseño CAD para la base de la mesa móvil.	30
Figura 4.26: Caja para instrumentos musicales [11].	31
Figura 4.27: Estructura del cuerpo del armario.	32
Figura 4.28: Sistema de movimiento armario rack.	33
Figura 4.29: CAD dispositivos para el armario rack.	33
Figura 4.30: Sistema de fijación de los dispositivos.	34

Figura 4.31: Vistas del montaje de los dispositivos.....	34
Figura 4.32: Estructura de la tapa del armario rack.	35
Figura 4.33: Modelo de la tapa del armario rack.	35
Figura 4.34: Armario rack final.	36
Figura 4.35: Vistas del armario rack final.	37
Figura 4.36: Simplificación del brazo y sensores del modelo CAD.	39
Figura 4.37: Simplificación de puertas, tapas, bisagras y manillas del modelo CAD.	39
Figura 4.38: Simplificación de las ruedas del modelo CAD.	40
Figura 4.39: Simplificación de masas del modelo CAD.	40
Figura 4.40: Eliminación del avellanado de los agujeros del modelo CAD.	41
Figura 4.41: Corte en modelo CAD para definir longitud del tornillo.....	41
Figura 4.42: Tipos de uniones en la mesa móvil.	42
Figura 4.43: Diferencia entre los tipos de uniones.	42
Figura 4.44: Vistas de las uniones atornilladas del modelo CAD.....	43
Figura 4.45: Contactos utilizados para el modelo CAD.	44
Figura 4.46: Fuerza aplicada sobre la base del robot.....	45
Figura 4.47: Momento aplicado sobre la base del robot.	49
Figura 4.48: Contactos fijos aplicados sobre las patas niveladoras de la mesa móvil.	49
Figura 4.49: Casos de carga aplicados para el análisis CAE.	50
Figura 4.50: Selección del tipo material para el análisis CAE.	51
Figura 4.51: Tamaño de los elementos del mallado para el análisis CAE.....	51
Figura 4.52: Resultados generales obtenidos del análisis CAE para tensión.....	52
Figura 4.53: Zonas donde existe mayor tensión en el análisis CAE.	53
Figura 4.54: Resultados generales obtenidos del análisis CAE para desplazamiento.	54
Figura 4.55: Archivo DXF/DWG de la chapa para la puerta de la mesa móvil.....	56
Figura 4.56: Taladro y roscado en la chapa para la puerta de la mesa móvil.....	57
Figura 4.57: Plano de plegado para la chapa para la puerta de la mesa móvil.	57
Figura 4.58: Soldadura en las esquinas de la puerta de la mesa móvil.	57
Figura 4.59: Mesa móvil fabricada.....	58
Figura 4.60: Cambio de diseño para la fabricación de la pieza de la mesa móvil.....	59
Figura 4.61: Armario rack fabricado.	60
Figura 6.1: Pruebas mesa móvil para robot colaborativo.	65
Figura 6.2: Pruebas armario rack.	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1: Características principales del robot colaborativo TM5-900 [10].	17
Tabla 4.2: Medidas aproximadas de la mesa móvil.	29
Tabla 4.3: Medidas del cuerpo del armario	32
Tabla 4.4: Medidas del armario tipo rack.	36
Tabla 4.5: Valores obtenidos del análisis CAE para tensión.	53
Tabla 4.6: Valores obtenidos del análisis CAE para desplazamiento.	55
Tabla 5.1: Presupuesto mesa móvil para robot colaborativo.	62
Tabla 5.2: Presupuesto armario rack.	63

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 4.1: Valor de la masa total para el ensayo.....	45
Ecuación 4.2: Fuerza total ejercida en la mesa móvil.	45
Ecuación 4.3: Momento con carga estática aplicado para el ensayo.....	47
Ecuación 4.4: Momento con carga dinámica aplicado para el ensayo.....	48
Ecuación 4.5: Momento total ejercido por el robot para el ensayo.	48
Ecuación 4.6: Factor de seguridad límite elástico.....	53
Ecuación 4.7: Factor de seguridad límite ruptura.....	54
Ecuación 5.1: Costo mano de obra por hora.....	61
Ecuación 5.2: Costo mano de obra diseño e ingeniería de la mesa móvil.	61
Ecuación 5.3: Costo energético diseño mesa móvil.....	62
Ecuación 5.4: Costo mano de obra diseño armario rack.....	62
Ecuación 5.5: Costo energético diseño armario rack.....	62

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1: Comparación de costos mesa móvil.....	63
---	----

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

El proyecto consiste en el diseño de dos dispositivos móviles para una célula Plug&Play (Célula P&P) demostrativa basada en el modelo estándar de Industrial 4.0 desarrollada por el Instituto Tecnológico AIDIMME, ubicado en el parque tecnológico (Valencia), la cual puede ser adoptada a corto y media plazo por las empresas industriales de los sectores Madera-Mueble y Metalmecánico, tras el oportuno análisis de viabilidad realizado por cada empresa.

Para realizar el CAD (diseño asistido por ordenador) de los dispositivos es necesario tomar en cuenta la función que tendrá cada uno dentro de la célula demostrativa, por lo cual se harán varias consideraciones de diseño, así como de los materiales a utilizar; una vez obtenidos los modelos CAD de los dispositivos se estudiará si es oportuno realizar un análisis CAE (ingeniería asistida por ordenador) para verificar el comportamiento de cada uno de estos ante diferentes fuerzas externas.

Para la fabricación de estos dispositivos se ha tenido que recurrir a la fabricación asistida por ordenador (FAO) debido a que las máquinas del taller encargado de la realización de estos trabaja con diferentes tipos de tecnologías según los procesos que sean necesarios.

Posteriormente se realizará una valoración económica de cada uno de los prototipos, de esta forma se puede analizar si el producto final es capaz competir con otros productos disponibles en el mercado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GENERAL

Diseñar dos dispositivos móviles para una célula demostrativa basada en el modelo estándar de Industrial 4.0.

1.2.2 ESPECIFICOS

- Analizar las consideraciones necesarias para el diseño de cada uno de los dispositivos móviles, para que estos puedan ser lo más compactos posibles.
- Realizar la simulación del comportamiento de los dispositivos para verificar que son capaces de soportar las fuerzas a las que serán sometidos.
- Comprobar que una vez obtenidos los prototipos tengan las condiciones necesarias para realizar las diferentes funciones requeridas.

CAPÍTULO 2

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La industria hoy en día avanza a pasos agigantados por lo cual es de vital importancia reducir tiempos en la fabricación de los productos como en su mano de obra, y en lo posible evitar averías en las maquinas que pueden ocasionar pérdidas por retrasos o paros en la producción, sobre todo en las pequeñas y medianas empresas a las que se encuentra destinado este proyecto, son empresas que aún no han apostado por automatizar del todo sus procesos de fabricación por a la fuerte inversión que se requiere.

Este proyecto presenta dos tipos de dispositivos móviles demostrativos cuyo objetivo es mostrar directamente en la planta de fabricación de este tipo de empresas los beneficios de la utilización de determinadas tecnologías enmarcadas en el ámbito de la Industria 4.0, consiguiendo así que al comprobar las grandes ventajas que se tienen se decidan a automatizar sus líneas de producción logrando crecer en la industria y ser más competitivas.

El primer dispositivo consta de una mesa móvil en la cual se tiene un robot colaborativo que dependiendo de la empresa en la que se vaya a realizar la demostración será ubicado en una cierta parte de la línea de producción, pudiendo realizar operaciones de posicionamiento, ensamblaje de cierto tipo de productos, lijado, atornillado o taladrado. Este robot tiene la finalidad ya sea de sustituir al operario encargado de estas operaciones o a su vez de brindarle ayuda en los procesos más complejos o pesados, reduciendo así el tiempo de trabajo y garantizando la calidad de este.

Por otro lado, el segundo dispositivo consta de un armario tipo rack en el cual se tiene un conjunto de diferentes tipos de sensores los cuales tienen como objetivo monitorear las maquinas en tiempo real durante el proceso como es el conteo de piezas fábricas (buenas y malas), de esta forma poder realizar un monitoreo y control sobre la producción, a su vez también se pueden obtener datos de las maquinas especialmente en los motores como es en su consumo, temperatura, vibraciones a las que están sometidos los mismos que ayudarían al mantenimiento predictivo, evitando así retrasos por daños inesperados en la maquinaria.

2.2 ALCANCE

El alcance de este proyecto está enmarcado en el diseño de estos dos dispositivos tomando en cuenta las necesidades básicas de cada uno, como son:

- Para el dispositivo de la mesa móvil que tiene el robot colaborativo se ha visto la necesidad de tener un prototipo lo más compacto posible para poder ser transportado de una forma cómoda por cada una de las empresas, a su vez es necesario realizar un análisis de su comportamiento una vez que el robot entra en funcionamiento, determinado así que el dispositivo es lo suficientemente robusto y estable para soportar tanto el peso del robot como las fuerzas que este pueda ejercer.
- En cuanto al dispositivo tipo rack, únicamente se ha considerado las dimensiones de los diferentes componentes que deben ir dentro de él; tomando en cuenta que este dispositivo no será sometido a fuerzas externas que puedan deformarlo una vez puesto en marcha, no se ha optado por realizar un análisis CAE de este, pero si se ha tomado en cuenta el tipo de material para que cuando sea transportado de un lugar a otro los dispositivos internos no sufran ningún daño.

Dado que para la fabricación de los dos dispositivos se ha contratado talleres dedicados a este tipo de actividad y que cuentan con maquinarias de alta tecnológica y con herramientas específicas por ordenador para el tratamiento de los modelos CAD, no se ha visto la necesidad de añadir en el CAD tornillería debido a que él se detalla la métrica de los orificios y taladros, tampoco ha sido necesario realizar planos de cada una de las piezas que conforman los dispositivos móviles, cumpliendo con la confidencialidad del diseño propio de la empresa.

Por otro lado, en caso de que el tiempo de realización de todo el proyecto de la célula colaborativa lleve más tiempo del esperado, es decir en cuanto a programación ya sea del rack que contiene los sensores como del robot, se optara por realizar únicamente pruebas básicas del funcionamiento de los dispositivos móviles dentro de los laboratorios de AIDIMME.

En cuanto a la valoración económica de cada uno, se tomará en cuenta el precio acordado con cada uno de los talleres por la fabricación de cada dispositivo que incluye los materiales sin tener un detalle completo, así como el costo por el diseño; no se tomará en cuenta el costo de los diferentes softwares y equipos informáticos utilizados debido a su valor ya ha sido amortizado.

CAPÍTULO 3

3 MARCO TEÓRICO

En este apartado se tratarán los diferentes conceptos teóricos que forman parte imprescindible para el desarrollo del proyecto por lo cual es necesario tenerlos claros.

3.1 INDUSTRIA 4.0

Desde la antigüedad el principal objetivo de cada una de las empresas o industrias ha sido superarse para progresar, dando saltos cualitativos que mejoren la calidad de sus productos o servicios; he ahí la razón por la cual en Alemania en el año 2010 surgió la ahora tan famosa cuarta revolución industrial o también conocida como “Industria 4.0”. Si regresamos al pasado y analizamos como la industria ha ido cambiando podemos darnos cuenta de que lo ha hecho a pasos agigantados comenzando con la memorable máquina de vapor hasta llegar una industria inteligente tal como se puede observar en la figura 3.1.

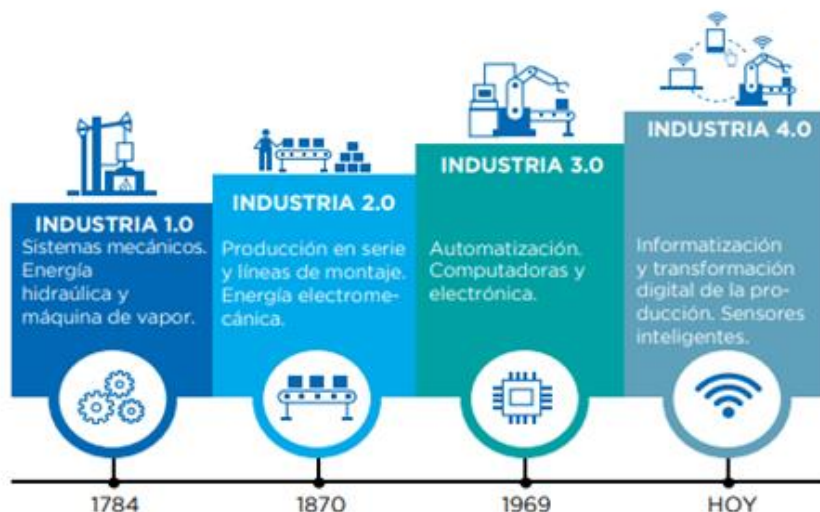


Figura 3.1: Evolución de las revoluciones industriales [1].

La industria 4.0 tiene como característica principal integrar los diferentes tipos de tecnologías, eliminando la línea que existía entre lo físico, digital y biológico, provocando de esta forma una transición hacia sistemas ciberfísicos que son de gran utilidad debido a que las empresas generan una gran cantidad de datos al día los mismo que pueden ser procesados y analizados rápidamente al descentralizar la toma de decisiones, se pasa de un modelo preventivo a uno predictivo, esto se puede ejemplificar en la cadena de suministros en donde al ajustar los tiempos en el abastecimiento de insumos se minimiza la necesidad de tener un gran inventario, por otro lado en los sistemas de detección de fallas de equipos se puede evitar paros inesperados por desperfectos al tener un monitoreo en tiempo real de los mismos.

3.1.1 PILARES DE LA INDUSTRIA 4.0

La figura 3.2 que se muestra a continuación detalla los pilares fundamentales de la industria 4.0, dentro de los cuales tenemos a los robots, la simulación, sistemas de integración, internet de las cosas, inteligencia artificial, computación en la nube, impresión 3D, realidad aumentada y big data.

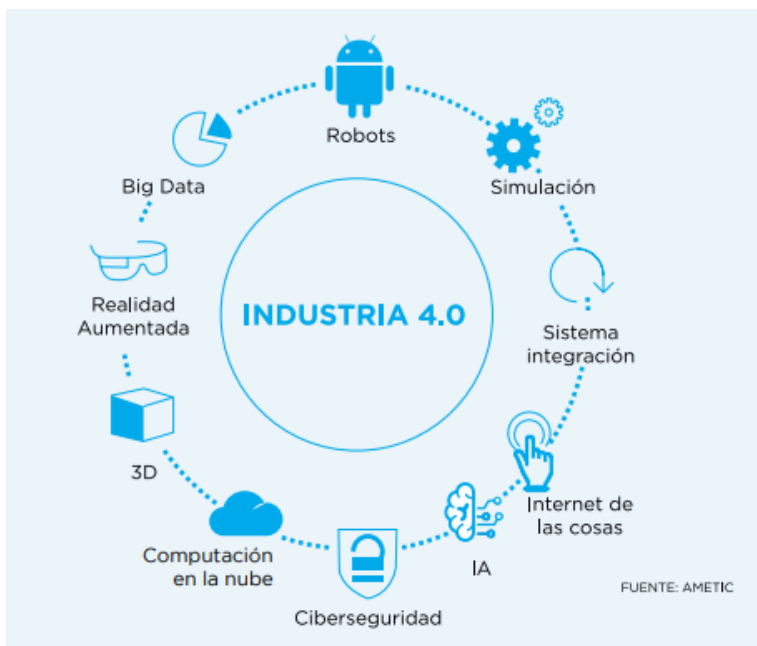


Figura 3.2: Pilares de Industria 4.0 [1].

- **Robots:** son máquinas y sistemas inteligentes destinados para la automatización de las tareas dentro de los procesos de producción, navegación o control, integrando sensores y actuadores con una interfaz de comunicación que les permite trabajar tanto entre diferentes tipos de robots como con los operarios, facilitando el trabajo y realizando en el menor tiempo posible.
- **Sistemas de integración:** mediante plataformas digitales se puede integrar las tecnologías de operación, información y comunicación, conectando maquinas con máquinas, con productos y sistemas inteligentes entre las distintas áreas, y la conexión de la empresa con toda la cadena de valor del producto que son proveedores, sistema de logística, transporte y el cliente final.
- **Simulación:** es una parte muy importante en la industria, permite mediante la virtualización representar los conjuntos de las maquinas, procesos y personas en tiempo real, evaluando en un entorno controlado con las condiciones reales antes de ser puesto en marcha, de tal forma que se pueda evitar posibles problemas y a su vez reducir el tiempo de implantación física.
- **Internet de las cosas:** conocido como IoT, mediante la comunicación multidireccional entre maquinas, personas y producción, facilita la toma de decisiones a base de la información obtenida sobre su entorno mediante sensores, para posteriormente actuar en consecuencia de ello, creando dispositivos inteligentes que facilitan la vida de la industria como la del consumidor final.
- **Inteligencia artificial:** mediante el desarrollo de algoritmos permite a las computadoras procesar datos a grandes velocidades, los cuales dotan de experiencia al algoritmo para crear un modelo neuronal capaz de aprender automáticamente y realizar predicciones en base a ello, es de gran utilidad en la industria para procesar imágenes, ya sea para seguridad como para el control en la línea de producción y de calidad de los productos.
- **Computación en la nube:** brinda a las empresas almacenamiento, acceso y uso de datos en línea ya sea dentro de la misma empresa o de forma remota, teniendo agilidad en las operaciones que se requiera con los datos almacenados, los mismo que podrían a su vez ser escalados en caso de requerirlo para algún análisis o predicción del estado de la industria como de su futuro.

- **Impresión 3D:** también conocida como fabricación aditiva, permite la fabricación de piezas tridimensionales mediante la superposición de material por capas a partir de un modelo virtual, sin la necesidad de un molde o utillajes, es muy utilizado para prototipado especialmente cuando son piezas con características especiales que no se suelen encontrar dentro del mercado.
- **Realidad aumentada:** combina el mundo real con el virtual, añadiendo información visual mediante la simulación, el modelado 3D y la virtualización en tiempo real, permite flexibilidad y rapidez en la cadena productiva, debido a que se puede tener aplicaciones desde la selección de piezas dentro de un depósito, el envío de instrucciones para reparaciones hasta la capacitación del personal dentro de un entorno virtual que simula la realidad de la planta.
- **Big data:** es una de las tecnologías de más grande demanda dentro de la industria, fundamental para la toma de decisiones en tiempo real, debido a que maneja un conjunto de datos de gran volumen, los cuales deben ser procesados y analizados a grandes velocidades por diversos algoritmos, estos datos pueden ser generados tanto por máquinas y equipos, así como por sensores, cámaras, software de producción procedentes de la propia industria o de proveedores y clientes.

3.1.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA INDUSTRIA 4.0

Dentro las grandes ventajas que ofrece la industria 4.0 se puede destacar:

- Al tener una industria automatizada se puede optimizar los niveles de calidad al ser más precisos en los procesos de fabricación evitando interrupciones constantes.
- Los procesos al ser más automatizados requieren de menor personal, por lo cual se genera un menor coste en mano de obra y se puede atenuar errores por operarios brindando a su vez mayor seguridad a estos al no estar expuestos a procesos productivos de alto peligro.
- Al reducir los tiempos de producción se aumenta la competitividad empresarial ofreciendo una respuesta rápida a las necesidades del mercado al tener una producción flexible.
- Al ser eficientes con el uso de recursos se tiene un mayor cuidado con el medioambiente.

Otro aspecto por considerar son las siguientes desventajas:

- Debido a que el coste de inversión inicial es muy alto y aunque este se pueda recuperar en un futuro, muchas de las empresas no están preparadas para ello por lo cual tienen el riesgo de quedarse desactualizadas.
- La tecnología avanza cada vez más a pasos agigantados y es necesario mantener actualizada lo cual conlleva a la necesidad de un personal especializado para el mismo.
- Las empresas dependen en gran parte de la tecnología por lo que si existe un problema o fallos se debe solucionar lo más rápido posible para no afectar al proceso productivo.
- Elimina en gran parte la mano de obra, dejando a mucho personal sin empleo, si este no está capacitado para el control de la nueva tecnología.

