



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

# “Diseño de la estructura física de un AS/RS para fines didácticos”

---

PRESENTA:

Katherine López Hayna

DIRECTOR DE TESIS

M.C. Moisés Manzano Herrera

ASESOR DE TESIS

M.C. Víctor Manuel Cruz Martínez

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAX. JULIO 2015.

A mi familia,

mi apoyo y el núcleo de mi felicidad.

## Agradecimientos

Agradezco a mis directores de tesis, M.C. Víctor Manuel Cruz Martínez y en especial a M.C. Moisés Manzano Herrera por guiar esta tesis, por reencausarla cuando iba desviando el rumbo y por derrumbar las barreras cuando éstas se presentaron. Su cooperación ha sido invaluable para dar forma a las ideas que se fueron desarrollando.

Agradezco a todos mis maestros de la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM) quienes me formaron con sus enseñanzas. Al Dr. Armando Páez García y M.D.D. Jorge Espinoza Colón porque sus clases de seminario de tesis fijaron los cimientos del proyecto de tesis. Agradezco a L.F.M. Gustavo Jiménez Santana y al Ing. Óscar Díaz de León quienes con su entusiasmo y rigor me inspiran a abordar el diseño desde el enfoque de la ingeniería. También quiero agradecer a DCG. Alfonso Acosta Romero por las clases de comunicación visual y al Ing. Eruvid Cortés Camacho por su apoyo.

Quisiera agradecer también a mis sinodales M.C. Salvador Montesinos González, Dr. José Aníbal Arias Aguilar y M.P.I.I.O. Fernando Iturbide Jiménez quienes realizaron observaciones pertinentes finales que ayudaron a concluir el proyecto.

Así mismo quisiera agradecer a los participantes de las entrevistas:

M.C. Milton Carlos Elías Espinoza maestro del ITESM, Campus Santa Fe; a Ing. Jacinto Roselló de la Peña, Gerente general de Logística de Almacenes Rosselló, S.A. de C.V. (representante de Mecalux en México); al Ing. Sergio Hernández y Ing. Marco Hernández, Director de operaciones de Stocklin en México; Al Ing. Alfredo Cruz, Director de ventas de HEMAQ; y finalmente al jefe de almacén de Grupo Bafar en Chihuahua, el Lic. Guillermo Bourjac, así como al jefe de seguridad el Lic. Darling César Patrón Reyes por permitir la visita.

Asimismo quisiera agradecer al Ing. Ricardo Pfeiffer por posibilitar la visita en el ITESM y por escabullirme al TECMA 2013 y a M.C. Adrian Emilio Nuñez Carranza, por su palabras de aliento, su paciencia y su apoyo obteniendo la visita a Grupo Bafar.

Finalmente quisiera agradecer ala Lic. Reina, a Patricia y a Mari por su disposición a ayudar siempre.

# Índice General

<b>CAPÍTULO 1. ASPECTOS PRELIMINARES</b>	<b>12</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
1.2 OBJETIVOS .....	16
1.3 ALCANCE .....	18
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	19
1.5 METODOLOGÍA.....	22
<b>CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES</b>	<b>25</b>
2.1 MANEJO DE MATERIALES .....	25
2.2 ALMACENES.....	26
2.3 SISTEMAS AS/RS .....	27
2.3.1 <i>Aplicación</i> .....	29
2.3.2 <i>Partes</i> .....	31
2.3.3 <i>Funcionamiento</i> .....	32
2.3.4 <i>Configuración del sistema de almacenamiento automático AS/RS</i> .....	37
2.4 SISTEMAS AS/RS EN LA INDUSTRIA .....	40
2.4.1 <i>Mecalux</i> .....	41
2.4.2 <i>Stöcklin</i> .....	43
2.4.3 <i>Hemaq</i> .....	44
2.5 SISTEMAS AS/RS EN LA EDUCACIÓN.....	50
2.5.1 <i>Sistema AS/RS en el Tecnológico de Monterrey</i> .....	50
2.5.2 <i>Sistema AS/RS de Festo, Amatrol e Intelitek</i> .....	52
2.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COMPARACIÓN DE DATOS .....	54
2.6.1 <i>Carga</i> .....	56

2.6.2	<i>Anaqueles</i> .....	57
2.6.3	<i>Máquinas de almacenamiento y recuperación de unidades</i> .....	58
2.6.4	<i>Puntos de entrada/salida</i> .....	58
2.6.5	<i>Unidad de control</i> .....	59
2.7	INVESTIGACIÓN DEL USUARIO Y CLIENTE.....	62
2.7.1	<i>Características del cliente</i> .....	62
2.7.2	<i>Necesidades del cliente</i> .....	62
2.7.3	<i>Características del usuario</i> .....	63
2.7.4	<i>Necesidades del usuario</i> .....	64
<b>CAPÍTULO 3. DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO AUTOMÁTICO PARA LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA</b>		<b>67</b>
3.1	DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.....	67
3.1.1	<i>Requerimientos generales</i> .....	69
3.1.2	<i>Requerimientos específicos</i> .....	71
3.1.3	<i>Requerimientos por partes</i> .....	74
3.2	ANÁLISIS MEDIANTE EL MÉTODO QFD (DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD) .....	82
3.3	COMPRENSIÓN A NIVEL DE SISTEMAS .....	93
3.3.1	<i>Funcionamiento del AS/RS</i> .....	98
3.4	DEFINICIÓN DE CONCEPTO DEL SISTEMA AS/RS .....	104
3.4.1	<i>Concepto general</i> .....	104
3.4.2	<i>Tipo</i> .....	105
3.4.3	<i>Configuración del sistema</i> .....	106
3.4.4	<i>Diseño del AS/RS como sistema</i> .....	107
3.4.5	<i>Árbol de conceptos</i> .....	122
3.4.6	<i>Evaluación de concepto</i> .....	126
3.4.7	<i>Concepto final</i> .....	126

3.5	DISEÑO DE LAS PARTES .....	127
3.5.1	<i>Anaquelel</i> .....	128
3.5.2	<i>Máquina de almacenamiento y retiro</i> .....	129
3.5.3	<i>Punto de entrada y salida</i> .....	129
3.5.4	<i>Pasillo</i> .....	129
3.5.5	<i>Unidad de control</i> .....	133
<b>CAPÍTULO 4. DISEÑO A DETALLE</b>		<b>136</b>
4.1	ANÁLISIS ESTÁTICOS .....	137
4.1.1	<i>Anaquelel</i> .....	139
4.1.2	<i>Máquina de almacenamiento y retiro</i> .....	147
4.1.3	<i>Pasillo</i> .....	155
4.1.4	<i>Unidad de control</i> .....	159
4.2	MOVIMIENTO DEL AS/RS .....	161
<b>CAPÍTULO 5. AS/RS FINAL</b>		<b>165</b>
5.1	CARACTERÍSTICAS DEL AS/RS DISEÑADO .....	165
5.2	ANAQUELEL .....	168
5.3	PUNTOS DE ENTRADA Y SALIDA .....	170
5.4	MÁQUINA DE ALMACENAMIENTO Y RETIRO .....	171
5.5	PASILLO .....	173
5.6	UNIDAD DE CONTROL .....	175
5.7	PLANOS GENERALES.....	177
5.8	TRABAJO A FUTURO .....	178
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES</b>		<b>180</b>
<b>CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>183</b>
<b>CAPÍTULO 8. ANEXOS</b>		<b>189</b>