3.2 ROBOTS EN LA INDUSTRIA 4.0

Una de las tecnologías indispensables dentro la industria 4.0 son los robots colaborativos o también conocidos como “Cobots”, al habar de este tipo de robots se ha vuelto indispensable no utilizar el término colaboración pues su finalidad es la interacción de los humanos y los robots compartiendo así sus habilidades dentro de la industria. La figura 3.3 que muestra un de los robots colaborativos más famosos de Universal Robots “UR”.



Figura 3.3: Robot Colaborativo UR [2].

3.2.1 DIFERENCIAS ENTRE LOS ROBOTS COLABORATIVOS Y LOS ROBOTS INDUSTRIALES

Que los robots puedan comunicarse entre ellos o en colaboración con los seres humanos ha supuesto una optimización en los procesos productivos y a un menor coste, por ello es importante destacar las diferencias existentes al tener un robot colaborativo de un industrial:

- Los robots colaborativos muchas veces son utilizados para realizar múltiples tareas, en su lugar los industriales por lo general realizan una sola tarea con total precisión.
- Los robots colaborativos están destinados para trabajar ya sean con otros robots o con los operarios ayudando en las tareas de suma complejidad que no pueden ser automatizadas en su totalidad, al contrario de los robots industriales que generalmente se encuentran vallados para evitar cualquier accidente con los operarios, en la figura 3.4 a continuación se puede observar cómo trabajan cada uno de estos.

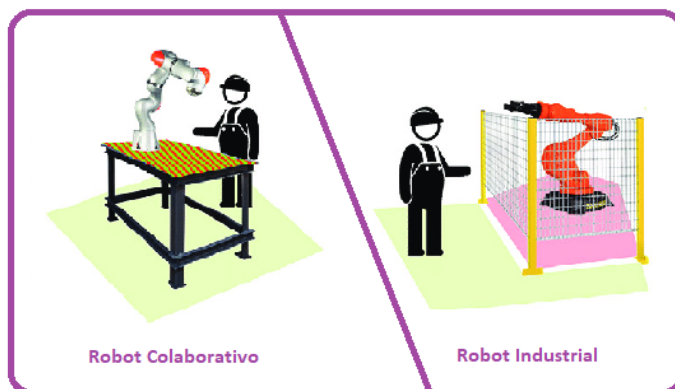


Figura 3.4: Diferencias en el modo de trabajo de un robot colaborativo y un industrial [3] .

- La programación de los robots es bastante sencilla y posee entornos gráficos que son muy amigables con el usuario de tal forma que cualquier persona sea capaz de manipularlos e incluso poseen opciones para programarlos únicamente moviendo con las manos el robot y guardando sus trayectorias, a diferencia de la robótica industrial clásica que su programación es mucho más compleja y requiere de técnicos especializados en ella para poder manipularlos o reprogramarlos.

- Para poder trabajar sin problemas conjuntamente con los operarios los robots colaborativos se han diseñado de tal manera que se si existe cualquier tipo de contacto entre el operario y el robot estos se inmovilizan, o a su vez reducen la velocidad en sus movimientos así como la fuerza de los mismos tal como se ejemplifica en la figura 3.5, por otro lado los robots industriales por lo general siempre manejar los mismo niveles velocidad y no están destinados para trabar con operarios por lo que no tienen cuidado si uno de estos se acercan.

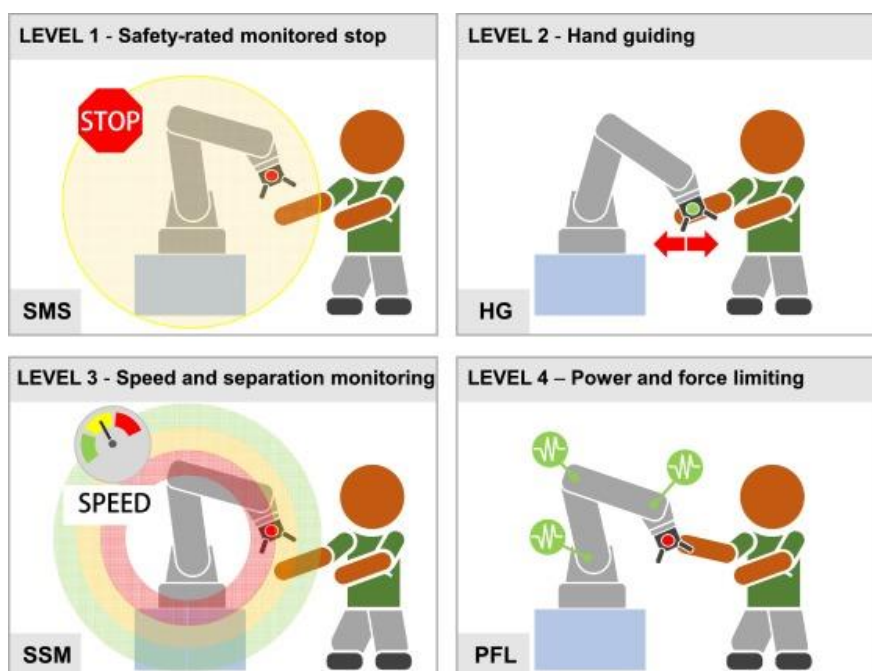


Figura 3.5: Modo de operación de un robot colaborativo [4].

- El costo de un robot colaborativo es sumamente más económico que el de un robot industrial, lo cual los vuelve más fáciles de acceder especialmente por las Pymes (pequeñas y medianas empresas), los robots colaborativos pueden ser reutilizados para diversas funciones ya que se pueden instalar en diferentes posiciones de una forma mucho más sencilla debido a son más ligeros, ocupan poco espacio e incluso muchos de estos son móviles facilitando su transporte por toda la planta o puntos de la cadena de producción, al contrario los robots industriales suele ser de gran tamaño y peso lo cual ocasiona que su traslado o cambio de función sea mucho más compleja y se requiera de dispositivos externos para lograrlo.

- Los robots industriales son capaces de realizar trabajos a grandes velocidades y con mayor fuerza que los cobots a su vez también pueden soportar un peso de carga mucho mayor que un robot colaborativo.

3.2.2 PROCESOS Y TAREAS QUE PUEDE REALIZAR UN ROBOT COLABORATIVO

Los robots colaborativos dentro de la industria pueden realizar diferentes tipos de procesos y tareas, las cuales pueden ser automatizadas completamente por el robot o colaborando en las tareas que requieren más trabajo precisión con la ayuda uno o varios operarios, dentro de ellas se puede nombrar:

- Control de calidad, con la ayuda de sensores, cámaras o sistemas de visión artificial son capaces de detectar si existe algún error en la línea de producción basado en formas o colores teniendo la capacidad de actuar sobre el cuándo sea detectado.
- Paletización y embalaje, la automatización de estas operaciones reducen el coste del producto y agilizan su posterior transporte hasta el consumidor final.
- Son capaces de realizar tareas de montaje en cualquier punto de proceso de fabricación del producto, tomando en cuanta las cargas máximas que soportan y los lugares a los que puedan acceder.
- Realizan las tareas repetitivas a mayor velocidad que un operario entre las cuales se tiene acabados superficiales como cromados, uniones pegadas, taladrados, atornillados, lijados, etc.
- Tareas de pick & place, que consiste coger y depositar objetos en lugares precisos de la cadena de producción.

3.3 MONITOREO DE MÁQUINAS Y EQUIPOS EN LA INDUSTRIA 4.0

Otra de las tecnologías que se ha vuelto indispensables dentro la industria 4.0 es el monitoreo máquinas y equipos en tiempo real, hoy en día es de vital importancia conocer el estado en el que se encuentra cada uno de los procesos en la industria para tener un control y poder actuar sobre los posibles fallos.

Para realizar esta monitorización es necesario disponer de una serie de sensores capaces de tomar datos ya sea de corriente, temperatura, vibración, humedad, polvo o luz, los cuales son enviados por lo general de forma inalámbrica hacia un servidor por medio del cual se puede tener acceso mediante una interfaz de tiempo real desde cualquier dispositivo móvil como muestra la figura 3.6 a continuación.



Figura 3.6: Monitoreo de máquinas y dispositivos en la industria [5].

A través de este análisis se puede determinar el momento o las causas por las cuales las máquinas o dispositivos están sufriendo algún tipo de daño durante el proceso de producción, o a su vez a analizar el estado de estas para poder realizar un mantenimiento preventivo evitando de esta forma algún tipo de daño inesperado que ocasione un paro repentino en la línea de producción lo cual generaría demasiadas pérdidas a la empresa.

3.4 DISPOSITIVOS MOVILES EN LA INDUSTRIA 4.0

La industria ha crecido a grandes pasos y con ello nuevos requerimientos dentro de los procesos y para que estos se pueden realizar de una forma más rápida y cumpliendo con los tiempos de fabricación establecidos para cada punto de la producción, es necesario contar con dispositivos móviles capaces de trasportarse por toda la planta ya sea por sí solos o con la ayuda de un operario, consiguiendo minimizar pérdidas durante la producción y logrando dar al producto el mayor valor posible para el cliente. Dentro de los diferentes dispositivos móviles con los cuales se puede contar dentro de una industria, se tienen:

3.4.1 DISPOSITIVOS DE MOVILIDAD MANUAL

Necesitan de la ayuda de un operario para poder ser transportados de un punto de la planta hacia otro, estos dispositivos son capaces de transportar dentro de ellos ya sea inventario, productos, dispositivos para el control como sensores o incluso robots colaborativos de una estación de trabajo hacia otra, la figura 3.7 muestra un dispositivo móvil manual.



Figura 3.7: Dispositivo móvil manual [6].

3.4.2 DISPOSITIVOS AUTOGUIADOS

Dentro de los dispositivos móviles autoguiados se puede destacar dos tipos:

- Aquellos que únicamente siguen una trayectoria fija marcada en el piso que suele ser tipo riel o magnética como se muestra en la figura 3.8 también se pueden encontrar dispositivos filoguiados y ópticos, estos dispositivos tienen como principal inconveniente que al existir un obstáculo en la ruta se quedan parados hasta que este sea retirado, generando inconvenientes en el desplazamiento de un lugar a otro.



Figura 3.8: Dispositivo móvil autoguiado por trayectoria fija [7].

- Otro tipo es el que se muestra en la figura 3.9 que son aquellos que basados en algoritmos tienen cierto tipo de inteligencia artificial que les permite ubicarse dentro de un espacio de la planta previamente determinado y en caso de que exista algún inconveniente en su trayectoria pueden automáticamente generar nuevas rutas basadas en puntos ya conocidos.



Figura 3.9: Dispositivo móvil autoguiado basado en inteligencia artificial [8].

CAPÍTULO 4

4 DESARROLLO

En este epígrafe se detallará el proceso de elaboración de los dos dispositivos móviles, desde el diseño, el análisis CAE para asegurarse que el prototipo sea lo suficientemente robusto para la aplicación deseada hasta el proceso de fabricación para la obtención de estos.

4.1 DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS

El proceso de diseño de los dispositivos se lo realizó de forma independiente, por tal razón se mostrará en dos apartados distintos.

4.1.1 DISEÑO DE LA MESA MÓVIL PARA EL ROBOT COLABORATIVO

Cabe recalcar que para el diseño de esta mesa móvil se ha tomado como referencia diseños de otros dispositivos similares disponibles en el mercado, adaptando las necesidades propias de la empresa en el nuevo diseño, la figura 4.41 muestra un dispositivo similar que ofrece la empresa Omron proveedora del robot que se utilizará.



Figura 4.1: Mesa móvil comercial por la empresa Omron [9].

4.1.1.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LA MESA MOVIL

Para el diseño de la mesa móvil se tomaron varias consideraciones entre las cuales cabe destacar:

➤ **ROBOT COLABORATIVO SELECCIONADO:**

La parte más importante para el diseño de la mesa móvil son las dimensiones y peso del robot colaborativo a instalar, en este caso previamente se ha seleccionado el cobot TM5-900 de Omron que se muestra en la figura 4.2 a continuación.



Figura 4.2: Robot colaborativo Omron TM5-900 [10].

La tabla 4.1 detalla las características más importantes del robot tomadas en cuenta para el diseño de la mesa móvil.

CARACTERÍSTICAS DEL ROBOT COLABORATIVO			
Modelo	TM5-900	Carga útil máxima (kg)	4
Peso (kg)	22,6	Velocidad máxima (m/s)	1,4
Alcance (mm)	900	Alimentación de E/S	24,1 V / 1,5 A (controlbox)

Tabla 4.1: Características principales del robot colaborativo TM5-900 [10].

➤ **FACILIDAD PARA EL DISEÑO:**

Tomando en cuenta que la mesa móvil debe llevar varios dispositivos dentro, se ha optado por diseñarla en dos partes para tener una mejor distribución y facilidad en el diseño de este, por motivos de diseño se dentro del CAD se llamaran a las dos partes de la mesa móvil como carro inferior y carro superior.

Para el diseño de la mesa móvil se utilizaron perfiles extruidos de aluminio ya que son rígidos, pero a la vez ligeros, chapa de acero inoxidable E-304 para la mesa de trabajo, chapas de acero F1 para las bases de los módulos, y chapas de aluminio plegado para las puertas.

CARRO INFERIOR: es la parte inferior de la mesa, para la cual se ha tomado las siguientes consideraciones:

1. Sistema de movimiento y soporte para toda la mesa, el mismo que consta de cuatro llantas ubicadas en los extremos interiores de la placa base del carrito, a su vez se tienen cuatro patas regulables en los extremos las cuales se fijaran al piso una vez que el demostrador este ubicado en el lugar de prueba dentro de la planta, tal como se observa en la figura 4.3.

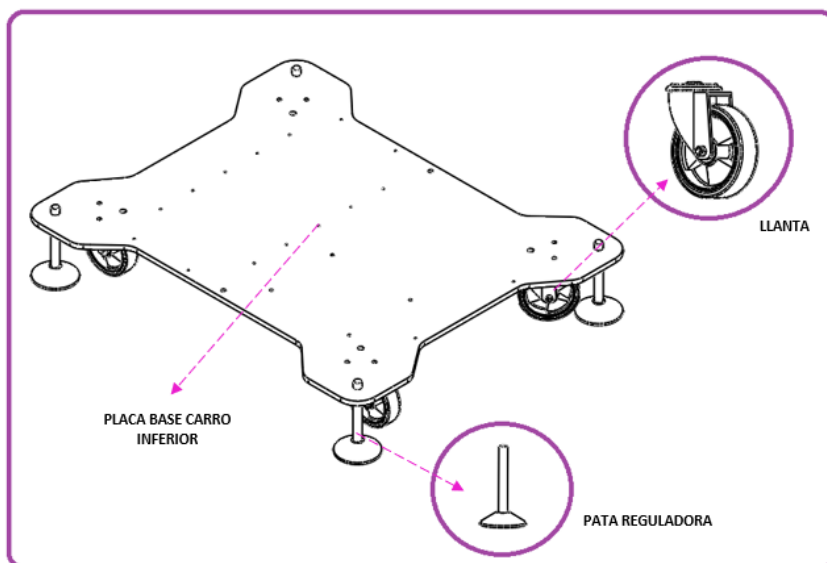


Figura 4.3: Sistema de movimiento y soporte, carro inferior.

- Dimensiones del controlbox (controlador del robot), para ello fue de gran utilidad disponer del CAD del controlador mostrado en la figura 4.4, el cual se encuentra disponible en la página web de Omron.

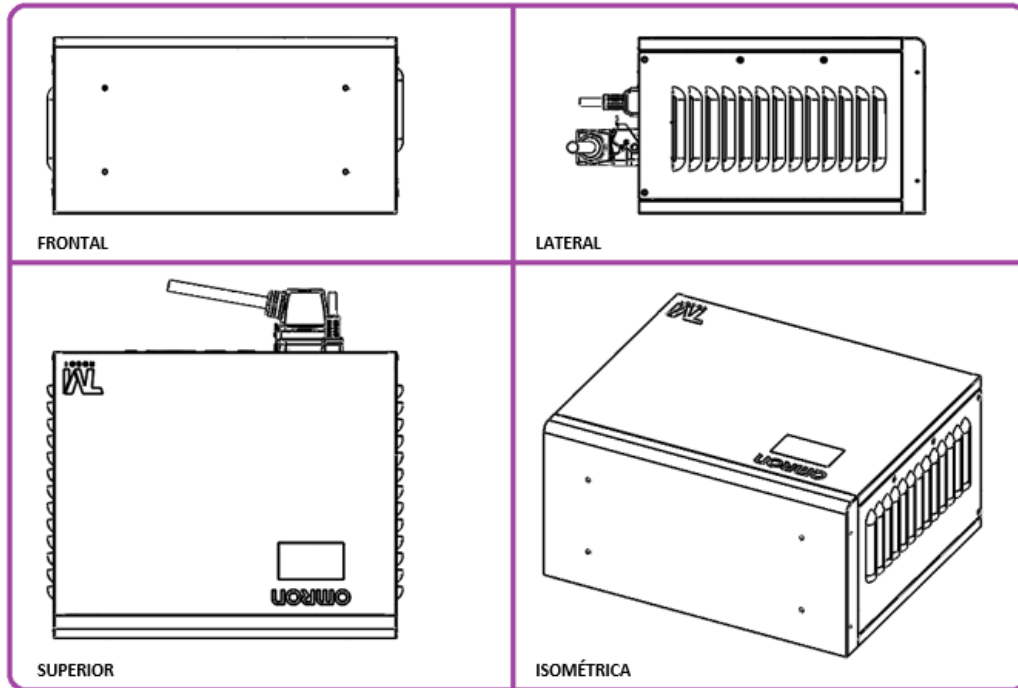


Figura 4.4: Vistas CAD Controlbox Omron.

- Dimensiones del armario eléctrico, el Cad mostrado en la figura 4.5 de este componente también estuvo disponible en la página web del proveedor.

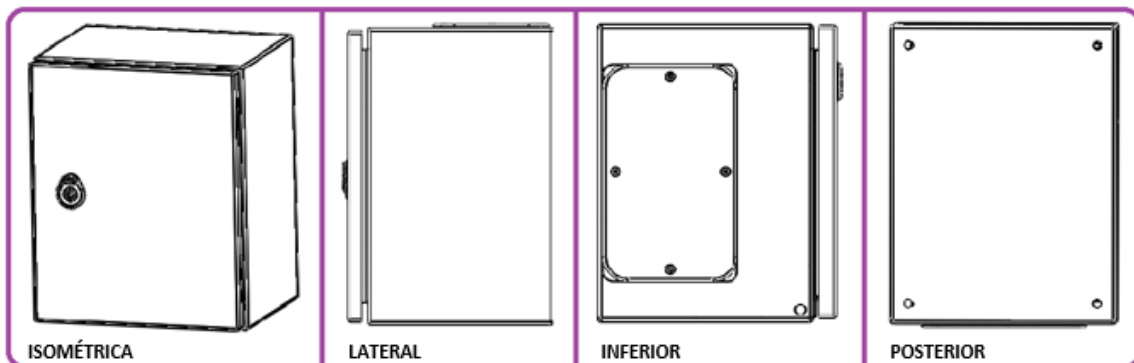


Figura 4.5: Vistas CAD Armario Eléctrico.

Como se puede observar en la figura 4.6 para la sujeción del controlbox y del armario eléctrico se utilizaron chapas plegadas, ángulos y topes para evitar que estén apoyados directamente en la placa base de esta forma tienen mayor ventilación para que no se genere demasiado calor.

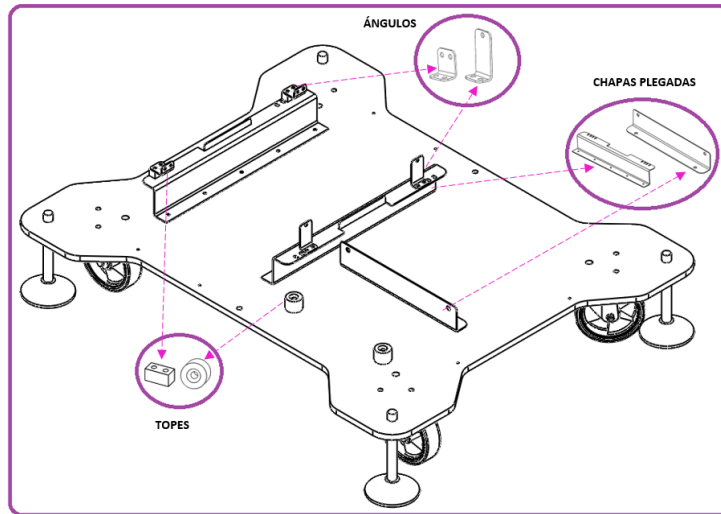


Figura 4.6: Sistema de sujeción controlbox y armario eléctrico.

- Para la estructura se ha utilizado perfiles extruidos como pilares, chapas pegadas tanto para las tapas laterales como para las tres puertas (controlbox, armario eléctrico y espacio para efectores finales y herramientas) y una placa de aluminio para la tapa del carro inferior, tal como se puede observar en la figura 4.7.

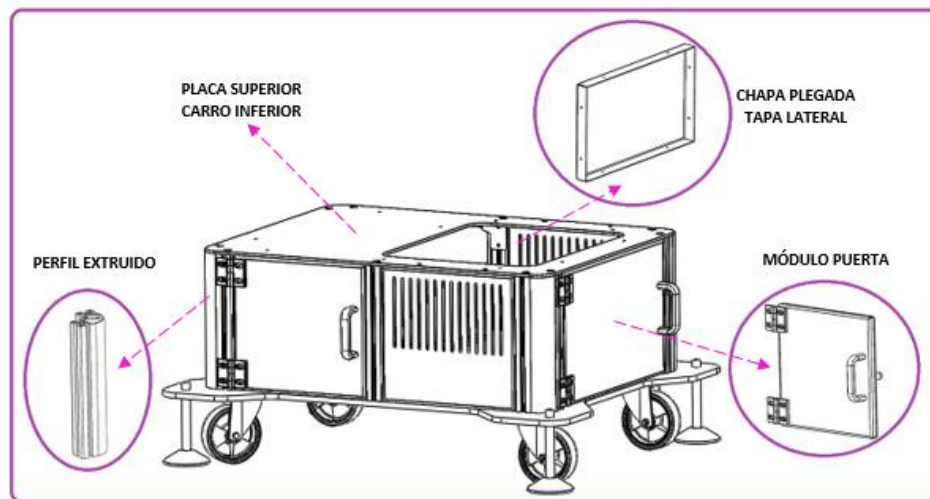


Figura 4.7: Estructura del carro inferior.

5. Como es necesario tener ventilación para que el controlbox no se caliente y pueda sufrir daños, se ha diseñado ranuras en las tapas laterales como se muestra en la figura 4.8 que coinciden con las ranuras de ventilación propias del dispositivo.

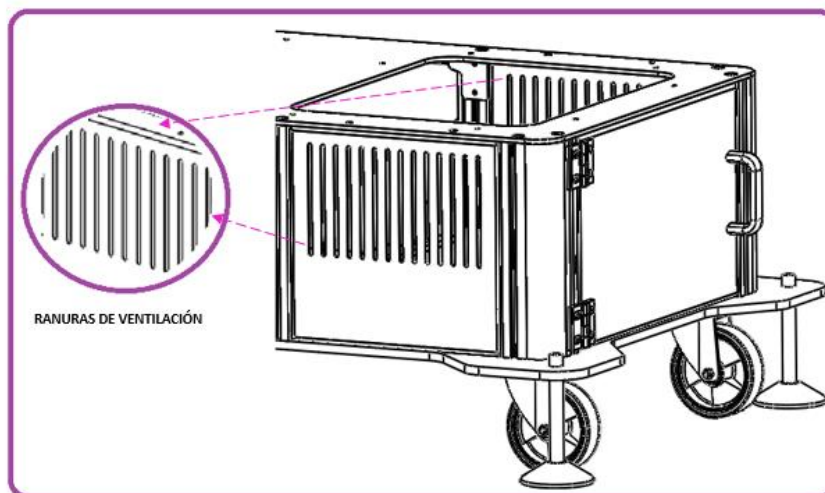


Figura 4.8: Ranuras de ventilación carro inferior.

6. Las puertas se han diseñado como un módulo separado el cual se muestra en la figura 4.9 y para su cierre se utilizó contacto magnético mediante imanes, en las puertas pequeñas se ha utilizado uno y en la grande dos, así también como bisagras y manillas.

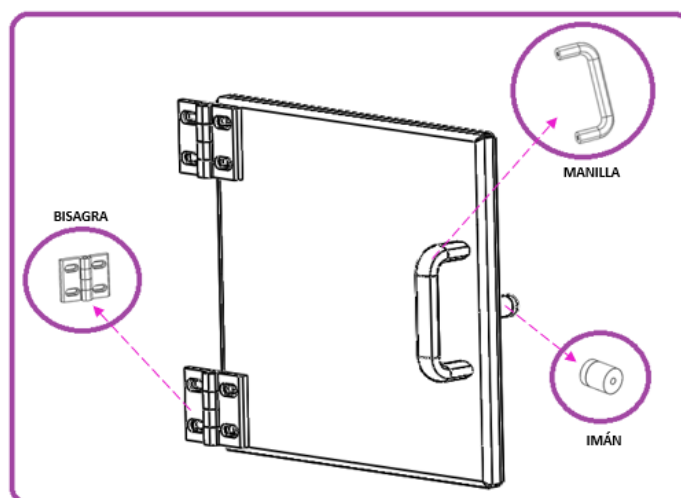


Figura 4.9: Estructura de las puertas.

7. Para la alimentación de todo el sistema se ha considerado tener un interruptor y tomacorriente general de esta forma solo se necesita un tomacorriente externo en la planta como se puede observar en la figura 4.10 y estará conectado a una regleta de enchufes en del carro superior.

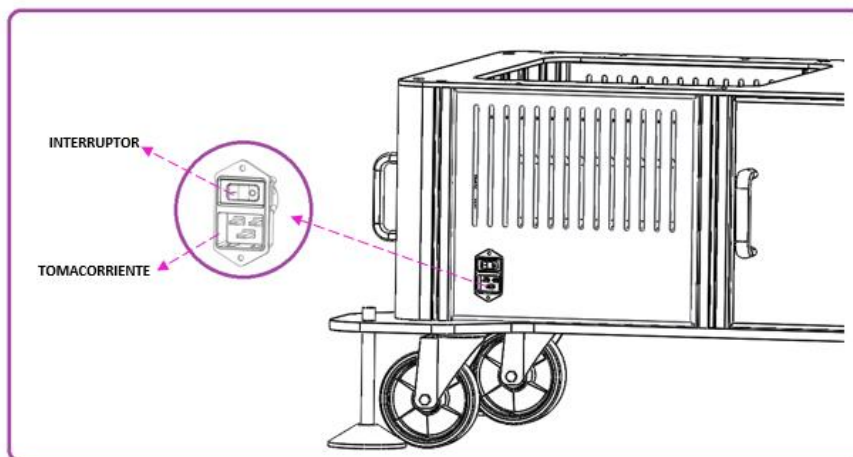


Figura 4.10: Tomacorriente general para la mesa móvil.

Una vez que se ha tomado estas consideraciones, se tiene como resultado final el módulo del carro inferior que se aprecia en la figura 4.11.

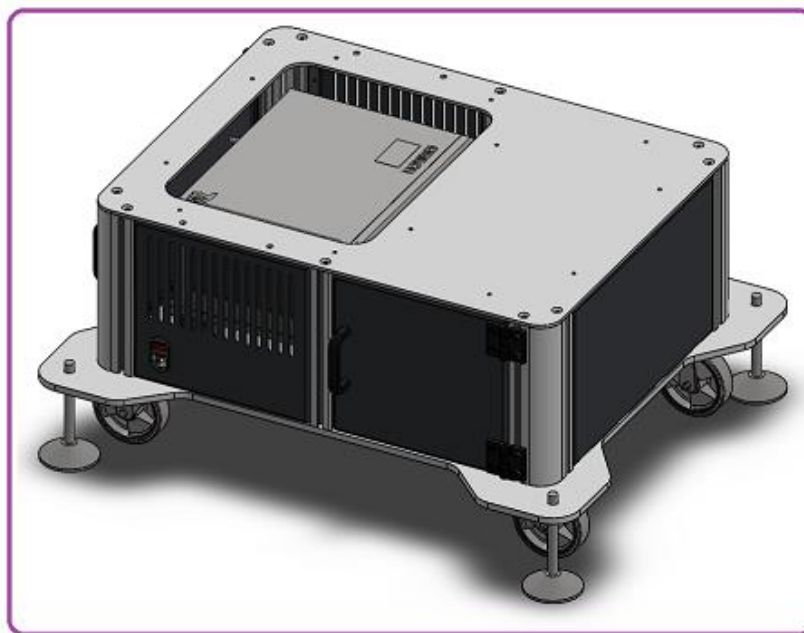


Figura 4.11: Módulo final del carro inferior.

Para poder ver m3s detalladamente el m3dulo final del carro inferior, se han capturado varias vistas como mostradas en la figura 4.12 la cuales tienen aplicada transparencia en la estructura del carro.

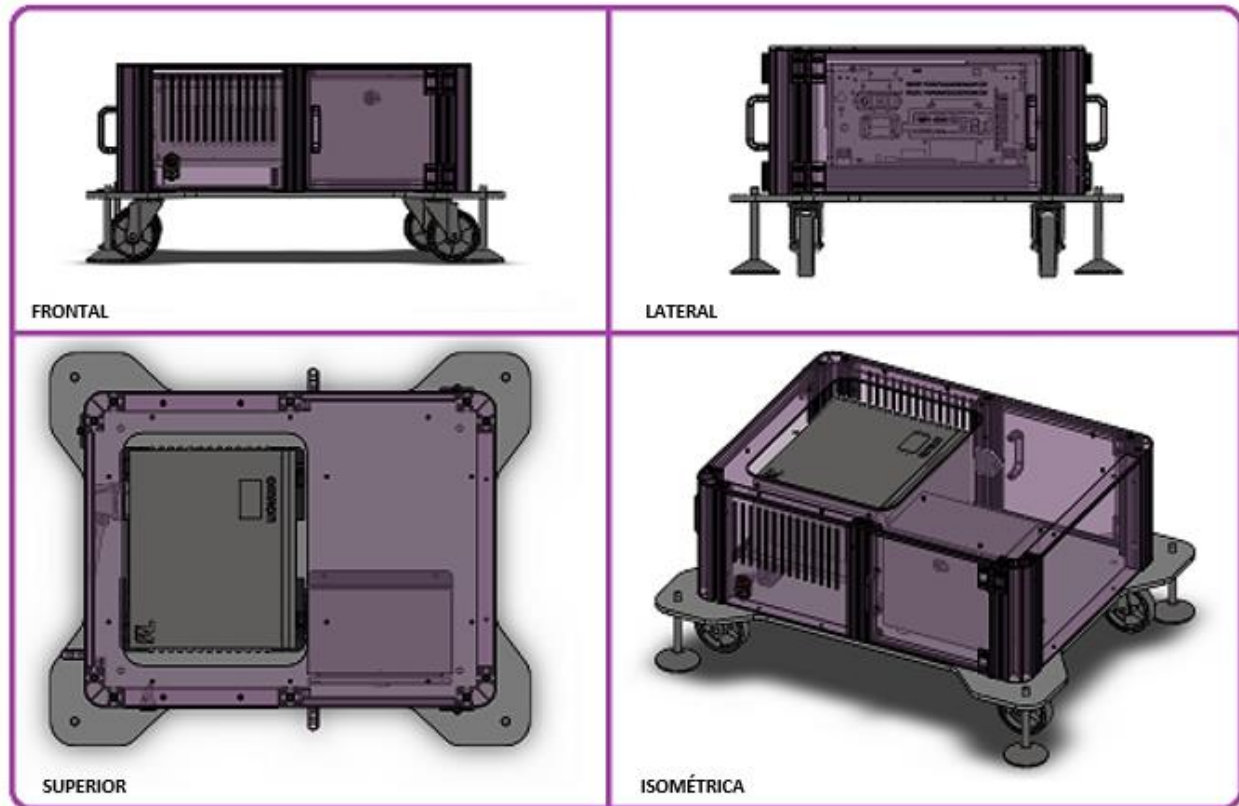


Figura 4.12: Vistas m3dulo final del carro inferior.

CARRO SUPERIOR: de la misma manera que para el m3dulo anterior, para este tambi3n se realizaron varias consideraciones de dise1o como son:

1. Las dimensiones del robot sobre todo el tama1o de la base, as3 como su peso total, para ello se tomaron como referencia tanto el CAD del robot disponible en la p3gina web de Omron como las cotas que se muestran en los planos que tambi3n los tienen disponibles.

En la figura 4.13 se aprecia el modelo CAD del robot colaborativo TM5-900:

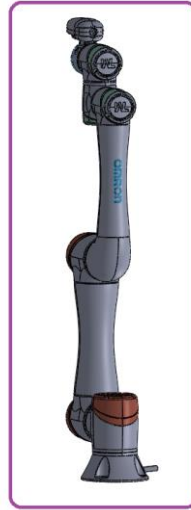


Figura 4.13: Modelo CAD robot colaborativo Omron TM5-900.

De la misma manera en la figura 4.14 se muestran los planos del robot, los cuales fueron necesarios para tomar en cuenta el tamaño necesario que requiere la base del robot para poder ser instalada en la mesa móvil.

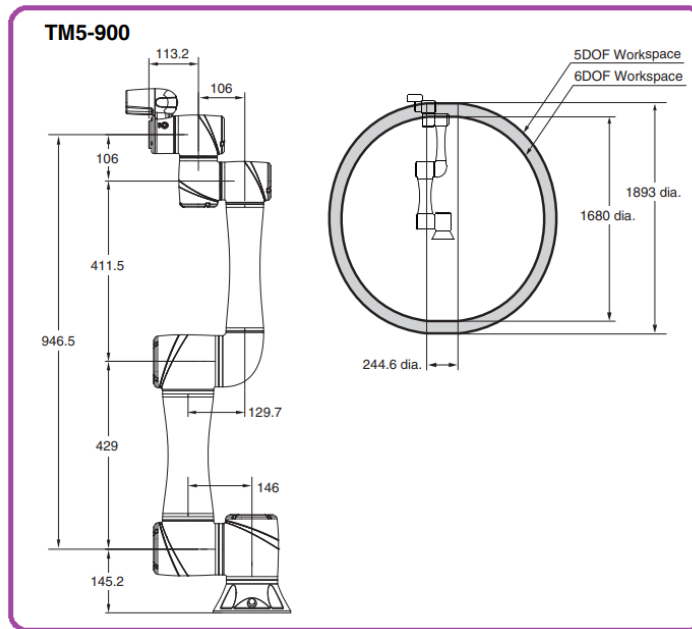


Figura 4.14: Planos robot colaborativo Omron TM5-900.

- La placa superior de este módulo se ha diseñado de tal forma que se tiene por un lado el espacio para montar la base del robot, así como un orificio para pasar los cables de alimentación y programación, se ha dejado un espacio libre para trabajo y también para posteriormente instalar los sensores de movimiento para la seguridad del operario, tal como se muestra en la figura 4.15.

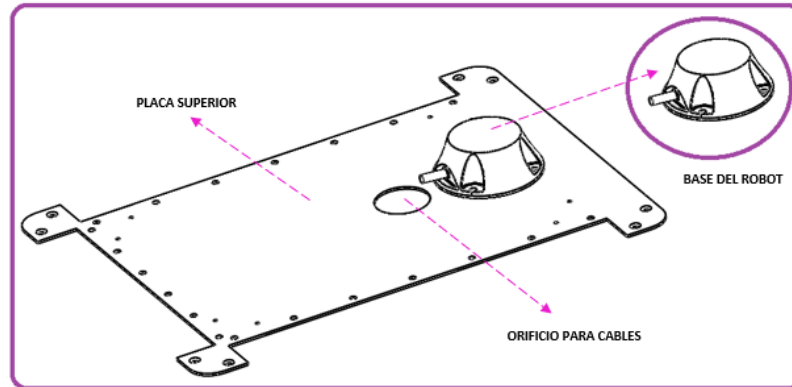


Figura 4.15: Placa superior del carro superior.

- En la placa base del carro superior se ha colocado un perfil extruido mucho más robusto que los anteriores con la finalidad de ayudar a soportar el peso del robot y este no recaiga únicamente sobre la placa superior, para su sujeción se han utilizado varios ángulos y una placa para apoyar y sujetar la placa superior al pilar, lo cual se aprecia en la figura 4.16.

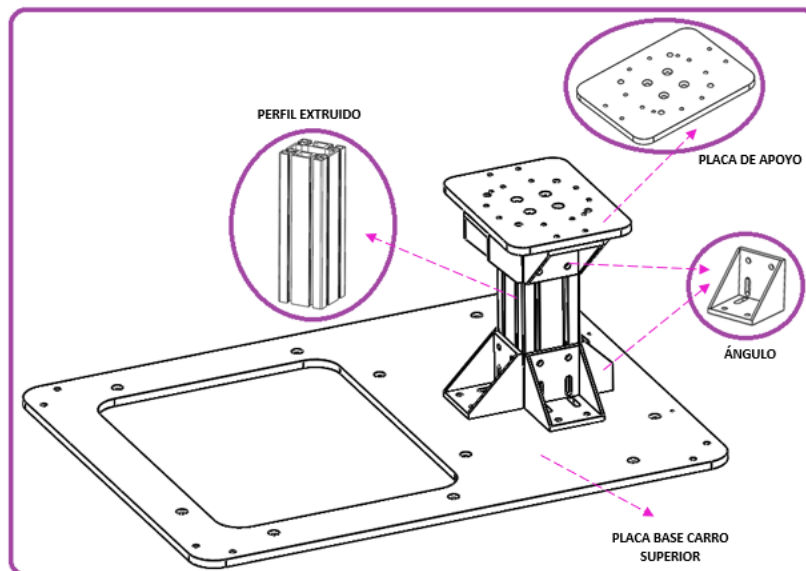


Figura 4.16: Placa base del carro superior y sistema de apoyo para el robot.

- Para la estructura del módulo superior como se puede observar en la figura 4.17, al igual que en módulo anterior se lo realizó con perfiles extruidos y chapas plegadas tanto para las tapas laterales como para las puertas, también se dispone de un cajón tipo rack para guardar herramientas o dispositivos pequeños, una regleta para la alimentación de los diferentes dispositivos sujetos por rieles rack; Los módulos de las puertas fueron diseñados de la misma manera que las puertas para el carro inferior.

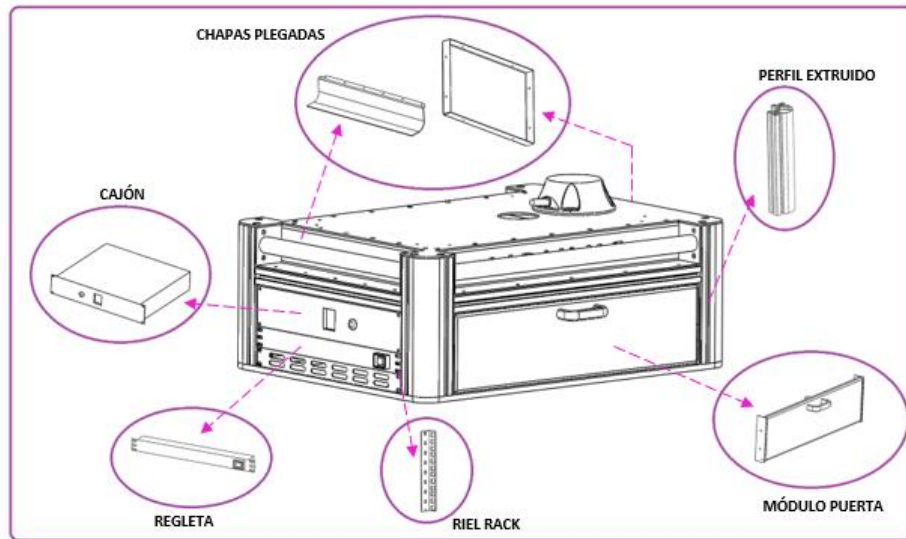


Figura 4.17: Estructura del carro superior.