8.1	ANEXO 1: ENTREVISTA A MECALUX .....	189
8.2	ANEXO 2: ENTREVISTA A STOCKIN .....	190
8.3	ANEXO 3 ENTREVISTA A OKUMA .....	194
8.4	ANEXO 4 ENTREVISTA A BAFAR .....	198
8.5	ANEXO 5: ENTREVISTA AL M.C. MILTON CARLOS ELÍAS ESPINOZA.....	202
8.6	ANEXO 6: TABLA DE CARACTERÍSTICAS DE PRODUCTOS COMPETENCIA.....	204
8.7	ANEXO 7: TABLA COMPARATIVA DE AS/RS EN LA INDUSTRIA Y EN LA EDUCACIÓN .....	206
8.8	ANEXO 8: TABLA DE NECESIDADES, REQUERIMIENTOS GENERALES Y REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS .....	208
8.9	ANEXO 9: NORMATIVA RELACIONADA CON EL PROYECTO .....	214
8.10	ANEXO 10: TABLAS PARA LA DETERMINACIÓN DE DIMENSIONES DE UNIDAD DE CARGA .....	218
8.11	ANEXO 11: TABLAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL SISTEMA AS/RS .....	219
8.12	ANEXO 12: DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL AS/RS .....	220
8.13	ANEXO 13: RECOPIACIÓN TEÓRICA SOBRE LOS ACCIONADORES: MAPA MENTAL.....	223
8.14	ANEXO 14: TABLA COMPARATIVA DE VENTAJAS, DESVENTAJAS Y CARACTERÍSTICAS DE MECANISMOS DE ACCIONAMIENTO .....	225
8.15	ANEXO 15: CÁLCULOS DERIVADOS DE LOS MECANISMOS DE ACCIONAMIENTO POSIBLES (CÁLCULO DE TORQUE E INERCIA) .....	228
8.16	ANEXO 16: NÚMERO DE COMBINACIONES DE CONCEPTO POSIBLES .....	229
8.17	ANEXO 17: CONSIDERACIONES PARA LA APROXIMACIÓN DEL PRESUPUESTO.....	230

# Índice de Figuras

FIGURA 1 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS AS/RS EN UNA PLANTA INDUSTRIAL.....	30
FIGURA 2 PARTES DEL SISTEMAS AS/RS EN UNA PLANTA INDUSTRIAL.....	32
FIGURA 3 ANAQUELES DE LA EMPRESA MECALUX.....	42
FIGURA 4. ILUSTRACIÓN DE LA CABINA VOLADA CON VISTA A LOS ANAQUELES.....	48
FIGURA 5. VISTA AL INTERIOR DEL ALMACÉN DE BAFAR DESDE LA CABINA VOLADA.....	49
FIGURA 6. VISTA DEL PUNTO DE ENTRADA DE LAS UNIDADES DE CARGA.....	50
FIGURA 7. PARTES DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y RETIRO AUTOMÁTICO PARA FINES DIDÁCTICOS DEL ITESM CAMPUS XOCHIMILCO. ....	51
FIGURA 8 INFLUENCIA Y CATEGORIZACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.....	68
FIGURA 9 DIAGRAMA DE SECUENCIAS DE QFD REALIZADOS. ....	84
FIGURA 10 EL ANÁLISIS DE UN SISTEMA TÉCNICO DESARTICULADO EN ENSAMBLAJES Y COMPONENTES. ....	93
FIGURA 11 EL SISTEMA TÉCNICO DEL AS/RS DESARTICULADO EN ENSAMBLAJES Y COMPONENTES .....	94
FIGURA 12 LA APROXIMACIÓN SISTÉMICA AL ANÁLISIS DE UN SISTEMA TÉCNICO, VISTO COMO UNA TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA, MATERIALES E INFORMACIÓN (SEÑALES). ....	95
FIGURA 13 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DEL AS/RS .....	96
FIGURA 14 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS NECESARIOS PARA EL ALMACENADO DE ARTÍCULOS EN EL AS/RS .....	103
FIGURA 15. DIMENSIONES GENERALES DEL DISEÑO DE SOPORTE FLEXIBLE ELEGIDO.....	111
FIGURA 16: APROXIMACIÓN DE DIMENSIONES Y DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS.....	112
FIGURA 17 DIAGRAMA DE ÁRBOL DE CONFIGURACIONES DE PARTES PARA LA GENERACIÓN DE CONCEPTOS DE AS/RS.....	123
FIGURA 18 DISTRIBUCIONES ELEGIDAS.....	124

FIGURA 19 DIAGRAMA DE ÁRBOL DEL BOCETAJE DE DISEÑO DEL ANAQUEL .....	128
FIGURA 20 DIAGRAMA DE ÁRBOL DEL BOCETAJE DE DISEÑO DE LA MÁQUINA DE ALMACENAMIENTO Y RETIRO .....	130
FIGURA 21 DIAGRAMA DE ÁRBOL DEL BOCETAJE DEL DISEÑO DEL PUNTO DE ENTRADA/SALIDA .....	131
FIGURA 22 DIAGRAMA DE ÁRBOL DEL BOCETAJE DEL DISEÑO DEL PASILLO.....	132
FIGURA 23 DIAGRAMA DE ÁRBOL DEL BOCETAJE DE LA UNIDAD DE CONTROL.....	134
FIGURA 24 SECUENCIAS DE MODELOS DESARROLLADOS DEL SISTEMA AS/RS DISEÑADO....	136
FIGURA 25 PARTES DEL SISTEMA AS/RS DISEÑADO .....	137
FIGURA 26 ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA LENGÜETA DE APOYO .....	140
FIGURA 27 BAHÍA DE ALMACENAMIENTO. ....	141
FIGURA 28 ANÁLISIS DE LAS BAHÍAS DE ALMACENAMIENTO. ....	142
FIGURA 29 ANÁLISIS ESTÁTICO DE LAS COLUMNAS DE APOYO.....	144
FIGURA 30 ANÁLISIS ESTÁTICO SOBRE LA COLUMNA INFERIOR .....	146
FIGURA 31 PARTES DE LA MÁQUINA DE ALMACENAMIENTO Y RETIRO .....	147
FIGURA 32 ANÁLISIS ESTÁTICOS SOBRE DISTINTAS VERSIONES DEL EFECTOR FINAL Y SUS RESULTADOS.....	149
FIGURA 33 ANÁLISIS ESTÁTICO SOBRE LA GUÍA LINEAL REDONDA EN Z. ....	150
FIGURA 34 ANÁLISIS ESTÁTICO SOBRE EL TESTERO DEL CUERPO DE MOVIMIENTO VERTICAL, AISLADO. ....	151
FIGURA 35 ANÁLISIS ESTÁTICO SOBRE EL TESTERO DEL CUERPO DE ALMACENAMIENTO Y RETIRO. ....	152
FIGURA 36 CUERPO DE MOVIMIENTO VERTICAL CON LOS ACCIONADORES, GUÍAS LINEALES Y EL EFECTOR FINAL. ....	153
FIGURA 37 ANÁLISIS DE LAS COLUMNAS DE APOYO.....	154
FIGURA 38 ANÁLISIS DEL TESTERO INFERIOR DEL CUERPO DE MOVIMIENTO HORIZONTAL. ....	155
FIGURA 39 ANÁLISIS ESTÁTICO DEL CAJÓN DEL PASILLO .....	158