- Se aprovecho haciendo el logotipo de la empresa ranurado en la chapa mostrada en la figura 4.18 al igual que utilizando una placa también ranurada en el lateral con la finalidad de ayudar a disipar el calor generado por el controlbox.

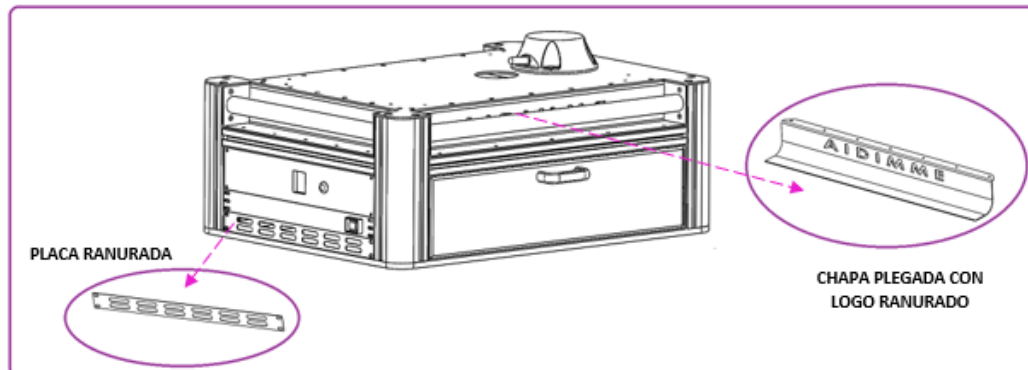


Figura 4.18: Sistema para la disipación de calor carro superior.

6. Para que el operario pueda movilizar la mesa se ha dispuesto de dos barras laterales en aluminio, las cuales están ubicadas a una distancia considerable para que no sea incomodo sujetarlas, esto se puede observar en la figura 4.19.

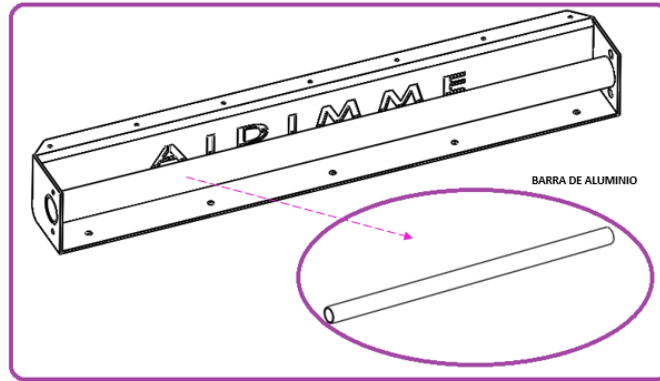


Figura 4.19: Sistema para transportar la mesa móvil.

7. Para la seguridad del operario se han instalado dos sensores los cuales se pueden apreciar en la figura 4.20 instalados en dos esquinas diagonales de la placa superior de este módulo y sujetos por dos placas metálicas, con el fin de abarcar la mayor área de la mesa disponible para que cuando el robot este trabajando a su máxima velocidad y un operario entre en la zona este cambie a cómodo colaborativo reduciendo tanto su velocidad como fuerza.

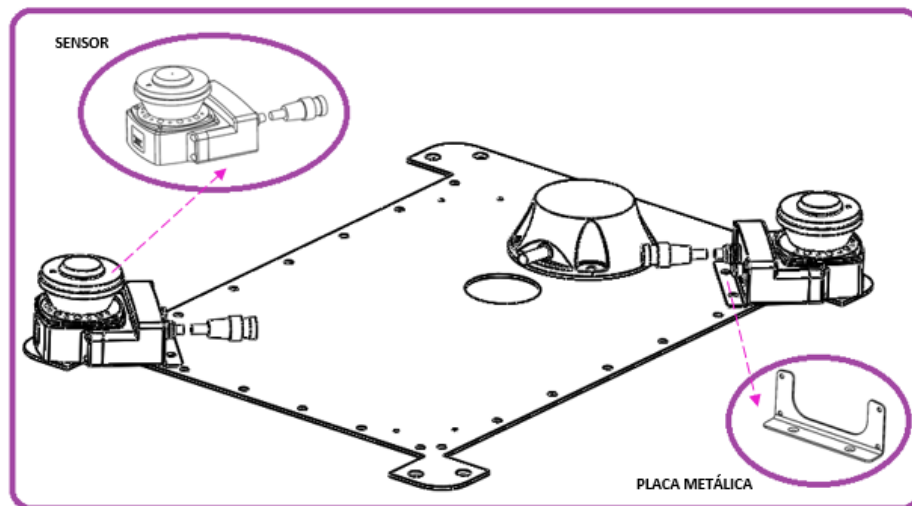


Figura 4.20: Sistema de seguridad.

Una vez que se ha tomado estas consideraciones, se tiene como resultado final el módulo del carro superior que se aprecia en la figura 4.21 en la cual se tiene ya instalado los sensores y la base del robot.

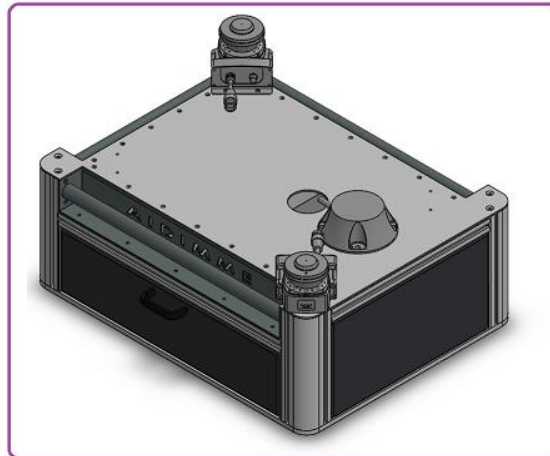


Figura 4.21: Módulo final del carro superior.

Para poder ver más detalladamente el módulo final del carro superior, se han capturado varias vistas como se muestra en la figura 4.22 la cuales tienen aplicada transparencia en la estructura del carro.

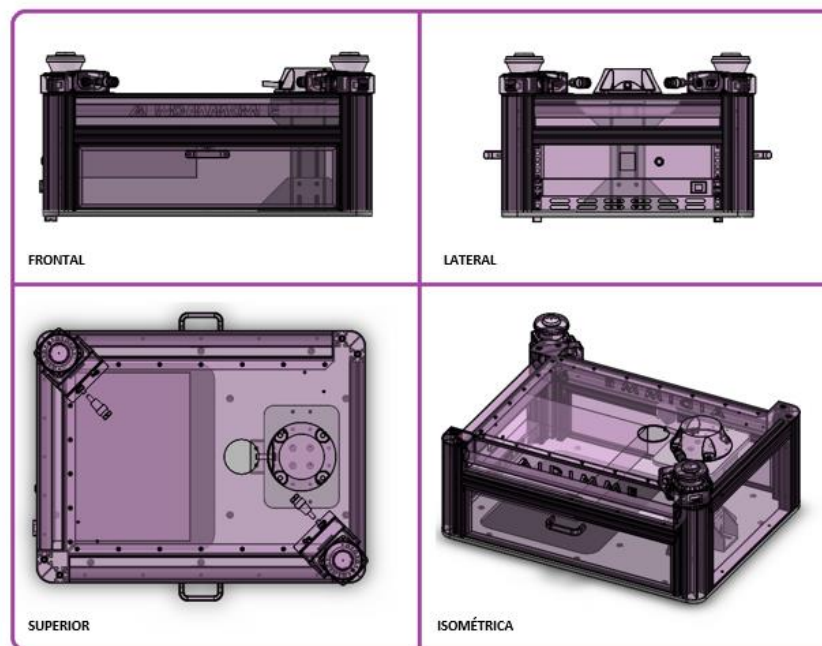


Figura 4.22: Vistas módulo final del carro superior.

Una vez realizado el diseño tanto de carro inferior como del superior, se tiene como resultado el mostrador de la mesa móvil que se observa en la figura 4.23 la cual está lista para ser llevada a las diferentes plantas de las empresas.

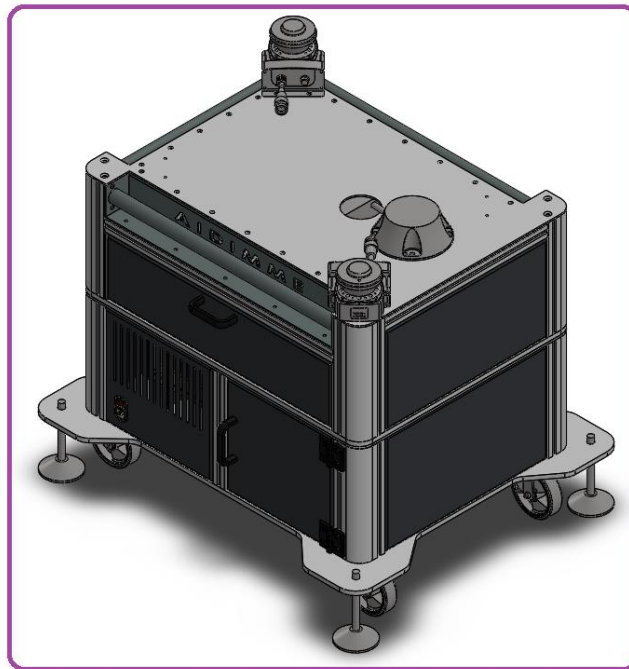


Figura 4.23: Demostrador mesa móvil para robot colaborativo.

➤ **DIMENSIONES MÁXIMAS PARA EL TRASLADO DEL DEMOSTRADOR:**

Para el traslado del demostrador es de suma importancia tomar en cuenta el espacio disponible en la furgoneta de la empresa, por ello se ha considerado reducir un poco el alto del demostrador, pero sin que esto pueda afectar la ergonomía del operario a la hora de trasladarlo de un lado a otro, en la tabla 4.2 se detallan las medidas aproximadas del demostrador.

MEDIDAS APROXIMADAS DEL DEMOSTRADOR	
Alto (mm)	149.7
Ancho (mm)	809
Profundidad (mm)	495

Tabla 4.2: Medidas aproximadas de la mesa móvil.

Las medidas mostradas en la tabla 4.2 anterior se han tomado teniendo en cuenta que para ello el robot debe estar plegado lo más compacto posible como se puede apreciar en la figura 4.24 a continuación.

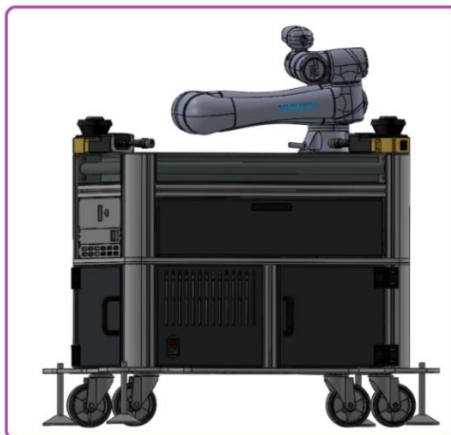


Figura 4.24: Ubicación del robot para el traslado del demostrador.

NOTA: Es importante recalcar que para el diseño de las placas base se realizó el diseño basado en tablas de cotas, esto es para que en caso de que se quiera realizar una modificación en las medidas únicamente se cambie en la tabla en la distancia deseada evitando así que las otras medidas sufran algún cambio no deseado, en la figura 4.25 se muestra una captura de la tabla de diseño con un ejemplo.

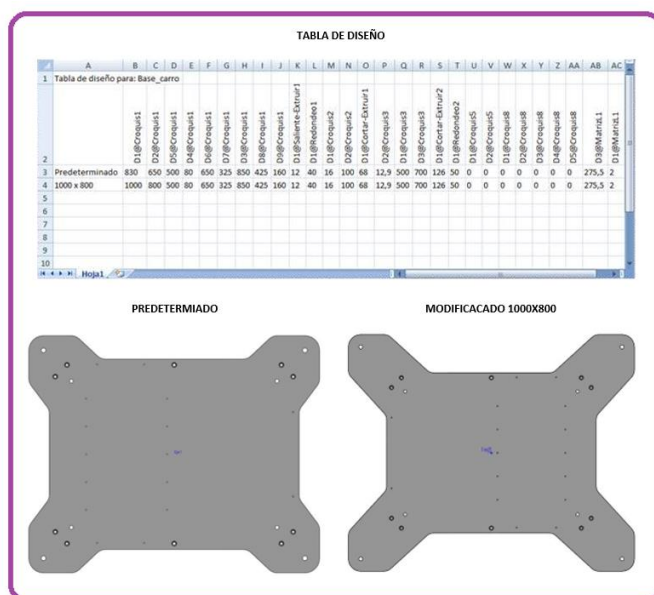


Figura 4.25: Ejemplo de tabla de diseño CAD para la base de la mesa móvil.

4.1.2 DISEÑO DEL ARMARIO MOVIL TIPO RACK

El diseño de este armario móvil está basado en las cajas para instrumentos musicales como el que se puede apreciar en la figura 4.26, debido a que son sumamente robustos para poder ser trasladados de un lugar a otro muchas veces en intemperie, así como soportar golpes debido al traslado sin que estos afecten a los dispositivos internos.



Figura 4.26: Caja para instrumentos musicales [11].

Dentro de este demostrador se tendrán varios dispositivos como son:

- Dos armarios eléctricos, dentro de cada uno de estos se tendrá aparatación eléctrica en el primero para conectar los diferentes tipos de sensores y en el otro para la comunicación del primer armario con el servidor; el armario destinado para la toma de datos será extraíble del demostrador evitando así ocupar demasiado espacio en las máquinas o dispositivos.
- Un servidor y una pantalla, para la adquisición, almacenaje y envío de datos en tiempo real hacia la intranet.
- Una pantalla HIM con soporte, para visualizar en planta los datos obtenidos por los sensores.
- Dos cajones para guardar tanto herramientas como los sensores.

Para facilitar del operario al momento de acceder a los diferentes dispositivos alojados dentro del armario se ha optado por diseñarlo con dos tapas laterales extraíbles, las mismas que al unir las entre ellas se tiene una caja más pequeña, el quitar las tapas laterales también beneficia de gran manera en la ventilación del servidor ya que el mismo requiere constante ventilación para no sufrir daños debido a que estará alrededor de una semana en cada una de las plantas tomando datos. El diseño del demostrador se lo realizó en dos partes:

CUERPO DEL ARMARIO: en su interior se deberán alojar todos los dispositivos necesarios para la toma de datos en planta previamente seleccionados, para lo cual se han tomado las siguientes consideraciones:

1. Las dimensiones del cuerpo del armario mostradas en la tabla 4.3 se tomaron en relación con la profundidad y ancho del servidor tipo rack, para el alto se ha buscado un tamaño que facilite su traslado, acceso a los dispositivos y a su vez utilizarlo como una mesa de trabajo si es necesario.

MEDIDAS DEL CUERPO DEL ARMARIO	
Alto (mm)	1000
Ancho (mm)	510
Profundidad (mm)	800

Tabla 4.3: Medidas del cuerpo del armario

2. Para la estructura del cuerpo del armario se utilizó planchas de aglomerado, perfiles de aluminio para los bordes, se instalaron 4 manillas metálicas dos por lado para poder subir el demostrador al vehículo que lo trasladara, también se añadieron broches para asegurar el cuerpo con las tapas, como se aprecia en la figura 4.27 y ángulos para sujetar los perfiles con el aglomerado.

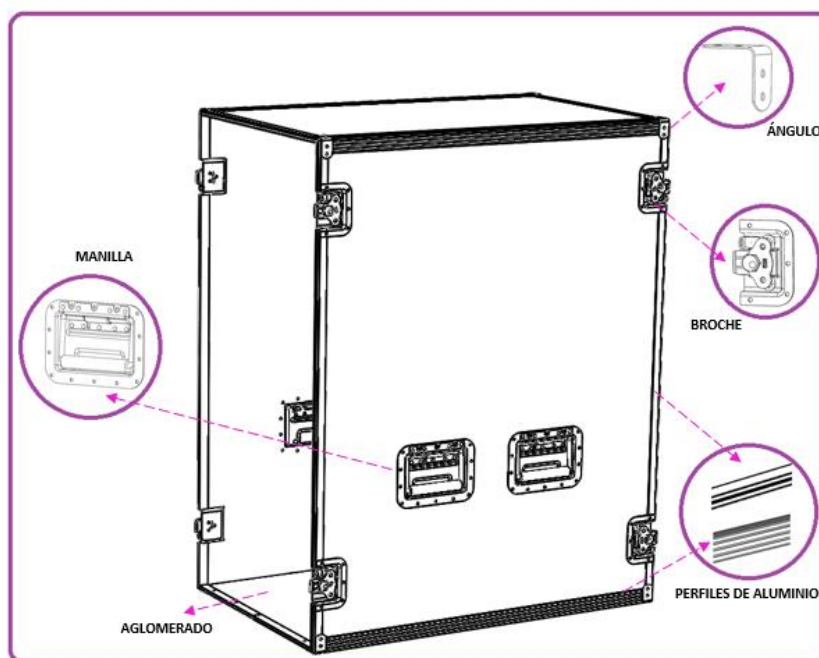


Figura 4.27: Estructura del cuerpo del armario.

- El sistema de movimiento del armario una vez que esté en planta consta de 4 llantas multidireccionales como se observa en la figura 4.28 las mismas que poseen freno para ser fijadas.

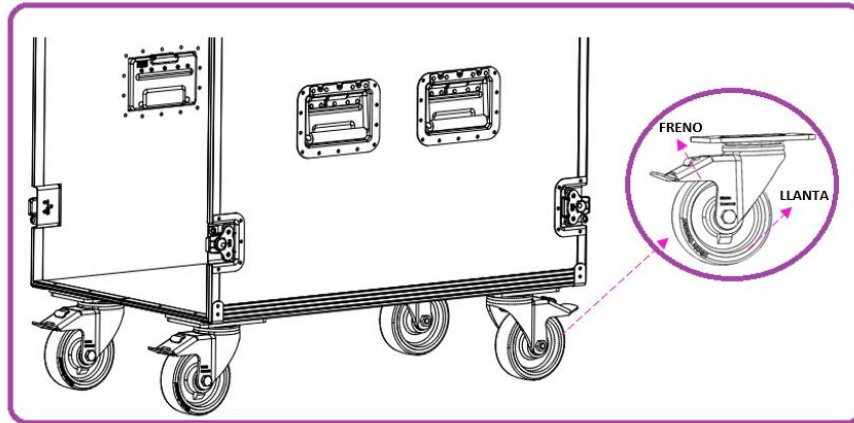


Figura 4.28: Sistema de movimiento armario rack.

- Una vez diseñado el cuerpo del armario se obtuvieron los diferentes CAD disponibles de los dispositivos a instalar como son los armarios eléctricos, regleta, cajones, servidor, pantalla, HMI y su soporte que se muestran en la figura 4.29.

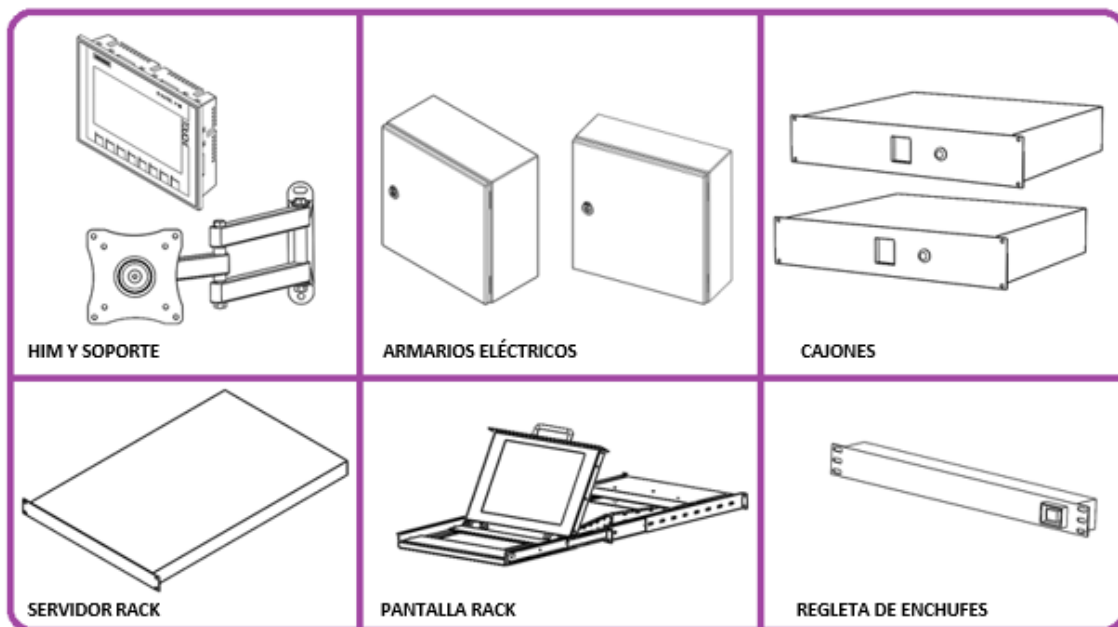


Figura 4.29: CAD dispositivos para el armario rack

- Para fijar cada uno de los dispositivos anteriores se utilizaron rieles tipo rack como se detalla en la figura 4.30, a su vez para estética se utilizaron tapas ranuradas.

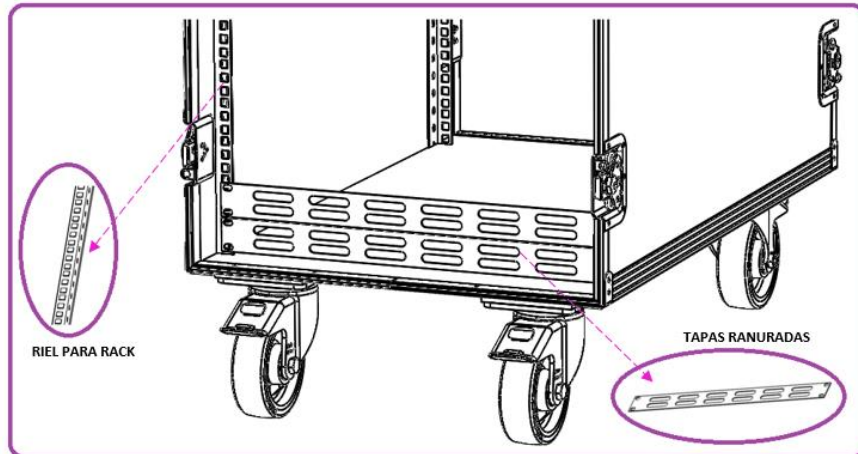


Figura 4.30: Sistema de fijación de los dispositivos.

Después de haber añadido los rieles al diseño, se organizaron los diferentes dispositivos en el armario como se muestra en las vistas capturas de la figura 4.31 optimizando el espacio y brindando accesibilidad a cada uno de ellos cuando el operario lo requiera.



Figura 4.31: Vistas del montaje de los dispositivos.

TAPAS DEL ARMARIO: para el diseño de las tapas del armario mostrado en la figura 4.32 se utilizó el mismo material que en el cuerpo del armario, se añadieron topes en las esquinas de las tapas para brindar mayor rigidez a todo el demostrador y en caso de tener un golpe este no afecte a su estructura.

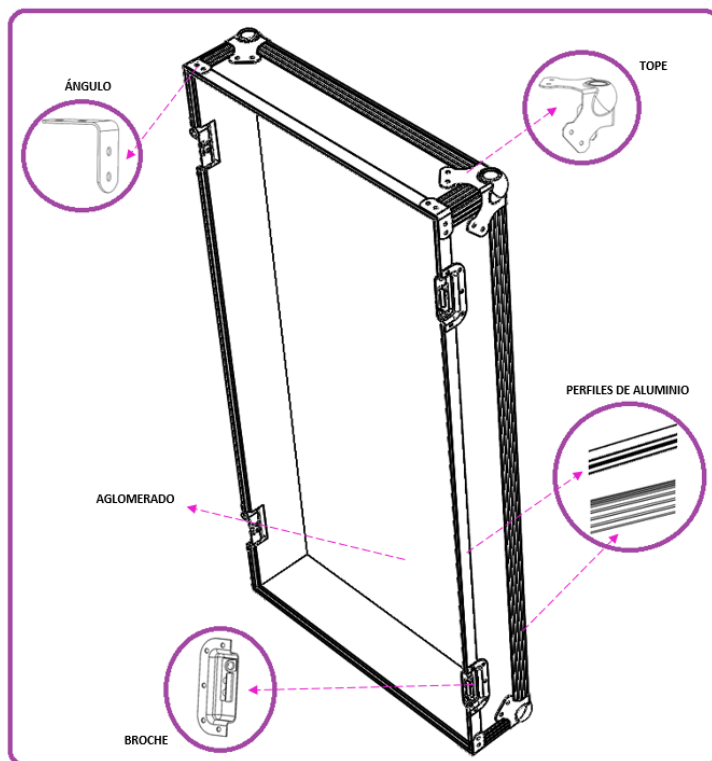


Figura 4.32: Estructura de la tapa del armario rack.

El modelo CAD finalizado de la puerta se presenta a continuación en la figura 3.33.

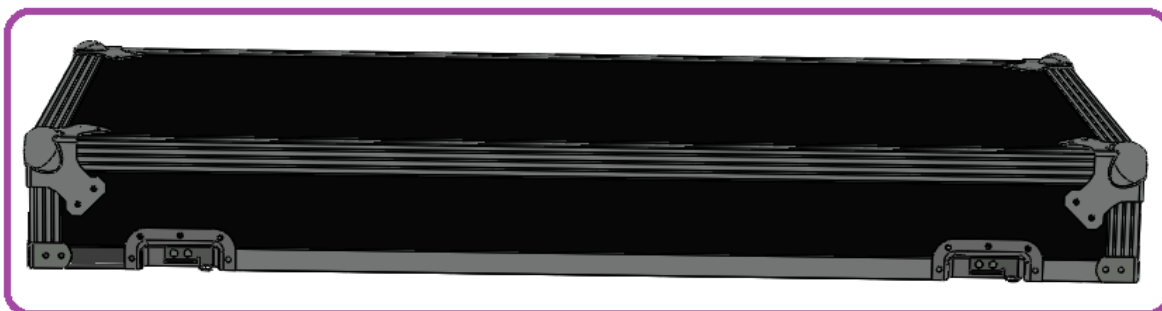


Figura 4.33: Modelo de la tapa del armario rack.

Una vez obtenidos los diseños del cuerpo y las tapas del armario se tiene como resultado final el modelo observado en la figura 4.34.



Figura 4.34: Armario rack final.

En la tabla 4.4 mostrada a continuación se detallan las medidas aproximadas de todo el conjunto:

MEDIDAS DEL ARMARIO TIPO RACK	
Alto (mm)	1000
Ancho (mm)	510
Profundidad (mm)	800

Tabla 4.4: Medidas del armario tipo rack.

Para poder ver más detalladamente el módulo final del armario, se han capturado varias vistas como se muestra en la figura 4.35 la cuales tienen aplicada transparencia en la estructura.



Figura 4.35: Vistas del armario rack final.

4.2 ANÁLISIS DE INGENIERÍA

La ingeniería asistida por ordenador (CAE) tiene como finalidad el uso de un software para simular virtualmente el comportamiento físico que tendrá el modelo CAD mediante el análisis del método de elementos finitos (FEM) que consiste en subdividir el sólido en pequeñas partes llamadas elementos los cuales están unidos con sus elementos adyacentes por puntos de unión llamados nodos, con el objetivo de verificar si cuando es sometido a diferentes combinaciones de carga simulando las cargas reales de trabajo sufre alguna deformación considerable que pueda afectar al correcto funcionamiento y un nivel de tensión en el material que provoque deformaciones permanentes o rotura de este, con lo cual se podrían realizar posteriores mejoras en el diseño.

En este apartado se ha considerado únicamente el análisis CAE del dispositivo móvil que acompaña al robot debido a que este tendrá que ser lo suficientemente robusto para soportar tanto la carga del robot cuando es trasladado de un lugar a otro como los movimientos de este cuando realice su trabajo, por lo cual se debe evitar que sufra deformaciones o que tenga alguna zona con un nivel de tensión considerable.

Para análisis CAE se ha utilizado el software Altair Inspire 2019 en el cual se han realizado tres fases que son preprocesamiento, resolución y postprocesamiento, se debe tomar en cuenta que este método no proporciona una solución exacta más bien posibilita a la obtención de una solución aproximada que puede ser suficiente para la resolución del problema.

4.2.1 PREPROCESAMIENTO

La fase de preprocesamiento es la preparación del modelo antes de realizar el cálculo, esta fase consta de una serie de pasos como son la simplificación del modelo CAD, definición de contactos que son las uniones entre los componentes, se definen las cargas, condiciones de contorno y las restricciones.

1. Simplificación del modelo CAD

Se omitieron aquellos elementos que no forman parte estructural del mismo y a la vez aquellos que contienen demasiado detalle, de esta forma se reduce tanto el tiempo de mallado del modelo como el cálculo de este.

Proceso de simplificación del modelo CAD:

- 1.1 Se ha omitido el brazo del robot y sensores debido a que no son el objeto de estudio como se muestra en la figura 4.36, dejando la base libre que es donde se aplicaran las fuerzas y momentos que ejerce el robot sobre toda la estructura para el análisis.

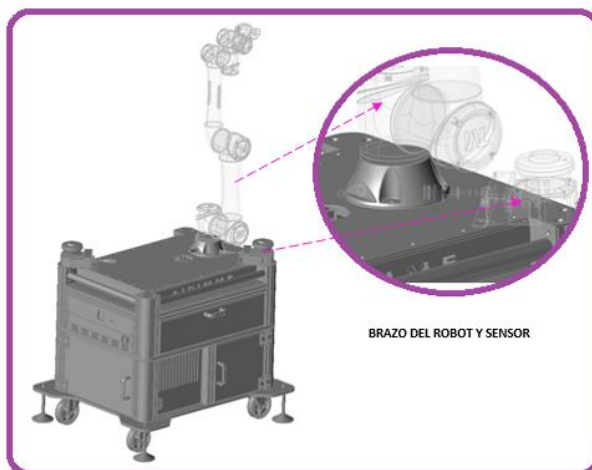


Figura 4.36: Simplificación del brazo y sensores del modelo CAD.

- 1.2 Se ha retirado las puertas, tapas, bisagras y manillas del análisis, ya que estos elementos no son necesarios a nivel de resistencia para la viabilidad de la mesa móvil, tal como se aprecia en la figura 4.37.

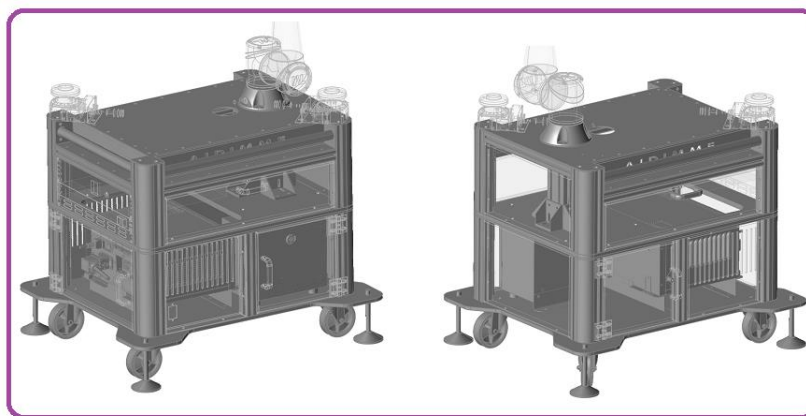


Figura 4.37: Simplificación de puertas, tapas, bisagras y manillas del modelo CAD.

1.3 Para el análisis también se han eliminado las ruedas como se muestra en la figura 4.38 debido a que la mesa se va a apoyar en las patas niveladoras cuando el robot esté en funcionamiento.

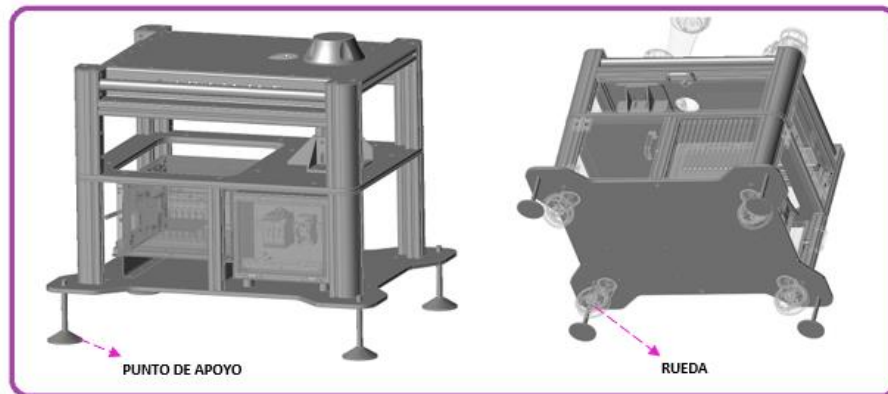


Figura 4.38: Simplificación de las ruedas del modelo CAD.

1.4 Se ha sustituido tanto la caja de control box del robot como el armario eléctrico por masas puntuales, dichas masas se ubican en el centro de gravedad de las cajas y son fijadas por elementos rígidos a los puntos de soporte de estas. Como se ha aprecia en la figura 4.39 a continuación, el peso aproximado de las cargas del control box y del armario eléctrico son de 10 y 3 kilogramos respectivamente.

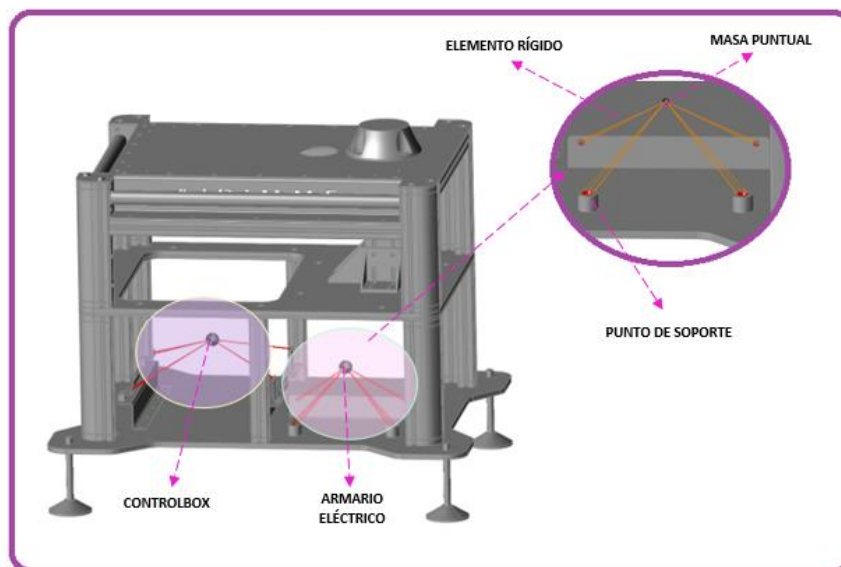


Figura 4.39: Simplificación de masas del modelo CAD.

2. Uniones atornilladas

Una vez realizada la simplificaci3n se pasa a realizar las uniones entre las diferentes partes del modelo; una opci3n muy sencilla es hacerlo mediante uniones entre las caras que se encuentran adyacentes de cada una de las piezas, pero esto aadiría rigidez al modelo por lo cual se ha optado por modelar las uniones atornilladas. En ciertas uniones fue necesario eliminar el avellanado como se puede apreciar en la figura 4.40 a continuaci3n debido que la chapa tenía muy poco espesor y el software no reconocía los agujeros correctamente al crear el tornillo.



Figura 4.40: Eliminaci3n del avellanado de los agujeros del modelo CAD.

En otro caso fue necesario realizar un corte en el CAD, el cual se aprecia en la figura 4.41 permitiendo así definir la longitud del tornillo y taco roscado debido a que el software utilizado no permite hacerlo.

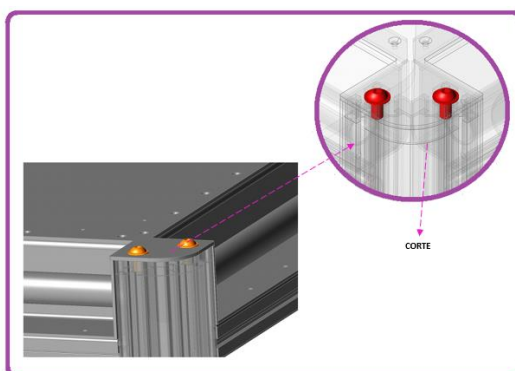


Figura 4.41: Corte en modelo CAD para definir longitud del tornillo.

Dependiendo de las condiciones de cada una de las uniones será necesario utilizar un tornillo y taco roscado como es el caso de las uniones entre las chapas y los perfiles de aluminio extruido con agujero

roscado, o tornillo y tuerca utilizado para sujetar tanto al controlador del robot como al armario eléctrico con la chapa inferior del dispositivo móvil, la figura 4.42 muestra estos dos tipos de uniones.

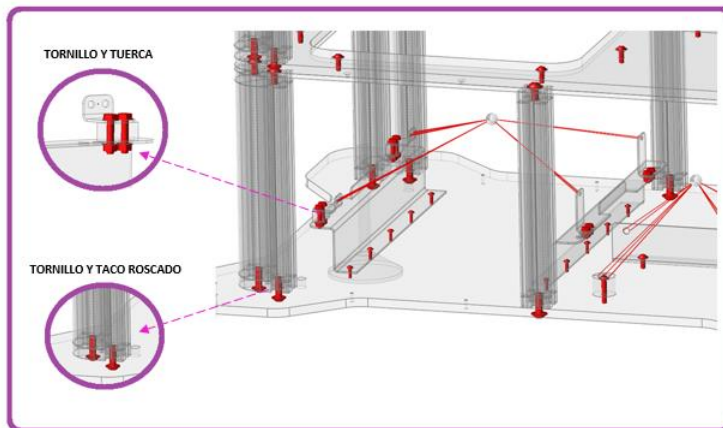


Figura 4.42: Tipos de uniones en la mesa móvil.

La diferencia entre estos dos tipos de uniones radica en el área de contacto que tiene cada una de ellas con las piezas a unir, como se observa en la figura 4.43 en la unión de tornillo y taco roscado el área de contacto es mayor debido a que el tornillo hace contacto prácticamente con toda la cara rosca de la pieza lo cual se puede ver claramente a la izquierda marcado de color verde y rojo, en cambio en la unión de tornillo y tuerca el contacto es menor ya que únicamente toca la cara superior de la pieza con la cabeza del tornillo y la inferior con la tuerca como se aprecia marcado de color morado en la derecha de la figura.

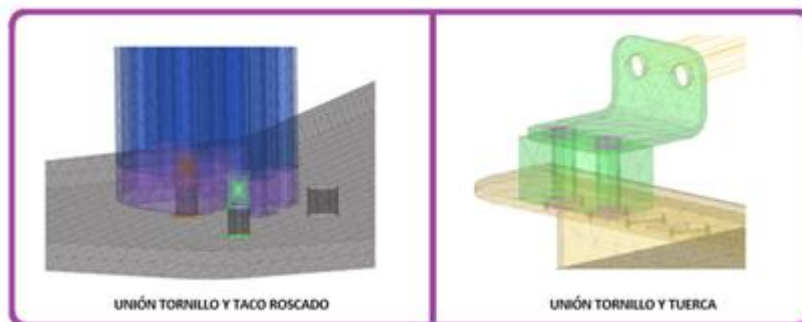


Figura 4.43: Diferencia entre los tipos de uniones.