FIGURA 40 UNIDAD DE CONTROL ANALIZADO.....	159
FIGURA 41 ANÁLISIS DEL SOPORTE DEL GABINETE DE CONTROL.....	160
FIGURA 42 DISPOSICIÓN DE MOTORES EN EL AS/RS DISEÑADO.....	161
FIGURA 43 VISTA FRONTAL DEL MOVIMIENTO A LO LARGO DEL EJE X Y DEL EJE Y.....	162
FIGURA 44 VISTA EN PERSPECTIVA DEL MOVIMIENTO EN Y.....	162
FIGURA 45 VISTA LATERAL DEL MOVIMIENTO EN Z.....	162
FIGURA 46 VISTA EN PERSPECTIVA AL DEL MOVIMIENTO EN Z.....	163
FIGURA 47 MOVIMIENTO DE APERTURA DE VENTANA DE ACCESO AL ANAQUEL.....	163
FIGURA 48 MOVIMIENTO DE VENTANA DEL GABINETE DE CONTROL.....	164
FIGURA 49 VISTA FRONTAL DEL SISTEMA AS/RS DISEÑADO.....	165
FIGURA 50 VISTA LATERAL Y POSTERIOR DEL SISTEMA AS/RS DISEÑADO.....	166
FIGURA 51 VISTA ISOMÉTRICA DE LA PROPUESTA FINAL.....	166
FIGURA 52 ANAQUEL DISEÑADO .....	168
FIGURA 53 COLUMNAS DEL AS/RS.....	169
FIGURA 54 ELEMENTOS DE UNIÓN PARA LA ESTRUCTURA DEL ANAQUEL. ....	170
FIGURA 55 DIFERENTES CONFIGURACIONES PARA EL PUNTO DE ENTRADA Y SALIDA .....	171
FIGURA 56 MÁQUINA DE ALMACENAMIENTO Y RETIRO DISEÑADO.....	172
FIGURA 57 PARTES DE LA MÁQUINA DE ALMACENAMIENTO Y RETIRO.....	172
FIGURA 58 PASILLO DISEÑADO .....	173
FIGURA 59 IVT – ABK LINEAR RAIL, DE <i>PBC LINEAR</i> ELEGIDO PARA EL PASILLO.....	174
FIGURA 60 UNIDAD DE CONTROL DISEÑADO.....	175
FIGURA 61 UNIDAD DE CONTROL DISPONIBLE AL USUARIO Y AJUSTABLE.....	176

# Índice de Tablas

TABLA 1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y METAS. ....	16
TABLA 2. INTERVENCIÓN DE PARTES Y FUNCIONES DEL SISTEMA AS/RS DURANTE EL VIAJE DE UN OBJETO.....	35
TABLA 3. SÍNTEISIS DE COMPARACIÓN DE AS/RS EN LA INDUSTRIA Y EN LA EDUCACIÓN.....	55
TABLA 4. DIFERENCIAS ENTRE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO AUTOMÁTICO INDUSTRIALES Y SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO PARA FINES DIDÁCTICOS. ....	61
TABLA 5. LISTA DE NECESIDADES DEL USUARIO .....	66
TABLA 6. QFD DE NECESIDADES-REQUERIMIENTOS GENERALES DEL SISTEMA .....	86
TABLA 7. QFD DE REQUERIMIENTOS GENERALES- REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS DEL SISTEMA AS/RS.....	88
TABLA 8.RESUMEN DE QFD DE NECESIDADES-REQUERIMIENTOS GENERALES DEL SISTEMA	90
TABLA 9. RESUMEN DE QFD DE REQUERIMIENTOS GENERALES- REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS DEL SISTEMA .....	91
TABLA 10. DECISIONES DE DISEÑO PARA LA CONFIGURACIÓN DEL AS/RS .....	106
TABLA 11. DECISIONES DE DISEÑO DE CONTROL PARA LA CONFIGURACIÓN DEL AS/RS .....	107
TABLA 12.ACCIONADORES USADOS POR CADA AS/RS EN LOS DISTINTOS EJES DE MOVIMIENTO.....	115
TABLA 13. INCIDENCIAS DE TIPOS DE ACCIONADORES USADOS EN LOS AS/RS.....	116
TABLA 14.CUADRO DE ELECCIÓN DE ACCIONAMIENTOS POSIBLES PARA CADA EJE DE MOVIMIENTO.....	117
TABLA 15.VALORES PARA LA SELECCIÓN DEL MOTOR EN EL EJE “Z” .....	118
TABLA 16.VALORES PARA LA SELECCIÓN DEL MOTOR EN EL EJE “Y” .....	119
TABLA 17. VALORES PARA LA SELECCIÓN DEL MOTOR EN EL EJE “X” .....	120
TABLA 18. MOTORES POSIBLES .....	121
TABLA 19. DESCRIPCIÓN DE LOS CONCEPTOS AS/RS GENERADOS .....	125

TABLA 20.EVALUACIÓN DE LOS CONCEPTOS AS/RS GENERADOS .....	126
TABLA 21.DIMENSIÓN DE LA UNIDAD DE CARGA PARA LOS ANÁLISIS ESTÁTICOS. ....	138
TABLA 22. MATERIALES USADOS EN LA LENGÜETA DE APOYO.....	139
TABLA 23. PESOS DE LOS MOTORES SELECCIONADOS .....	156
TABLA 24. MATERIALES USADOS EN EL GABINETE DE CONTROL .....	159

## Capítulo 1. Aspectos preliminares

La Revolución Industrial que comenzó a finales del siglo XVIII en Inglaterra fue uno de los cambios más dramáticos que ha experimentado la humanidad y ha conformado nuestra actual sociedad moderna.

La automatización y mecanización de las industrias provocó que la sociedad evolucionara de una economía agrícola y artesanal, a otra caracterizada por procesos de fabricación de bienes a gran escala. El cambio influyó en los volúmenes de producción; de volúmenes pequeños y medianos a grandes, capaces de abastecer la creciente demanda global. Como consecuencia, cambiaron las necesidades de los almacenes, los cuales fueron guardando cada vez mayores unidades de materias primas, herramientas y productos terminados. Ello resulta en un aumento en la complejidad de administrar y ordenar almacenes que manejan tan altas y crecientes cantidades de productos, pues incrementa el porcentaje de error provocado por el personal de las bodegas.