Una vez modelado el tipo de unión atornillada en cada una de las piezas, el conjunto queda como se muestra en la figura 4.44 en la cual se han capturado dos vistas del modelo.

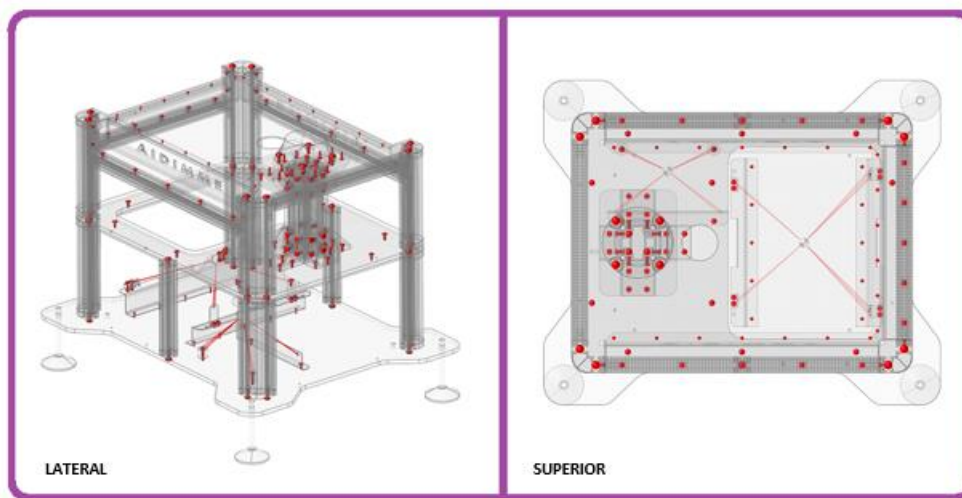


Figura 4.44: Vistas de las uniones atornilladas del modelo CAD.

3. Contactos

Los contactos son utilizados para determinar cómo se encuentran unidas las distintas partes del modelo, para lo cual se dispone de tres tipos de contactos dentro del software utilizado los mismos que son detallados a continuación:

- **Contacto unido (Bonded):** El de tipo contacto unido tiene como función colocar elementos entre nodos individuales en las dos caras unidas creando una conexión fija.
- **Contacto (Contacting):** El de tipo contacto tiene como función colocar elementos entre los nodos, pero más débiles que los anteriores, es utilizado cuando las dos caras unidas tienen un deslizamiento relativo.
- **Sin contacto (No contact):** El de tipo sin contacto utilizado cuando las piezas están cerca pero no se desea que tengan ningún contacto entre ellas.

Como se puede observar en la figura 4.45 que se presenta a continuación los contactos utilizados para este modelo son de tipo bonded marcados de color azul, y los de tipo contacting marcados de color verde.

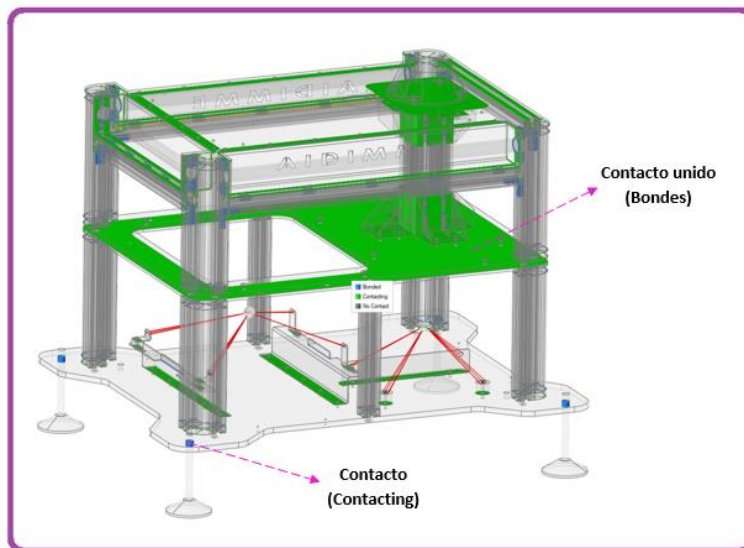


Figura 4.45: Contactos utilizados para el modelo CAD.

4. Cargas

Después de haber definido los contactos, se procede a introducir las cargas con las que posteriormente se realizará el cálculo por el método de elementos finitos del dispositivo móvil, para lo cual se ha considerado una fuerza perpendicular a la base del robot, contemplando tanto el peso de este más la carga máxima que puede soportar por la gravedad que ejerce la tierra, en donde:

Masa brazo del robot: $m_{brazo} = 22,1 \text{ kg}$

Masa carga máxima: $m_{carga} = 4 \text{ kg}$

Gravedad de la tierra: $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Tomando en cuenta los valores anteriores de las cargas se tiene la ecuación 4.1 para calcular el valor total de la masa con la que se realizará el ensayo, que es la sumatoria del valor de la masa del brazo y el valor de la masa de la carga máxima.

$$m_{total} = m_{brazo} + m_{carga}$$

$$m_{total} = (22,1 + 4) \text{ kg}$$

$$m_{total} = 26,1 \text{ kg}$$

Ecuación 4.1: Valor de la masa total para el ensayo.

Obtenido el valor de la masa total se procede a calcular la magnitud de la fuerza ejercida en la mesa móvil mediante la ecuación 4.2 para el ensayo.

$$F = m_{total} * g$$

$$F = 26,1 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F = 255,78 \text{ N}$$

Ecuación 4.2: Fuerza total ejercida en la mesa móvil.

La figura 4.46 a continuación muestra de la fuerza anteriormente calculada aplicada perpendicularmente sobre la base del robot para el ensayo.

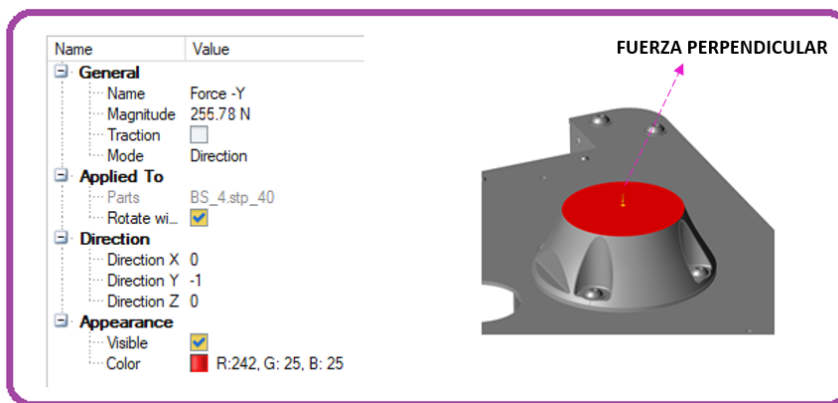


Figura 4.46: Fuerza aplicada sobre la base del robot.

Para el cálculo de los momentos ejercidos por el robot se ha considerado el ensayo tanto con carga estática como con carga dinámica.

Carga estática: para el cálculo del momento con carga estática se ha tomado en cuenta la fuerza debida al peso total del robot, asumiendo que el peso está distribuido uniformemente el momento será el resultado de multiplicar ese peso por la mitad de la distancia máxima que alcanza el robot cuando está completamente extendido, esta simplificación es más conservadora dado que en la realidad los primeros tramos del robot son los que tienen el mayor peso, a este valor se le suma la fuerza ejercida por la carga máxima que puede levantar el robot multiplicada por la distancia máxima a la que puede llevarla.

Teniendo como referencia la tabla 4.1 se sabe que la distancia máxima que puede alcanzar el robot es de 900mm, se procede a realizar los cálculos para el momento con carga estática.

Momento con carga estática del brazo del robot:

$$M_{CEB} = m_{brazo} * g * d_{m\acute{a}xima} / 2$$

$$M_{CEB} = 22,1 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 * 0,9 \text{ m} / 2$$

$$M_{CEB} = 97,461 \text{ N.m}$$

Momento con carga estática en la carga máxima soportada por el robot:

$$M_{CEC} = m_{carga} * g * d_{m\acute{a}xima}$$

$$M_{CEC} = 4 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 * 0,9 \text{ m}$$

$$M_{CEC} = 35,28 \text{ N.m}$$

La ecuación 4.3 describe el cálculo del momento con carga estática producido por el robot en conjunto con la carga útil máxima de trabajo.

$$M_{CE} = M_{CEB} + M_{CEC}$$

$$M_{CE} = 97,461 + 35,28 \text{ N.m}$$

$$M_{CE} = 132,741 \text{ N.m}$$

Ecuación 4.3: Momento con carga estática aplicado para el ensayo.

Carga dinámica: para el cálculo del momento con carga dinámica se ha tomado las mismas consideraciones que el caso anterior a diferencia que en lugar de tomar como referencia la gravedad se tiene la aceleración producida por la velocidad de trabajo del robot, de la misma forma se ha tomado el valor de la velocidad máxima de trabajo del robot descrita en la tabla 4.1 que es de 1,4 m/s y el tiempo que tarda en parar según la distancia y velocidad máxima obtenido de la tabla de tiempo de parada y distancia de parada del robot TM5-900 en el anexo A que tiene como valor 594 milisegundos para el primero eslabón.

Momento con carga dinámica del brazo del robot:

$$M_{CDB} = m_{brazo} * a * d_{máxima} / 2$$

Donde la aceleración **a** será:

$$a = v/t$$

$$a = 1,4 / 0,594$$

$$a = 2,357 \text{ m/s}^2$$

Entonces:

$$M_{CDB} = 22,1 \text{ kg} * 2,357 \text{ m/s}^2 * 0,9 \text{ m/2}$$

$$M_{CDB} = 23,44 \text{ N.m}$$

Momento con carga dinámica en la carga máxima soportada por el robot:

$$M_{CDC} = m_{carga} * a * d_{máxima}$$

$$M_{CDC} = 4 \text{ kg} * 2,357 \text{ m/s}^2 * 0,9 \text{ m}$$

$$M_{CDC} = 8,485 \text{ N.m}$$

La ecuación 4.4 describe el cálculo del momento con carga dinámica producido por el robot en conjunto con la carga máxima de trabajo.

$$M_{CD} = M_{CDB} + M_{CDC}$$

$$M_{CD} = 23,44 + 8,485 \text{ N.m}$$

$$M_{CD} = 31,925 \text{ N.m}$$

Ecuación 4.4: Momento con carga dinámica aplicado para el ensayo.

Finalmente se obtiene el momento total ejercido por el robot cuando realiza un trabajo con la carga máxima útil soportada, que es la suma de los dos momentos anteriores descritos tal como muestra la ecuación 4.5 a continuación.

$$M_{TOTAL} = M_{CE} + M_{CD}$$

$$M_{TOTAL} = 132,741 + 31,925 \text{ N.m}$$

$$M_{TOTAL} = 164,666 \text{ N.m}$$

Ecuación 4.5: Momento total ejercido por el robot para el ensayo.

La figura 4.47 a continuación muestra momento total aplicado sobre la base del robot, se ha tomado como referencia tres direcciones de movimiento que son en el eje x, z y a 45 grados entre los dos ejes.



Figura 4.47: Momento aplicado sobre la base del robot.

5. CONDICIONES DE CONTORNO

Es importante tener una referencia fija para realizar el análisis, para ello se ha aplicado soportes fijos en las 4 patas niveladoras como se aprecia en la figura 4.48, debido a que la mesa estará asentada en ellas cuando el robot entre en funcionamiento.

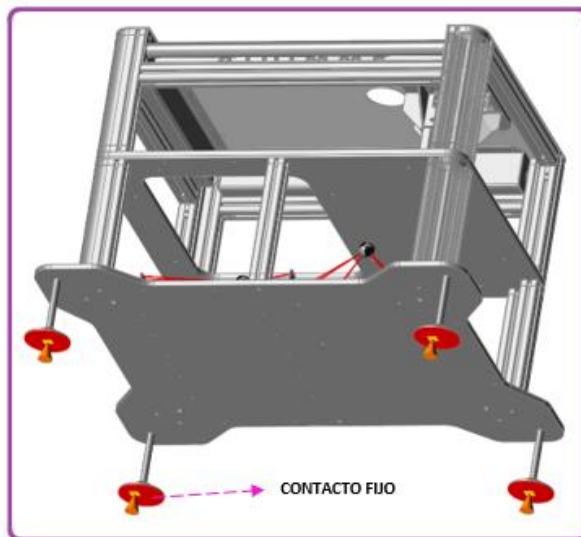


Figura 4.48: Contactos fijos aplicados sobre las patas niveladoras de la mesa móvil.

1.5.1 CASOS DE CARGA

Una vez definidas las condiciones de contorno se han determinado las distintas combinaciones de carga consideradas para el análisis por el método de elementos finitos se tienen los contactos fijos aplicados anteriormente pero a su vez se ha optado por aplicar los momentos tanto en dirección positiva como negativa de cada uno de los ejes mencionados en la figura 4.47, entonces se ha aplicado para cada uno de los casos de momentos planteados los contactos fijos, la fuerza en el eje y que es el perpendicular a la mesa y el torque correspondiente a cada uno de los momentos tal como detalla la figura 4.49 en la que se ha resumido todos los casos.

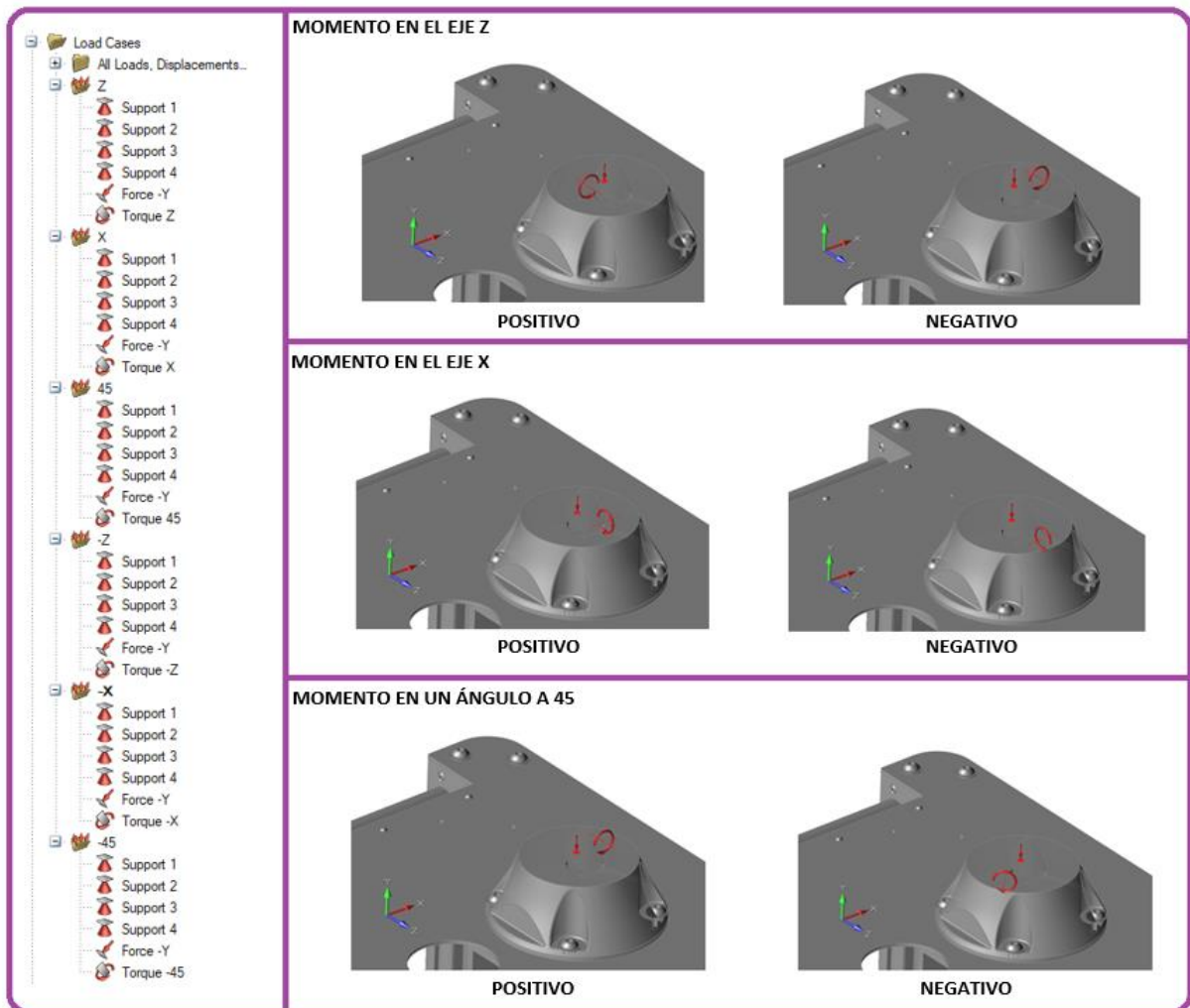


Figura 4.49: Casos de carga aplicados para el análisis CAE.

4.2.2 RESOLUCIÓN

Para la fase de resolución es primordial determinar el tipo de material que tendrá el modelo CAD que se desea analizar, en este caso de estudio se ha realizado el análisis con un material de tipo Aluminio 6061, la figura 4.50 detalla una captura de las propiedades que tiene dicho material.

Material	E	Nu	Density	Yield Stress	Coefficient of Thermal Expansion
Aluminum (6061-T6)	75.000E+03 MPa	0.330	2.700E-09 t/mm3	241.300E+00 MPa	23.500E-06 /K
Aluminum (7075-T6)	75.000E+03 MPa	0.330	2.800E-09 t/mm3	413.700E+00 MPa	23.200E-06 /K
Titanium (Ti-17)	115.000E+03 MPa	0.330	5.130E-09 t/mm3	1.050E+03 MPa	8.600E-06 /K
Titanium (Ti-6211)	110.000E+03 MPa	0.310	4.940E-09 t/mm3	730.000E+00 MPa	9.200E-06 /K
Titanium Alloy (Ti-6Al-4V)	116.522E+03 MPa	0.310	4.429E-09 t/mm3	827.371E+00 MPa	8.820E-06 /K
Magnesium Alloy	44.000E+03 MPa	0.350	1.920E-09 t/mm3	20.000E+00 MPa	25.000E-06 /K
Iron (Alloy Cast)	155.000E+03 MPa	0.280	7.190E-09 t/mm3	160.000E+00 MPa	14.400E-06 /K

Figura 4.50: Selección del tipo material para el análisis CAE.

Por otro lado, es importante el tamaño de elementos para el mallado del modelo, el software ha recomendado un tamaño de mallado de 3.5mm pero al tratar de analizar el modelo con este mallado tardaba demasiado tiempo en ejecutarlo y al final no se obtenía resultado alguno debido que al terminar el procesamiento el software arrojaba error, por dicha razón se ha optado por tomar un mallado mucho más grande para reducir el tiempo de procesamiento, el tamaño de malla seleccionado ha sido el doble del recomendado es decir que se ha considerado 7mm tal como se aprecia en la figura 4.51.

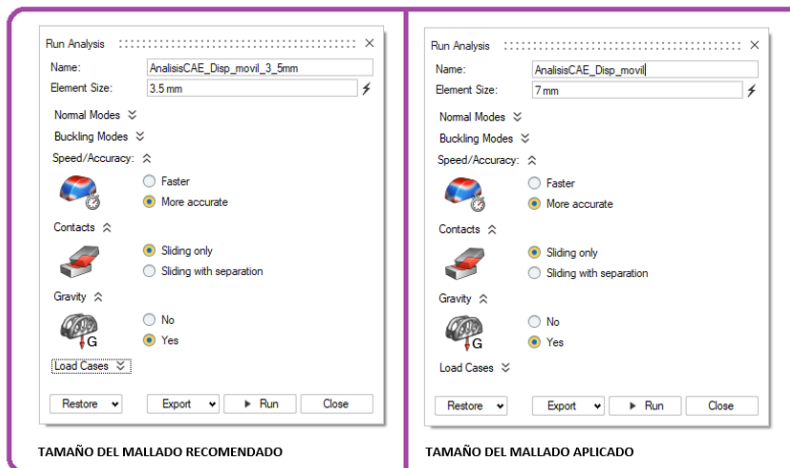


Figura 4.51: Tamaño de los elementos del mallado para el análisis CAE.