Los Sistemas de Almacenamiento Automatizado surgen la necesidad de reducir el factor humano en el manejo de materiales, para disminuir las probabilidades de error y aumentar la eficiencia en el ordenamiento y la administración de dichos almacenes industriales. (Roodbergen, K.,2008:1)

En paralelo con el desarrollo de estos sistemas, surge una necesidad de capacitar a ingenieros para que tengan la habilidad de manejarlos. Ésta es la problemática que aborda la presente tesis.

El capítulo 1 declara las raíces de la investigación a desarrollar. Introduce al lector a la problemática por abordar y presenta la forma en que se desarrollará el proceso de investigación y de diseño. El capítulo 2 exhibe los antecedentes y profundiza en el problema planteado. Se hace una investigación documental y de mercado sobre los sistemas AS/RS en la industria y en la educación y finaliza con las necesidades del usuario y el cliente.

El capítulo 3 expone la información obtenida de los procesos de investigación de campo, investigación documental y la de mercado, concluyendo con la lista de características y necesidades del usuario y del cliente.

El capítulo 3 y 4 documentan el proceso para obtener el diseño del sistema de almacenamiento y retiro automático cuyo resultado se expone en el capítulo 8.

Por último, el capítulo 5 relata las conclusiones y proyecta el trabajo a futuro que admite y requiere el producto final realizado.

## **1.1 Planteamiento del problema**

Existe la tendencia de automatizar los procesos de producción para mejorar eficiencia y servicios, esto incluye el proceso de almacenar bienes en diversas etapas de la cadena de producción. Los sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación de materiales se han aplicado para diversos mercados, por ejemplo el alimentario, el de aparatos y equipos eléctricos, el automotriz, el aeronáutico e inclusive en bibliotecas.

En México, empresas creadoras de sistemas de almacenamiento automático como Mecalux y Stocklin, afirman que tienen problemas para encontrar capital humano capacitado para manejar este tipo de almacenes. Generalmente las empresas compensan esta falta con cursos intensivos de capacitación para sus ingenieros. (Hernández, S. & Hernández M., comunicación personal, Septiembre 03, 2013, y Roselló, J. comunicación personal, Agosto 23, 2013.

La capacitación de personal para el manejo de estos almacenes automatizados puede ser complicado por cuestiones de accesibilidad a la máquina. El jefe de almacén de Bafar, (comunicación personal, Octubre 10, 2013) apoya la noción de que la mejor forma de aprender a manejarlo es empíricamente, con un verdadero almacén automatizado. Esto es porque los volúmenes de producción, la complejidad de pedidos y variabilidad de bienes almacenados es más grande que con un modelo a escala. A pesar que ésta sea la mejor forma

de aprender, este método no es factible porque el acceso a los almacenes automáticos está restringido a personal autorizado y las empresas generalmente tienen impiden el uso del equipo a visitantes.

La segunda mejor opción es mediante el uso de modelos funcionales pequeños, donde se simulan los procesos. Es por esto que, en un intento de contrarrestar esta problemática de acceso a las maquinaria necesaria y tratando de estar en la vanguardia con las tecnologías de automatización, de logística y manejo de materiales, algunas universidades han implantado sistemas de este tipo. <sup>1</sup>

Esta opción es viable porque se pueden hacer ejercicios de automatización de procesos en un ambiente controlado y sin riesgos de pérdidas; sin requerir del espacio físico que normalmente ocupan y con un costo manejable. El que las instituciones de enseñanza tengan estos sistemas de almacenamiento favorece también a la investigación porque tanto alumnos como maestros pueden hacer simulaciones y desarrollar modelos que aborden cierta problemática y con la posibilidad de que sus resultados puedan ser extrapolados a AS/RS industriales.

En la Universidad Tecnológica de la Mixteca, dadas las exigencias de los nuevos planes de estudio y las recomendaciones de organismos certificadores, existe la necesidad de contar con un sistema abierto que facilite la investigación. Se ha considerado importante diseñar un sistema de almacenamiento automático AS/RS que complete una célula de manufactura flexible, ya que es parte del sistema de manejo y almacenado de materiales que interconecta los diversos componentes que conforman un FMS “*Flexible Manufacturing system*”(Groover, 2001).

---

<sup>1</sup> Entre las instituciones que los han incorporado se encuentra el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP) y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) en Monterrey y en varios de sus campus, tales como el del Estado de México (CEM), campus Santa Fe (CSF), el campus ubicado en Xochimilco (CCM) y el de Chihuahua.

Con esto los alumnos pueden obtener experiencia en la programación, configuración, operación y manejo de este tipo de sistemas; valorar las ventajas y desventajas; experimentar con las tecnologías empleadas; integrar los conocimientos adquiridos en diversas materias y así poder emplearlo como herramienta para el desarrollo y prueba de nuevas técnicas de manufactura, logística de producto y producción.

Sin embargo, según lo observado en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey en Monterrey (ITESM), los modelos actuales usados para fines didácticos presentan algunos problemas de diseño. El principal, es que los modelos de sistemas de almacenamiento no cumplen con los requerimientos del usuario por las siguientes razones: No se adaptan satisfactoriamente en el espacio y su programación es poco amigable con el usuario, como afirma el maestro Milton Carlos Elías Espinoza del ITESM campus CCM y CSF, (comunicación personal, 8 de Marzo de 2013). Se ha observado también, una falta de flexibilidad<sup>2</sup> en el sistema, razón por la cual se advierte cierta discrepancia entre estos sistemas y el contexto actual, ya que esta característica ha ido ganando protagonismo en las máquinas herramienta y celdas de manufactura durante los últimos años. Aunado a eso, los sistemas didácticos son usados con escasa frecuencia y ocupan espacio considerable durante su tiempo de inactividad.

Por estas razones, se ha detectado una disociación entre el sistema didáctico y los sistemas que prevalecen en el mercado, consecuentemente los egresados se encuentran incompetentes al entrar en contacto con el sistema de tipo industrial al momento de integrarse en el mundo laboral.

Ésta es la problemática abordada por la presente tesis. En su conclusión busca producir un concepto de sistema de almacenamiento y retiro automático para la Universidad Tecnológica de la Mixteca que disminuya la discrepancia entre los sistemas industriales y los

---

<sup>2</sup> Entendiendo como “flexibilidad” de un sistema a “la adaptabilidad a una amplia gama de ambientes posibles que pueda enfrentarse.” Krasa S.A & Pal S. S. (1990, 295-300).

sistemas didácticos, que se ajuste de manera más apropiada al laboratorio y que incluya los conceptos modernos de manufactura flexible. De esta manera, la universidad estará mejor equipado para preparar a futuros profesionales.

## 1.2 Objetivos

Diseñar la estructura física de un sistema de almacenamiento automático AS/RS para fines didácticos<sup>3</sup>, adecuado para la Universidad Tecnológica de la Mixteca, que sea física y funcionalmente parecido a los sistemas de almacenamiento automático que existen actualmente en las industrias.

La Tabla 1 muestra los objetivos específicos del proyecto y las metas proyectadas.

Tabla 1.

### Objetivos específicos y metas.

Objetivos	Metas
Describir conceptualmente y operativamente en qué consiste un AS/RS.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Realizar una investigación documental para recopilar y analizar información referente a:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Características de los diferentes AS/RS.</li> <li>○ Partes físicas que conforman a un AS/RS.</li> <li>○ Subsistemas que conforman a un AS/RS.</li> </ul> </li> </ul>
Analizar propuestas similares en la industria y en universidades mexicanas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Crear una lista de empresas que estén equipadas con AS/RS.</li> <li>● Elegir las empresas a visitar basándose en selección por conveniencia.</li> <li>● Identificar para cada caso, las características de los AS/RS.</li> </ul>

<sup>3</sup> El sistema se utilizaría para estudiar aspectos de su funcionamiento general, aplicaciones, control, procesamiento de datos, decisiones operacionales, estimaciones de tiempo de funcionamiento, diseño de estructuras y automatización de vehículos.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar un cuadro comparativo entre las características de los sistemas de las universidades y los sistemas de la industria, y con ello describir el grado de desfase entre lo que se enseña en las universidades y lo que se realiza en la industria.</li> </ul> <p>Construir un instrumento para la evaluación de las características morfológicas de las máquinas existentes.</p>
<p>Definir criterios para el diseño físico de un sistema de AS/RS adecuado para la docencia, investigación y prácticas en una universidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Con base en el reporte del análisis comparativo y la investigación documental, catalogar cuáles son las características más importantes de ambos tipos de sistemas y deducir las características deseables de un sistema de almacenamiento automático AS/RS para la docencia e investigación.</li> </ul>
<p>Definir las características estéticas y morfológicas que atraigan visualmente a los usuarios.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar un análisis morfológico de sistemas seleccionadas por conveniencia.</li> </ul>
<p>Conceptualizar el sistema de AS/RS para la Universidad Tecnológica de la Mixteca</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar la conceptualización considerando los criterios de diseño tanto a nivel físico como conceptual.</li> <li>Hacer una evaluación de las propuestas.</li> </ul>
<p>Realizar los planos constructivos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar los planos constructivos con ayuda de Solid Works.</li> <li>Definir criterios que inciden en el presupuesto.</li> <li>Recopilar información acerca de proveedores de materiales.</li> </ul>
<p>Realizar un modelo virtual del sistema AS/RS.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se apoyará sobre el software Solid Works para la realización del modelo digital.</li> <li>La aplicación de una herramienta de análisis de Solid Works.</li> <li>Redactar el reporte del análisis.</li> <li>Usar un instrumento para evaluar las características morfológicas de la propuesta.</li> </ul>

---

Proponer mejoras sobre el modelo virtual • Mejorar los problemas surgidos a partir del análisis realizado.

---

Nota. Fuente: Elaboración personal

### 1.3 Alcance

El proyecto abarca únicamente el diseño de la estructura física del sistema de almacenamiento tipo AS/RS, y dentro de este proceso, se obtendrá un modelo virtual<sup>4</sup> realizado en SolidWorks. Este modelo incorporará información sobre los posibles materiales que podrían ser utilizados para su elaboración.

Estará complementado con un análisis por elemento finito realizado en el programa de SolidWorks para poder sustentar cambios y mejoras sobre el diseño original, y obteniendo así un diseño consolidado y seguro.

El trabajo también abarca un alcance secundario: el valor estético del sistema. Éste será tomado en cuenta para la obtención del diseño pero no se realizará un estudio exhaustivo.

Las limitaciones del proyecto surgen a partir del mismo objetivo general de la propuesta: "Diseñar la estructura física de un sistema de almacenamiento automático AS/RS para fines didácticos, adecuado a para la Universidad Tecnológica de la Mixteca." Es necesario resaltar que el proyecto planeado no abarcará el diseño de ningún circuito eléctrico, motor o software; se restringirá a aplicar los posibles elementos existentes que saldrán a relucir en la investigación documental y en la investigación de campo previos a la fase de diseño. Esto se respeta también para la cuestión del HMI (*human machine interfaz*), donde se abarcarán únicamente las cuestiones ergonómicas y la interacción física del humano con la máquina, y no el desarrollo del software requerido para operar la misma.

---

<sup>4</sup>Se entenderá "modelo virtual" como la simulación de características básicas de un objeto realizado en un ordenador. Estas características básicas son forma, volumen, peso, materiales, el ensamblado de partes, la relación de unos cuerpos con otros, las uniones, etc, del objeto en cuestión.

Contextualizando el proyecto, éste será adecuado para el laboratorio de tecnología avanzada de manufactura en la Universidad Tecnológica de la Mixteca. El proyecto esta conceptualizado con miras a adaptar el actual laboratorio a un sistema de manufactura flexible, esto con el fin de hacer frente a las nuevas exigencias en el plan de estudios.

#### **1.4 Justificación**

En la actualidad se usan los sistemas de almacenamiento automático AS/RS para aumentar la calidad, el servicio de producción masiva, mejorar las decisiones administrativas, la seguridad, maximizar el uso del espacio dedicado para almacenar, ayudar en el registro de inventarios y de esta manera hacer frente al mercado actual dinámico y cambiante. Es un servicio que reduce los costos de mano de obra porque automatiza el ejercicio manual de guardar, recuperar, ordenar y administrar, disminuyendo el número de personal y porcentaje de error.

México tiene pronosticado un aumento en sus índices de producción industrial. Según el INEGI (*Instituto Nacional de Estadística y Geografía*) el PIB (*Producto Interno Bruto*) de la industria manufacturera aumentó en un 2.6% en el cuarto trimestre del 2012. Estos aumentos son en gran medida dados por la industria automotriz<sup>5</sup>, la industria aeronáutica<sup>6</sup> y la industria metalmecánica<sup>7</sup>; sectores que se encuentran en crecimiento en México.

Estos sectores de crecimiento en México impulsarán el desarrollo de la manufactura en el país lo que introduce una posible aplicación de los sistemas AS/RS, ya que en el contexto de

---

<sup>5</sup> El Economista (2012) anota que Carlos Ghosn, presidente mundial de Nissan, pronosticó que México será, antes del 2020, uno de los tres o cuatro mayores exportadores automotrices del mundo.

<sup>6</sup> La Secretaría de Economía (2012) afirma que la industria de manufactura aeronáutica en México ocupa el primer lugar en inversiones con 33 mil millones de dólares en el periodo 1990-2009. y lo considera como “el sector de mayor interés para invertir en el país”.