4.2.3 POSTPROCESAMIENTO

En esta fase se presentan los resultados obtenidos por el software utilizado tal como se muestra en la figura 4.52 en la cual se puede observar según cada caso de carga aplicado el resultado correspondiente.

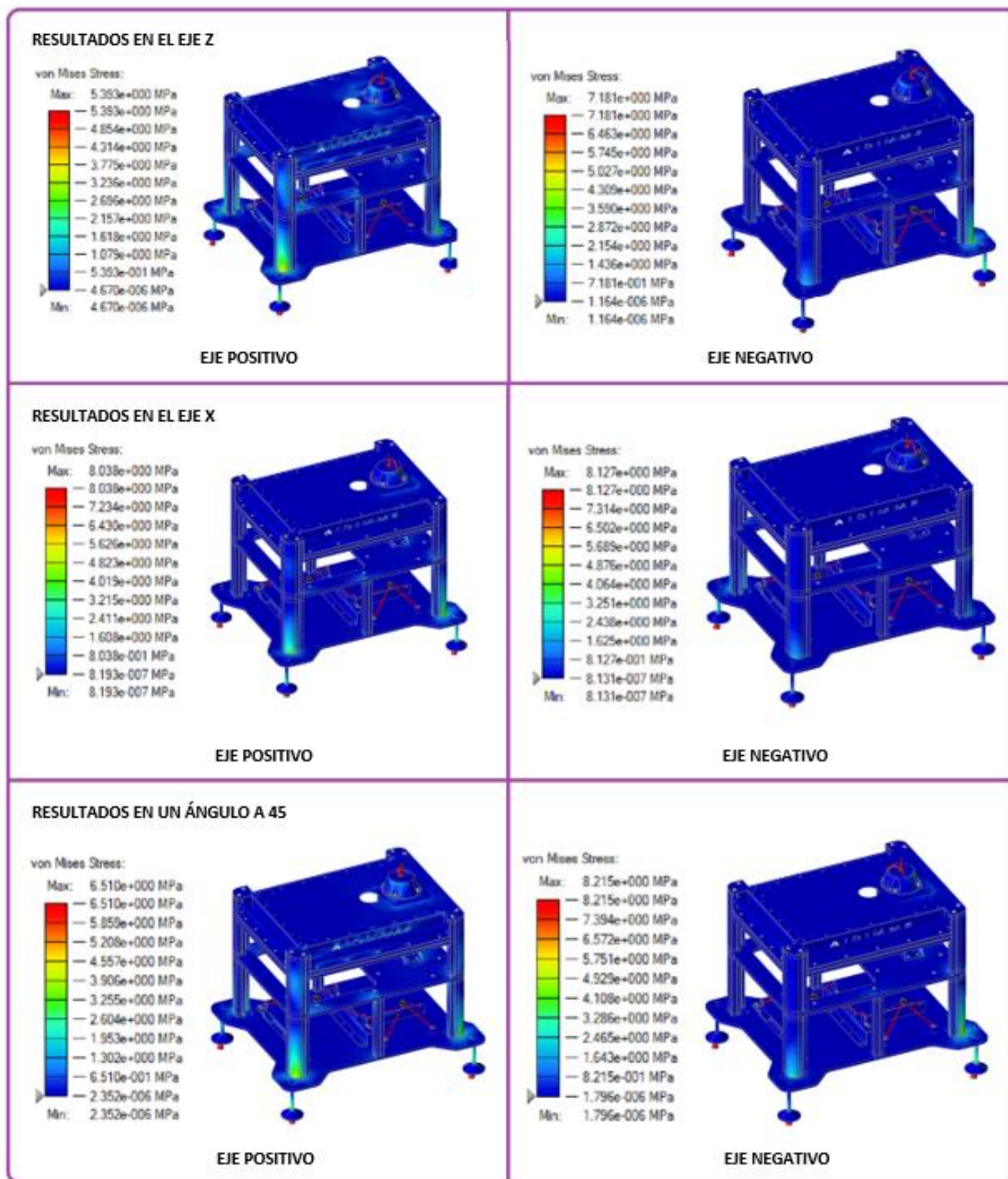


Figura 4.52: Resultados generales obtenidos del análisis CAE para tensión.

Tomando como referencia la figura anterior, se puede observar con claridad que los puntos donde existe mayor tensión son en las patas y en la unión de los perfiles extruidados con la chapa base de la mesa, para lo cual en la figura 4.53 se han tomado capturas de estas zonas para verlo con más claridad.

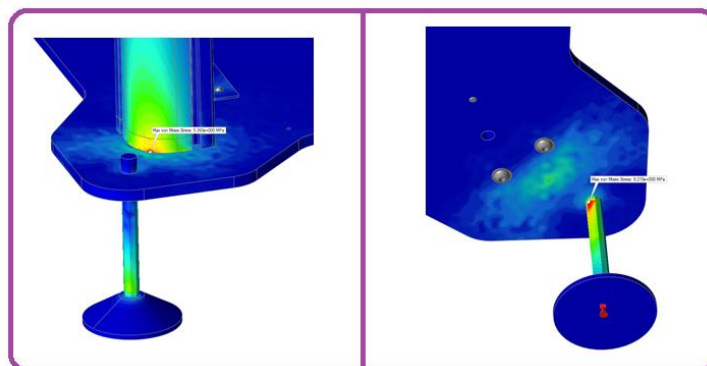


Figura 4.53: Zonas donde existe mayor tensión en el análisis CAE.

La tabla 4.5 detalla los resultados alcanzados del cálculo de tensión máxima de Von Mises obtenida para cada una de las combinaciones de carga en relación con el factor de seguridad límite elástico y de ruptura.

COMBINACIÓN DE CARGAS	TENSIÓN MÁXIMA DE Von Mises (MPa)	FACTOR DE SEGURIDAD LÍMITE ELÁSTICO (241MPa)	FACTOR DE SEGURIDAD LÍMITE ROTURA (290MPa)
EJE Z	5,393	44,688	53,773
EJE X	8,038	29,983	36,079
EJE 45	6,510	37,02	44,547
EJE -Z	7,181	33,561	40,384
EJE -X	8,127	29,654	35,684
EJE -45	8,215	29,337	35,301

Tabla 4.5: Valores obtenidos del análisis CAE para tensión.

Para obtener los valores de los factores seguridad del límite elástico y de ruptura se aplicaron las ecuaciones 4.6 y 4.7 respectivamente.

$$\text{Factor de seguridad límite elástico} = \frac{241}{\text{Combinación de carga}}$$

Ecuación 4.6: Factor de seguridad límite elástico.

$$\text{Factor de seguridad límite ruptura} = \frac{290}{\text{Combinación de carga}}$$

Ecuación 4.7: Factor de seguridad límite ruptura.

Realizados los cálculos de la tensión es importante también analizar los datos arrojados por el cálculo de desplazamiento mostrados en la figura 4.54, debido a que la base del robot al ser la parte más alejada de la fijación y es sitio donde se aplican las cargas más importantes por lo cual es lógico que sea la que mayor desplazamiento relativo tiene.

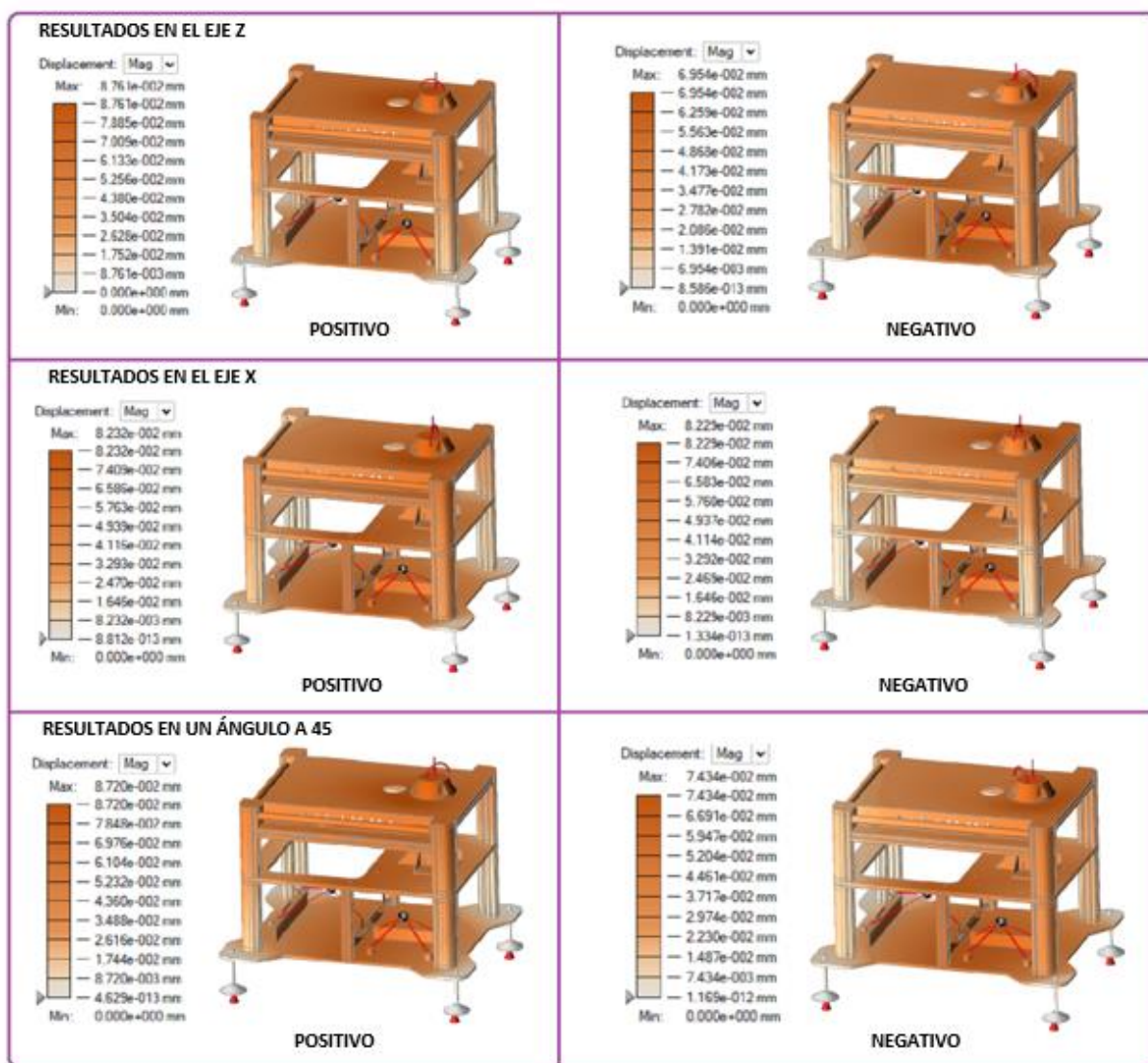


Figura 4.54: Resultados generales obtenidos del análisis CAE para desplazamiento.

La tabla 4.6 detalla los resultados máximos y mínimos alcanzados del cálculo de desplazamiento obtenido para cada una de las combinaciones de carga.

COMBINACIÓN DE CARGAS	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (mm)	DESPLAZAMIENTO MÍNIMO (mm)
EJE Z	8,761 e-002	0,000
EJE X	8,232 e-002	8,812 e-013
EJE 45	8,720 e-002	4,629 e-013
EJE -Z	6,954 e-002	8,586 e-013
EJE -X	8,229 e-002	1.334 e-013
EJE -45	7,434 e-002	1,169 e-012

Tabla 4.6: Valores obtenidos del análisis CAE para desplazamiento.

Una vez obtenidos los resultados de los cálculos tanto de tensión como de desplazamiento se puede concluir que el modelo realizado es lo bastante sólido, teniendo como referencia los datos de la tabla 4.5 se puede comprobar que los valores alcanzados por el cálculo según la tensión de Von Mises en relación con los límites de seguridad tanto elástico como de ruptura son mucho más bajos, y en cuanto al desplazamiento como se observa en la tabla 4.6 los valores para el movimiento que podría efectuar la mesa son relativamente bajos, por lo cual se ha logrado un modelo sólido capaz de soportar las cargas y los movimientos que puede efectuar el robot durante su trabajo en las diferentes plantas empresariales sin afectar la precisión propia que tiene el robot.

4.3 FABRICACI3N DE LOS DISPOSITIVOS

El proceso de fabricaci3n de los dispositivos m3viles se lo realiz3 mediante un entorno CAM (Fabricaci3n asistida por ordenador) debido a que las maquinarias disponibles en los talleres son de 3ltima tecnolog3a por lo cual el fabricante no requiere planos acotados de cada una de las piezas.

4.3.1 PROCESO DE FABRICACI3N DE LA MESA MOVIL

Para el proceso de fabricaci3n de las piezas que conforman la mesa m3vil se realizaron los siguientes procesos:

1. El corte de las placas y chapas se lo realiz3 por chorro de agua, para lo cual 3nicamente se requiere un archivo DXF o DWG que son formatos de dibujo que muestran el perfil de la pieza por la cual la maquina debe realizar el corte tal como se muestra en la figura 4.55 que ejemplifica el perfil de corte de la chapa utilizada para fabricar una de las puertas.

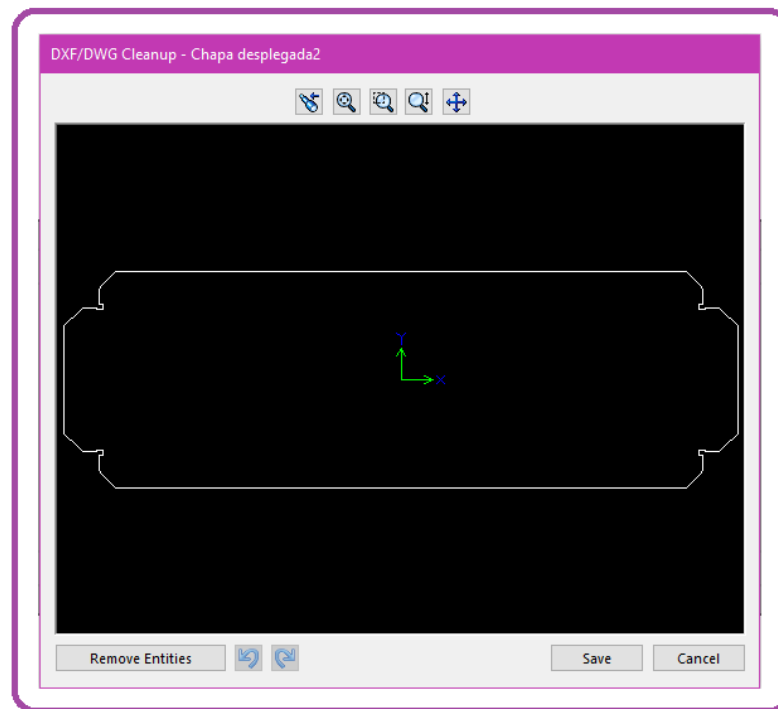


Figura 4.55: Archivo DXF/DWG de la chapa para la puerta de la mesa m3vil.

- Se realizan los taladros, roscados y avellanados correspondientes en cada una de las piezas, en la figura 4.56 se muestran los dos taladros necesarios en esta pieza.



Figura 4.56: Taladro y roscado en la chapa para la puerta de la mesa móvil.

- Si la pieza requiere se realizan los plegados, para lo cual es necesario que el operario disponga de un plano de detalle la dirección y ángulo de plegado, el mismo que se observa en la figura 4.57 para la misma pieza en demostración.

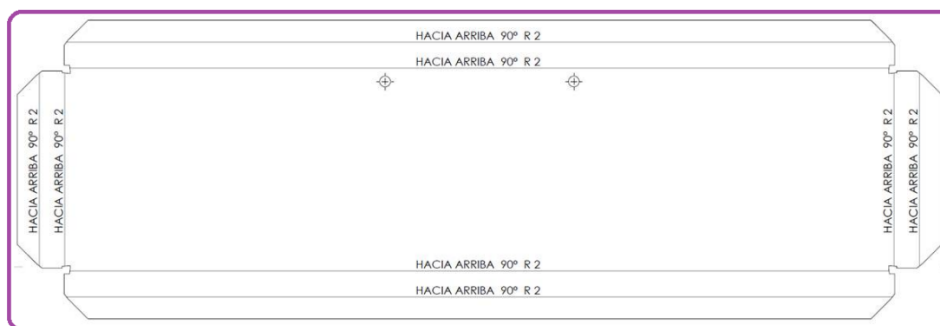


Figura 4.57: Plano de plegado para la chapa para la puerta de la mesa móvil.

- En el caso de las puertas se consideró soldar las uniones de las esquinas plegadas que se observan en la figura 4.58 para brindar rigidez a la pieza.



Figura 4.58: Soldadura en las esquinas de la puerta de la mesa móvil.

5. Para el proceso de acabado de la pieza se realiza el proceso de arenado para quitar las impurezas del material, pintado y lacado.
6. Los perfiles extruidos son comprados directamente al proveedor con las dimensiones necesarias para cada una de las partes de la mesa móvil.
7. Una vez obtenidas cada una de las piezas del demostrador se procede a ensamblar cada uno de los módulos (carro inferior y superior) con la tornillería y accesorios correspondientes en cada una de las partes, a figura 4.59 muestra el resultado final de la mesa móvil.



Figura 4.59: Mesa móvil fabricada.

NOTA: Debido a que la maquinaria de plegado disponible en el taller no podía realizar el plegado con el ángulo diseñado en la pieza ranurada con el nombre de la empresa se tuvo que realizar un cambio en el ángulo de esta tal como se puede apreciar en la figura 4.60 mostrada a continuación.



Figura 4.60: Cambio de diseño para la fabricación de la pieza de la mesa móvil.

4.3.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL ARMARIO RACK

El proceso de fabricación del armario rack es bastante sencillo siguiendo los procesos detallados a continuación:

1. El corte de las planchas de aglomerado se lo realizo por corte a laser para lo cual fue requerido al igual que en el corte por chorro únicamente el archivo DXF o DWG que contiene el perfil de cada una de las piezas.
2. Los perfiles metálicos también son comprados directamente al proveedor con las dimensiones necesarias para cada una de las partes de la mesa móvil.
3. El riel viene de una sola medida y es cortado por láser o manualmente con la dimensión necesaria para ser ubicado dentro del armario.

4. Obtenidas cada una de las piezas se procede a realizar el montaje del armario aadiendo la tornillería, remaches y cada uno de los accesorios como son ruedas, broches, manillas, ángulos y topes, la figura 4.61 muestra el armario rack una vez fabricado.



Figura 4.61: Armario rack fabricado.

CAPÍTULO 5

5 VALORACIÓN ECONÓMICA

En el presente apartado se detalla un presupuesto aproximado de cada uno de los demostradores, en los cuales se han basado en el coste propuesto por los talleres encargados de la fabricación más el costo por el diseño de los dispositivos. Dentro del costo por el diseño de los dispositivos se ha tomado en cuenta dos factores sumamente importantes que son:

- Costo de mano de obra de la persona que realiza el diseño, se ha tomado el valor por hora acordado por prácticas en la empresa previamente firmado que tiene un valor de 525 euros brutos por mes, de donde se tiene el costo por hora mostrado en la ecuación 5.1, teniendo en cuenta que en un mes se trabajan 22 días y 7 horas al día.

$$\text{Costo mano de obra} = \frac{525\text{€/mes}}{(22 \times 7) \text{ horas/mes}} = 3,41\text{€/hora}$$

Ecuación 5.1: Costo mano de obra por hora

- Costos de fabricación indirectos dentro de los cuales están incluidos electricidad, agua, alquileres, personal de estructura, mantenimiento, etc; para el cálculo de este coste se ha considerado añadir un 25% de costo de mano de obra.