<sup>7</sup> Como observación, la industria metalmecánica crece como consecuencia de la industria automotriz y la industria aeronáutica, ya que están intrínsecamente involucrados.

la industria, la automatización de un proceso, incluyendo el proceso de almacenamiento, se justifica con el incremento de la productividad a largo plazo a través de alzas en el valor agregado incorporado en la producción. Dichos sectores de la industria requieren cumplir altos estándares de calidad, grado de fiabilidad, disponibilidad técnica y nivel de productividad. Córdoba, E. (2006, p. 201) cita a Metcalfe (1998) quien afirma que “el incremento de la productividad a largo plazo solo es sostenible a través de alzas en el valor agregado incorporado en la producción, es decir, de la relación producto/factores, entendido el producto como la innovación y los factores de eficiencia y productividad.” La automatización del manejo de materiales en estas industrias, y la aplicación de un AS/RS daría el valor agregado a la producción que requiere la industria para seguir aumentando su productividad.

Es posible deducir que en un futuro no muy lejano podrá darse un aumento en la demanda de recursos humanos que cumplan con la capacitación suficiente para manejar estos sistemas.

Parte de la importancia de este proyecto reside en apoyar el compromiso social de las universidades para preparar especialistas. Estas instituciones deben formar individuos competentes y capaces, ya que cuando egresan profesionales hábiles que se introducen al mercado laboral, se incrementa la producción e innovación de las empresas, lo que resulta en crecimiento económico y por lo tanto en bienestar social. Las universidades deben asegurarse de que sus alumnos aprendan los conocimientos requeridos durante su estancia en la institución.

Profundizando en el tema, podemos aludir a D. Mavrikios (2011:2), quien afirma que la carencia de ingenieros o “*blue collar workers*” con habilidades competentes en la industria es un factor importante que obstaculiza la innovación. Como consecuencia, afecta el crecimiento económico. Esta deficiencia es dada en parte, gracias a una brecha que existe entre lo que se aprende en las universidades y lo que se tiene que aplicar en la industria manufacturera. Gu, J., Goestchalckx, M. & Mc. Ginnis, L. (2009, 2), creen que más estudios de caso y herramientas computacionales para el diseño y operación (de almacenes) ayudarán a cerrar la brecha entre investigación académica y aplicaciones prácticas. A esto añadimos

que también no solo es importante hacer más estudios de caso, sino que las herramientas de educación se diseñen de una forma más parecida a los que existen en la industria.

Es importante hacer un sistema que busque fortalecer el conocimiento obtenido en las instituciones. Las simulaciones, demostraciones, y prácticas en ámbitos parecidos a la realidad son técnicas que afianzan los conocimientos adquiridos. Michell, G. (1989:54) afirma que el conocimiento debe ser vivido de la forma más plena, y esto se consigue yendo a la realidad, y en ella explorar, probar, experimentar todo de forma más práctica. Con el sistema de almacenamiento que se plantea realizar, se busca elaborar un nuevo ambiente fuera del esquema rígido y netamente teórico del salón. Con este nuevo ambiente existirá, según explicado por la teoría de Piaget, asimilación del nuevo entorno educativo por parte de los alumnos, y con los problemas reales que enfrentarán ellos con el sistema, sus mentes trabajarán bajo acomodación. Asegurando de esta manera que los alumnos aprendan lo necesario de manera efectiva.

El límite de este proyecto es únicamente elaborar el diseño físico del sistema de almacenamiento AS/RS propuesto. Para completarlo, se requeriría de esfuerzos y una colaboración multidisciplinaria de ingenieros en electrónica, mecatrónica, industrial y de software. Sin embargo, al realizar el proyecto, se contará ya con una base sólida para su elaboración y habilitación posterior. El hecho de realizar la estructura física del proyecto facilita parte del para los futuros colaboradores del AS/RS, ya que al realizar la estructura física se toman en cuenta diversos factores como las partes y dispositivos que la integrarán, la eficiencia, el espacio utilizado, los materiales, el tipo de AS/RS, la ergonomía y el HMI.

La realización del sistema, en caso de ser construido, también aportaría a la investigación y publicaciones realizadas por la universidad. Actualmente hay varias publicaciones donde experimentan con diversos aspectos de los AS/RS, generalmente con el objetivo de hallar nuevos métodos para maximizar el rendimiento del sistema. Por ejemplo, Hachemi K., Sari, Z. & Ghovali N. (2012) estudian las secuencias de solicitudes de órdenes de retiro en secuencias por ondas en un ciclo dual aunque también existen secuencias dinámicas de solicitudes de retiro estudiadas por autores como Han, MgGinnis, Shieh & White (1987). Roodbergen, K. (2008: 1) afirma que se han realizado estudios diversos en relación con

problemas de diseño y control. El autor, en su obra “*A survey of literature on automated storage and retrieval systems*” hace una compilación y una crítica a diversos escritos que tratan diferentes cuestiones de los sistemas de almacenamiento AS/RS. Como se puede ver, hay diversas áreas donde se permite todavía la experimentación e investigación para maximizar estos sistemas.

Por último, la idea del proyecto nació gracias al maestro Moisés Manzano Herrera quien respalda el desarrollo del mismo.

## **1.5 Metodología**

Se propone una adaptación de la metodología propuesta por Ulrich, K. y Eppinger, S. en el 2009, en su publicación “Diseño y Desarrollo de Productos” para el desarrollo del proyecto. Esta metodología sigue las siguientes etapas: fase 0: Planeación, fase 1: Desarrollo de concepto, fase 2: Diseño a nivel de sistemas, fase 3: Diseño a detalle y construcción de prototipo, fase 4: Pruebas y refinamiento, fase 5: Producto piloto.

Para esta tesis, se propone la siguiente ampliación de la metodología previamente mencionada:

### Fase 0. Planeación

1. Definición del problema
2. Elementos del problema
  1. Cliente
  2. Usuario
  3. Sistema AS/RS (en la industria y en las universidades)
3. Objetivos
4. Cronograma
5. Investigación

1. Investigación documental: formas, materiales, tipos de almacenes, funcionamiento, necesidades del cliente, y posibles necesidades del usuario, normativa relacionada.
2. Investigación de mercado: Benchmarking y listado de empresas que proveen almacenes AS/RS enlistando las especificaciones de sus productos. Investigar universidades ofrecen clases con sistemas AS/RS. Investigación de proveedores de posibles materiales para la realización del sistema AS/RS.
3. Investigación de campo: Entrevistas a usuarios y recopilación información de clientes y usuarios.

#### Fase 1. Desarrollo de concepto

1. Análisis de datos
  1. Análisis de usuario y cliente
  2. Aspectos Simbólicos
  3. Aspectos Semióticos
2. Definición de necesidades del usuario y del cliente
3. Definición de los requerimientos de diseño.<sup>8</sup>
4. Análisis mediante el método QFD (Despliegue de la función de Calidad)
5. Concepto producto

#### Fase 2. Diseño a nivel de sistemas

1. Diseño de subsistemas
  1. Palets
  2. Estantes
  3. Máquinas de almacenamiento y retiro
  4. Puntos de E/S

---

<sup>8</sup> Se usó una clasificación de requerimientos definidos por Pfeifer, M. (2009). En su obra “Materials enabled design”.

5. Área de control
2. Bocetos de diseño del sistema completo
  1. Mecánica
  2. Eléctrica-Electrónica
  3. Software/controlador
  4. Diseño físico ó Interfaz

Fase 3. Diseño a detalle y construcción de modelo virtual

1. Determinación de trayectorias, funciones, partes
2. Determinación de formas y medidas
3. Materiales, tecnologías

Fase 4. Pruebas y refinamiento

1. Estudios estáticos
2. Refinamiento de la propuesta de diseño

Fase 5. Modelo funcional final

# Capítulo 2. Antecedentes

## 2.1 Manejo de materiales

El Material Handling Institute of America (MHIA, 2012) define el concepto de manejo de materiales<sup>9</sup> como “...el desplazamiento, protección, almacenado y control de materiales y productos mediante procesos de manufactura, almacenado, consumo y eliminación.”

Es un proceso que engloba un rango amplio de equipamiento manual, semi-automático y automático para apoyar la logística que hace funcionar el suministro de la cadena de trabajo en el proceso de producción.

El equipamiento incluye máquinas de elevación y traslación como lo son grúas, transelevadores manuales y automáticos, AGV<sup>10</sup>, transportadores, bandas transportadoras, grúas aéreas, robots, rieles, equipamiento de identificación automática, equipamiento de control, anaqueles, equipamiento para empaques, para la selección de pedidos y para almacenado, entre otros.

La aplicación del manejo de materiales ayuda con varios aspectos de la producción:

- Asignación de recursos
- Planificación de la producción
- Gestión y control de inventario
- Entrega y atención al cliente
- Soporte post-venta y de servicio
- Predicción
- Mejora el flujo y gestión de procesos

---

<sup>9</sup> Los sistemas de manejo de materiales abrevian en la bibliografía como MHS por sus siglas en inglés “Material Handling Systems”.

<sup>10</sup> AGV: “*Automatic guided vehicle*”. Son vehículos guiados automáticamente.

La función que cumple el AS/RS dentro de los sistemas de manejo de materiales es el de almacenamiento y recuperación automatizado de artículos. Generalmente es aplicado conjuntamente con otros equipos para la operativa logística de una planta industrial. Esta unidad se encarga de retener y suministrar piezas en donde sean requeridas dentro del sistema de manejo de materiales a la vez que ajusta el inventario tanto en la entrada como en la salida de los artículos acopiados. (Meyers, F.E. & Stephens, M.P., 2005)

## **2.2 Almacenes**

La real academia española define al almacén como “ Edificio o local donde se depositan géneros de cualquier especie, por lo común, al por mayor.” Cabe mencionar que por lo general el término “almacén” es asociado con materias primas y bienes en proceso, mientras que el término “bodega” o “embodegado” es utilizado al guardado del producto terminado. Sin embargo, comúnmente se utilizan ambos términos como sinónimos. Una fabrica puede tener una o mas instalaciones de almacenes y/o bodegas (Sule, D.R., 2001).

Los almacenes han coexistido de forma paralela a la manufactura y ésta ha existido desde aproximadamente 5000 – 4000 a.C. Pero es hasta después de a Revolución Industrial, a finales del siglo XVIII en Inglaterra, que se desarrolló la mecanización y automatización de los procesos productivos. Esto provocó que la sociedad evolucionara de una economía agrícola y artesanal, a otra caracterizada por procesos de fabricación de bienes a gran escala.

Dicho cambio tuvo repercusiones en los volúmenes producidos de volúmenes pequeños y medianos a grandes, capaces de abastecer la creciente demanda global. Consecuentemente, cambiaron las necesidades de los almacenes: incrementó la cantidad de productos a acumular. Ello resultó también en un aumento en la complejidad de administrar y ordenar dichos acopios crecientes y masivos, pues incrementa el porcentaje de error provocado por el personal de las bodegas.

Es por esto que se fue buscando soluciones para reducir el factor humano en el manejo de materiales. La automatización de los almacenes industriales disminuye las probabilidades de error a la vez que aumenta la eficiencia en el ordenamiento y la administración de los sistemas.

Así es como surgen los Sistemas de Almacenamiento Automatizado, que a lo largo de los últimos sesenta años (Roodbergen, K.,2008) han ido evolucionando, aumentando su grado de automatización y complejidad.

### **2.3 Sistemas AS/RS**

“Un sistema de almacenaje AS/RS (*Automatic Storage and Retrieval System*) es un sistema de almacenamiento que ejecuta operaciones de almacenado y retiro con velocidad y precisión bajo un determinado nivel de automatización.” (Groover, 2008, p.321)

Un AS/RS automáticamente almacena o extrae una pieza o producto, lo transporta a donde sea requerido y ajusta el inventario al mismo tiempo que hace la operación. Son sistemas generalmente muy altos y tienen una alta capacidad de densidad de almacenado. (Meyers, F.R. & Stephens, M.P., 2005)

El primer AS/RS fue instalado en Europa en 1962 por la empresa Demag (Lerher, T. & Šraml, M., 2012). Se introdujo al mercado con el propósito de eliminar en un 70% el tiempo que era perdido en el retiro y almacenamiento manual, pues con cada operación, los intendentes tenían que caminar hasta los sitios de interés (Rashid, 2011).

Groover (1987) afirma que el almacenaje es una de las funciones de los sistemas de manejo de materiales (*Material Handling System*, MHS). Rashid (2011, 1) aporta que “las bodegas automatizadas con AS/RS de MHS juegan un papel importante para el almacenado y retiro de productos y partes para hacer frente a las demandas de la competencia global y fluctuaciones en el mercado.”

Estas bodegas integradas en la industria son controladas por computadora y cuentan con sistemas de transferencia de producto automatizados con el fin de almacenar, movilizar, transferir y administrar las materias primas y/o productos terminados. Son caracterizados por su alta precisión en la movilidad de los bienes, velocidad y seguridad. Además Aslam (2009) sustenta que son una solución que mejora los rendimientos de la empresa al perfeccionar la administración del inventario, mejorar la eficiencia de espacio al manejar mayores volúmenes de bienes en menor superficie de la planta, reducir costos de mano de obra, minimizar el error humano y pérdidas por robo y al beneficiar la eficiencia del manejo de los materiales y el control del inventario. Se puede afirmar que aumenta la calidad en el servicio a la vez que reduce el tiempo requerido para realizar las tareas de ordenar, guardar y proporcionar los bienes.

En comparación con los sistemas de almacenamiento no-automatizados, como indica Roodbergen (2008) los sistemas de almacenamiento automatizados ahorran en mano de obra, maximizan la utilización del espacio del suelo, aumentan la confiabilidad y reducen el porcentaje de error. La desventaja que tienen es el alto costo de inversión; aproximadamente \$8,031,800 USD (\$104,413,400 MXN) para un sistema AS/RS de cuatro pasillos, cuatro máquinas de almacenamiento/retiro, con 68 posiciones para palet, de doble posiciones y un área construida de 31 029 pies cuadrados (Zollinger,1999, p.15).