5.1 PRESUPUESTO ECONÓMICO DE LA MESA MÓVIL

Para el diseño de la mesa móvil se ha dispuesto alrededor de 40 horas en el ordenador, para lo cual se han realizado los siguientes cálculos:

- **Costo de mano de obra:** la ecuación 5.2 detalla el valor del costo por mano de obra por el diseño e ingeniería asistida de la mesa móvil.

$$\text{Costo mano de obra} = 150 \text{ horas} * 3,41\text{€/hora} = 511,50\text{€}$$

Ecuación 5.2: Costo mano de obra diseño e ingeniería de la mesa móvil.

- **Costo indirecto de fabricación:** la ecuación 5.3 detalla el valor por costos indirectos para el diseño e ingeniería de la mesa móvil.

$$\text{Costo indirecto de fabricación} = 511,50 \text{ €} * 25\% = 127,88\text{€}$$

Ecuación 5.3: Costo energético diseño mesa móvil.

En la tabla 5.1 mostrada a continuación se detalla el presupuesto económico total para la fabricación de la mesa móvil:

PRESUPUESTO MESA MÓVIL PARA ROBOT COLABORATIVO	
Costo mano de obra	511,50
Costo indirecto de fabricación	127,88
Costo por fabricación	3500
TOTAL	4139,38

Tabla 5.1: Presupuesto mesa móvil para robot colaborativo.

5.2 PRESUPUESTO ECONÓMICO DEL ARMARIO RACK

Para el diseño del armario rack se ha dispuesto alrededor de 50 horas en el ordenador, para lo cual se han realizado los siguientes cálculos:

- **Costo de mano de obra:** la ecuación 5.4 detalla el valor del costo por mano de obra para el diseño del armario rack.

$$\text{Costo mano de obra} = 50 \text{ horas} * 3,41\text{€/hora} = 170,50\text{€}$$

Ecuación 5.4: Costo mano de obra diseño armario rack.

- **Costo indirecto de fabricación:** la ecuación 5.5 detalla el valor por costos indirectos para el diseño del armario rack.

$$\text{Costo energético} = 170,50\text{€} * 25\% = 42,63\text{€}$$

Ecuación 5.5: Costo energético diseño armario rack.

En la tabla 5.2 mostrada a continuación se detalla el presupuesto económico total para la fabricación del armario rack:

PRESUPUESTO ARMARIO TIPO RACK	
Costo mano de obra	170,50
Costo energético	42,63
Costo por fabricación	450
TOTAL	663,13

Tabla 5.2: Presupuesto armario rack.

5.3 COMPARACIÓN DE COSTO CON PRODUCTOS SIMILARES DISPONIBLES EN EL MERCADO

Es importante hacer una comparación de costos del prototipo obtenido en relación los otros disponibles en el mercado corroborando así que el dispositivo diseñado y fabricado podría estar en condiciones de ser comercializado en un futuro.

- **Mesa móvil para robot colaborativo:** si se considera que para el diseño de este prototipo se basó en uno existente en el mercado como es el de Omron, es importante realizar la comparación económica con dicho producto, el gráfico 5.1 muestra dicha comparación.

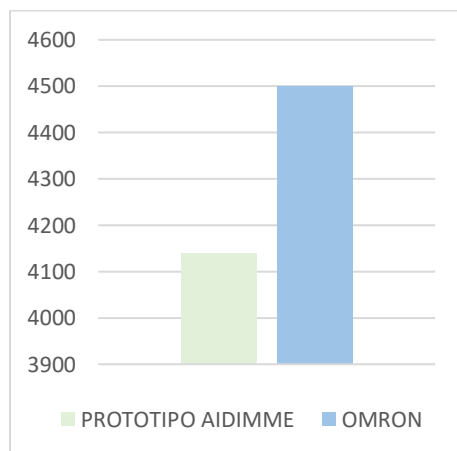


Gráfico 5.1: Comparación de costos mesa móvil.

Como se puede observar en la gráfica anterior, el prototipo obtenido en el desarrollo de este proyecto tiene un coste menor al que se ofrece en el mercado, se puede recalcar también que en este prototipo se ha considerado espacio para guardar tanto herramientas como los diferentes efectores finales lo cual es de gran utilidad al tener todo dentro del mismo demostrador al momento de desplazarse entre las distintas empresas.

- **Armario Rack:** tomando de referencia los armarios para dispositivos ya sean de audio, video o música, se buscaron prototipo de este tipo que cumplan con las dimensiones necesarias sin tener ningún resultado favorable, por lo cual se optó por tener un prototipo propio lo más compacto posible y que cumpla con las características y especificaciones deseadas.

CAPÍTULO 6

6 PRUEBAS

Las pruebas realizadas de los dispositivos fueron realizadas únicamente en las instalaciones de AIDIMMES dentro de sus laboratorios debido a que el tiempo en la programación tanto del robot como del servidor y demás dispositivos fue muy corto y no se tuvo la oportunidad de ponerlo a prueba en las diferentes plantas empresariales.

6.1 PRUEBAS REALIZADAS DEL MONTAJE, MOVILIDAD Y TRABAJO DE LA MESA MÓVIL

Debido al corto tiempo que se dispuso para realizar pruebas de funcionamiento del robot en conjunto con la mesa móvil, únicamente se realizaron pruebas de movilidad de la mesa con el robot a su vez se realizaron movimientos con el robot muy puntuales y con poca carga, pero se logró comprobar que la mesa es lo suficientemente robusta como para soportar al robot y a los movimientos que realizó como se muestra en la figura 6.1 a continuación.



Figura 6.1: Pruebas mesa móvil para robot colaborativo.

6.2 PRUEBAS REALIZADAS DEL MONTAJE, MOVILIDAD Y TRABAJO DEL ARMARIO RACK

Con el armario Rack se pudo realizar más pruebas tanto dentro de AIDIMME como fuera, pero por cuestión de confidencialidad de la empresa donde se realizaron las pruebas no se puede mostrar fotografías de las misas, por ello únicamente se adjuntará como se observa en la figura 6.2 las pruebas realizadas dentro de los laboratorios de AIDIMME.



Figura 6.2: Pruebas armario rack.

CAPÍTULO 7

7 CONCLUSIONES Y POSIBLES MEJORAS

7.1 CONCLUSIONES

- Con el presente proyecto se ha logrado diseñar dos dispositivos móviles que serán parte de una célula demostrativa basada en el modelo estándar de la industria 4.0, los mismo que cumplen con los requerimientos dispuestos por la empresa.
- En la mesa móvil se ha optimizado el espacio para el robot y sus dispositivos, considerando también un espacio adicional que será de utilidad para herramientas y sensores durante las diferentes pruebas.
- Una vez realizado el análisis CAE de la mesa móvil se ha determinado que el modelo es lo suficientemente sólido para transportar al robot de un lugar a otro y que este opere a su máxima carga y velocidad.
- El segundo dispositivo es un armario rack, que permite trasportar un conjunto de sensores con un sistema de comunicación para realizar un análisis sobre el comportamiento de las máquinas de cada una de las empresas y obtener las posibles mejoras en sus líneas de producción.
- Finalmente, la mesa móvil además de cumplir con las funciones solicitadas tiene un costo inferior a las que se encuentran disponibles en el mercado.

7.2 POSIBLES MEJORAS

Mesa móvil para el robot colaborativo.

- Utilizando llantas con freno se puede mejorar la estabilidad de la mesa y brindar mayor comodidad al operario, esto también permitiría utilizar materiales mas livianos y con la misma resistencia.
- Aunque el material utilizado para la mesa es robusto, se podría mejorar la apariencia del dispositivo con un material con mayor resistencia a los rayones.

Armario tipo rack.

- La funcionalidad del armario rack se podría mejorar utilizando un material distinto en la parte superior para ser utilizado como una mesa de trabajo.

CAPÍTULO 8

8 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] A. I. Basco, G. Beliz, D. Coatz and P. Garnero, "Industria 4.0 fabricando el futuro," *Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo*, p. 120, Julio 2018.
- [2] U. R. S/A, "Universal Robots," 2019. [Online]. Available: <https://www.universal-robots.com/products/ur10-robot/>. [Accessed 12 June 2019].
- [3] A. VYSOCKY and P. NOVAK, "HUMAN – ROBOT COLLABORATION IN INDUSTRY," *VŠB – TU Ostrava*, 2016.
- [4] V. Villani, F. Pini, F. Leali and C. Secchi, "Survey on human–robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications," *ScienceDirect – Mechatronic*, vol. 55, pp. 248-266, 9 February 2019.
- [5] E. INSTRUMENTS, "ERBESSD INSTRUMENTS," 2018. [Online]. Available: <https://www.erbessd-instruments.com/es/monitoreo-continuo>. [Accessed 05 July 2019].
- [6] "thinkbotSOLUTIONS," EasyRobotics, 2019. [Online]. Available: <https://www.thinkbotsolutions.com/shop/easyrobotics-er5>. [Accessed 24 July 2019].
- [7] Xatakaciencia, "webedia," 15 April 2011. [Online]. Available: <https://www.xatakaciencia.com/robotica/robots-moviles-ii>. [Accessed 26 July 2019].
- [8] S. Robotics, "Directindustry," [Online]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/staeubli-robotics/product-17645-2015695.html>. [Accessed 26 July 2019].
- [9] infoPLC, "Omron lanza los robots colaborativos serie TM," 8 December 2018.
- [10] "Omron Automatización Industrial," Robots Colaborativos, [Online]. Available: <https://industrial.omron.es/es/products/collaborative-robots#models>. [Accessed 2 June 2019].
- [11] BAUHAUS, "BAUHAUS," 2019. [Online]. Available: <https://www.bauhaus.es/cajas-de-herramientas-profesionales/wisent-caja-de-almacenaje-y-transporte/p/20762672>. [Accessed 5 August 2019].
- [12] J. L. del Val Román, "Industria 4.0: la transformación digital de la industria," *coddiinforme*, 2019.

- [13] "Manufacturing Tomorrow," 25 February 2016. [Online]. Available: <https://www.manufacturingtomorrow.com/article/2016/02/collaborative-robots-working-in-manufacturing/7672/>. [Accessed 3 June 2019].
- [14] Carlos, "La Robótica colaborativa en la industria 4.0," Embuticion.
- [15] "Robot o Cobot: Las cinco diferencias clave," *infoPLC*, 29 January 2017.
- [16] A. Rodríguez, "Telcel," [Online]. Available: <https://www.telcel.com/empresas/tendencias/notas/diferencias-entre-cobots-y-robots>. [Accessed 12 June 2019].
- [17] C. Masa Lorenzo, "Wolters Kluwer," [Online]. Available: http://diccionarioempresarial.wolterskluwer.es/Content/Documento.aspx?params=H4sIAAAAAAAAEAMtMSbF1jTAAASMTYyMjtbLUouLM_DxblwMDS0NDQ3OQQGZapUt-ckhlQaptWmJOcSoA3UO-yzUAAAA=WKE. [Accessed 11 May 2019].
- [18] S. Wasserman , "engineering," 18 July 2017. [Online]. Available: <https://www.simutechgroup.com/tips-and-tricks/fea-articles/169-bonded-contact-between-shell-faces-in-ansys-mechanical-workbench-v14-5>. [Accessed 15 May 2019].
- [19] "simutechgroup," [Online]. Available: <https://www.simutechgroup.com/tips-and-tricks/fea-articles/169-bonded-contact-between-shell-faces-in-ansys-mechanical-workbench-v14-5>. [Accessed 15 May 2019].
- [20] "noutac," 8 April 2016. [Online]. Available: <https://nou-tac.com/los-tornillos-y-sus-partes-cabeza-cuello-y-rosca/>. [Accessed 17 May 2019].

ANEXOS

A. DATASHEET DEL ROBOT TM5-900 PROPORCIONADOS POR LA PAGINA DE OMRON

New Product

OMRON

Collaborative Robots TM5

Collaborative robot for assembly, packaging, inspection and logistics

- Built-in vision-based robot control enables visual servoing, inspection, and measurement.
- TMvision and landmark allows truly flexible and fast changeover.
- Easy-to-use graphical programming environment for quick startup.
- Plug & Play ecosystem makes it versatile for many manufacturing needs.
- Designed to promote a safer workplace with harmony between humans and machines.
- Integration with mobile robots provides fully autonomous logistics handling for a conveyor-less system.



Specification

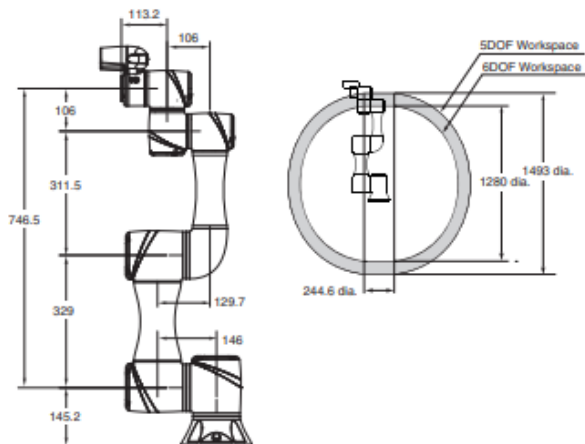
		TM5					
Product Name		TM5-700	TM5M-700	TM5M-700 SEMI	TM5-900	TM5M-900	TM5M-900 SEMI
Model		RT6-0007000	RT6-0107000	RT6-0107010	RT6-0009000	RT6-0109000	RT6-0109010
Weight (kg)		22.1			22.6		
Max Payload (kg)		6			4		
Reach (mm)		700			900		
Typical Speed (m/s)		1.1			1.4		
Joint Range	Joint 1	±270°					
	Joint 2, 4, 5	±180°					
	Joint 3	±155°					
	Joint 6	±270°					
Joint Speeds	Joint 1, 2, 3	180°/s					
	Joint 4, 5, 6	225°/s					
Repeatability (mm)		±0.05					
IP		IP54 (robot arm), IP32 (control box)					
Operating Temperature (°C)		0 to 50					
Power Supply		100-240 VAC, 50-60 Hz	22-60 VDC	22-60 VDC	100-240 VAC, 50-60 Hz	22-60 VDC	22-60 VDC
I/O Ports	Control Box	Digital In: 16 Digital Out: 16 Analog In: 2 Analog Out: 1					
	Tool	Digital In: 4 Digital Out: 4 Analog In: 1 Analog Out: 0					
I/O Interface		3 X COM, 1 X HDMI, 3 X LAN, 4 X USB2.0, 2 X USB3.0					
Communication		RS232, Ethernet (master), Modbus TCP/RTU (master & slave)					
Integrated Camera		5M pixels, color (AOI tasks: 5M/1.2M; others:1.2M)					
I/O Power Supply		24V 1.5A (control box and tool)					
Programming Environment		TMflow, flowchart based					
SEMI S2 Certified		No	No	Yes	No	No	Yes

*Manufactured by Techman Robot Inc.

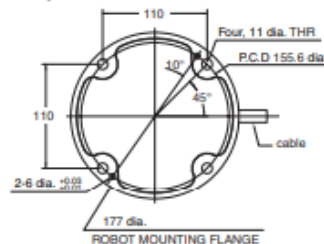
Dimensions

(Unit: mm)

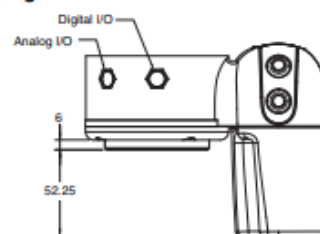
TM5-700



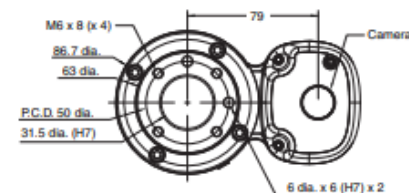
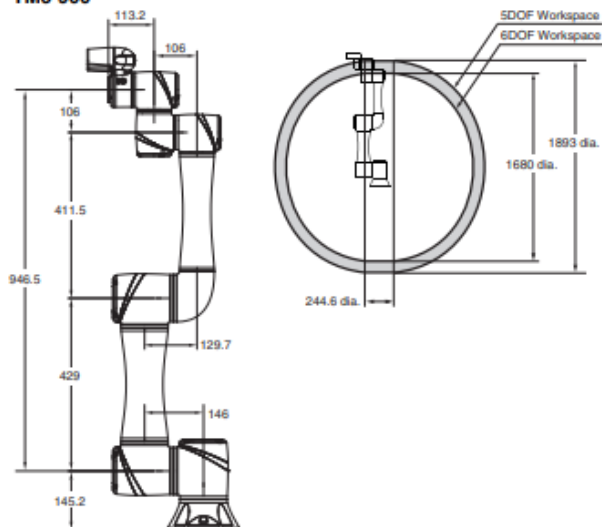
Footprint



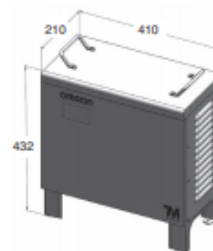
Flange



TM5-900



Control Box



Robot Parts Code and Bundled Accessories

Type	TM5-700			TM5-900		
	TM5-700	TM5M-700	TM5M-700 SEMI	TM5-900	TM5M-900	TM5M-900 SEMI
Product Name	TM5-700	TM5M-700	TM5M-700 SEMI	TM5-900	TM5M-900	TM5M-900 SEMI
Model	RT6-0007000	RT6-0107000	RT6-0107010	RT6-0009000	RT6-0109000	RT6-0109010
Overview	Robot with built-in vision system and control box			Robot with built-in vision system and control box		
Purpose	Typical for use in programming environment			Typical for use in programming environment		
Bundled Accessories	<ul style="list-style-type: none"> TM5-700 robot arm (1) Control box (1) Calibration plates (one large and one small) IO cables (2) TM landmark (2) Ground wire (1) Power cable for the control box (4 standard model, 1 mobile model) SEMI emergency OFF switch (SEMI model only) 			<ul style="list-style-type: none"> TM5-900 robot arm (1) Control box (1) Calibration plates (one large and one small) IO cables (2) TM landmark (2) Ground wire (1) Power cable for the control box (4 standard model, 1 mobile model) SEMI emergency OFF switch (SEMI model only) 		

TM5-900 Series

Stop Time and Stop Distance Table								
Percentage of Maximum Payload (%)	Extension(%)	Speed(%)	First joint		Second joint		Third joint	
			Stop Time (ms)	Stop Distance (deg)	Stop Time (ms)	Stop Distance (deg)	Stop Time (ms)	Stop Distance (deg)
33	33	33	519	8.96	626	9.24	457	8.99
		66	512	17.95	555	18.03	475	17.93
		100	466	25.68	563	27.20	476	27.09
	66	33	374	8.97	598	9.32	444	8.96
		66	719	17.95	510	18.11	636	18.12
		100	664	26.33	521	27.34	650	27.41
	100	33	366	8.98	524	9.25	428	8.97
		66	412	17.93	518	18.23	510	18.04
		100	442	26.57	508	24.20	498	28.66
66	33	33	508	8.98	660	9.19	629	9.23
		66	589	17.97	666	18.20	536	18.09
		100	476	26.86	575	27.62	635	27.06
	66	33	635	8.93	633	9.27	518	9.00
		66	645	18.00	640	18.16	647	18.19
		100	668	26.73	569	28.14	676	27.73
	100	33	366	9.02	506	9.22	565	8.96
		66	479	17.96	522	18.16	514	16.93
		100	503	26.58	517	23.61	485	28.62
100	33	33	474	8.99	572	9.15	662	9.21
		66	571	18.02	573	18.22	640	18.18
		100	568	26.94	563	28.00	637	27.36
	66	33	508	9.00	691	9.31	627	9.18
		66	566	18.10	641	18.23	652	18.26
		100	583	26.72	534	28.45	680	27.56
	100	33	549	9.04	542	9.28	436	8.97
		66	645	18.16	551	18.11	520	18.13
		100	594	26.60	569	23.15	499	28.78

Table 8: Stopping Time and Distance for TM5-900 Series