Actualmente los precios se han reducido. En México, el Ing. Marco Hernández (comunicación personal, Septiembre 3, 2013) encargado del departamento de ingeniería y servicios de la empresa Stöcklin, comenta que estos sistemas generalmente son rentables a partir de una capacidad para 3,000 tarimas, lo que equivale en espacio alrededor de 1200-1300 m<sup>2</sup> en superficie de uso. Un sistema estándar cuesta alrededor de 1 millón de USD(aproximadamente 13,087,000 MX), cuando se incluye la estantería autoportante y la obra civil.

Para valorar cuánto del presupuesto se le asigna a la automatización del proceso, el distribuidor autorizado en México de la empresa Mecalux, el Ing. Jacinto Roselló de la Peña (comunicación personal, Agosto 23, 2013) afirma que por una tarima de 40" x 48" con capacidad de carga de 1000 kg en su sistema de rack selectivo cuesta aproximadamente \$800

pesos MXN por tarima. Este sistema básicamente consta de estanterías y un formato de *picking* manual. Lo que para 3000 tarimas da un valor de \$2,400,000 MXN. Si se buscara automatizar el proceso de almacenado y retiro, considerando el presupuesto que dio el Ing. Marco Hernández, respondería al valor de \$10,600,000 MXN. Esto quiere decir que el 81% del presupuesto se gasta para automatizar el proceso de almacenado y retiro de los artículos.

Otro sistema parecido es el AMPS – C de la empresa OKUMA y distribuido en México por Hemaq. Este sistema funciona como un buffer de operaciones que almacena; automáticamente retira y lleva a las estaciones de procesos a los productos en curso ó artículos WIP (*Work in Progress*) en cuestión. Este sistema cuenta con 12 a 24 bahías de almacenamiento y cuesta alrededor de \$500,000 USD. (Curz, A., Comunicación personal, 18 de Septiembre del 2013).

Son sistemas armónicos de ingeniería que deben tomar en cuenta en su diseño conocimientos eléctricos, mecánicos, electrónicos y computacionales (Rashid, 2011).

### **2.3.1 Aplicación**

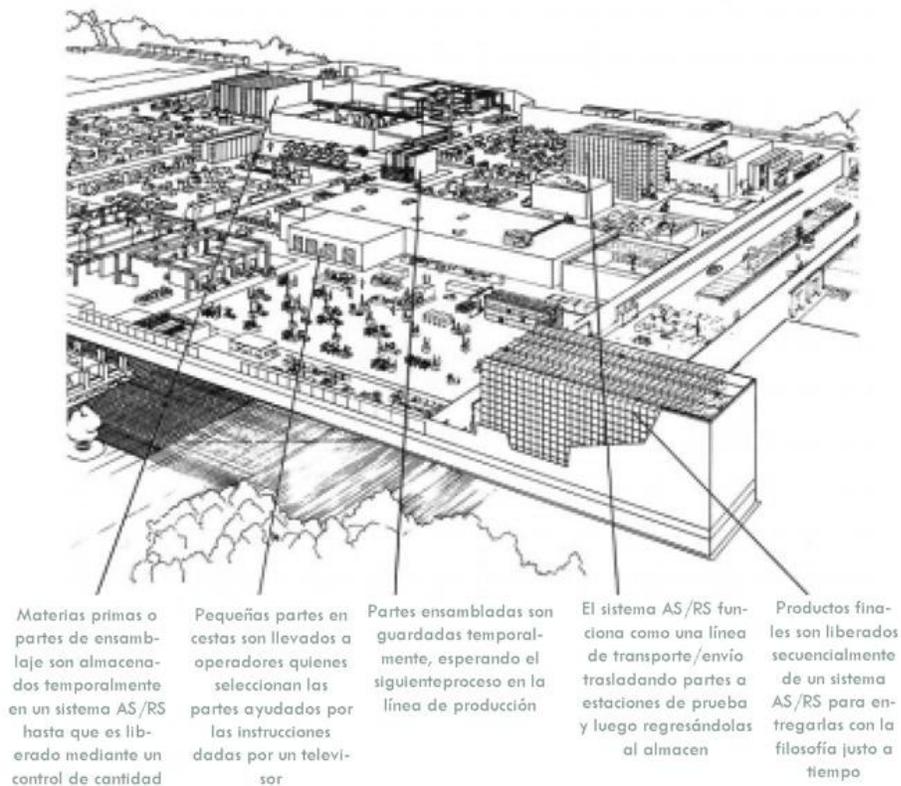
El AS/RS es básicamente un elemento de un sistema de manejo de materiales automatizado, pero juega un papel vital dentro del MHS “*Material Handling System*” y en la rentabilidad del sistema dentro la fábrica o centro de distribución. Se aplica al manejo y almacenamiento de casi cualquier material que está siendo manufacturado en una fábrica convencional. (“Enhancing asset management and profitability with automated material handling systems”, s.f.). Éstas pueden ser materias primas, bienes terminados, herramientas, piezas de repuesto, partes compradas, partes no terminadas del proceso de producción, bienes de oficina y archivos, entre otros. (Groover, 1987)

Groover (1987) identifica tres usos distintos:

- Almacenamiento y recuperación de unidades.
- Recuperación de pedidos.
- Artículos de almacenaje *WIP (work in progress)*

Un buen sistema AS/RS coordina los tiempos de operación con los demás procesos del ambiente industrial en el que está inserto puesto que la fábrica no puede detener su línea de producción para esperar al AS/RS.

El sistema AS/RS puede utilizarse en diversas partes de la planta industrial. La figura 1 muestra gráficamente algunas de las zonas en donde su puede aplicar el sistema y algunas aplicaciones.



**Figura 1 Aplicaciones de los sistemas AS/RS en una planta industrial.**

Fuente: Material Handling Institute of America (s.f.) Enhancing asset management and profitability with automated material handling systems. (p. 7) Charlotte: Autor.

### 2.3.2 Partes

En cuanto a las partes físicas que lo conforman<sup>11</sup>, se identifican las siguientes: (Roodbergen K.J. & Vis I.F.A., 2008)

- Anaqueles. Los anaqueles, también conocidos como racks, son generalmente estructuras de metal con ubicaciones donde se dejan cargas, por ejemplo palets con productos terminados o en curso.
- Pasillos. Los pasillos son los espacios vacíos que hay entre los anaqueles y por donde pueden moverse las grúas.
- Grúas - Máquinas A/R. Las máquinas de almacenado y recuperación de materiales (Máquinas A/R) son grúas automatizadas que recogen, trasladan y entregan las cargas. Éste trabajo también lo puede realizar un sistema con vehículos AGVS (*Automated Guided Vehicle System*).
- Puntos de Entrada/Salida. Los puntos E/S (*o en inglés input/output-points*) son zonas donde son recogidos los objetos materiales que ingresan el sistema para ser almacenados y donde los mismos son recuperados después de haber estado reservados.
- Puntos de recuperación de piezas. Si están presentes, son posiciones donde se encuentran personas trabajando, las cuales retiran artículos individuales antes de que la caja o bandeja sea regresada al sistema.

A esta lista se le añade la unidad de control. Esta parte también es señalada por Meyers, F.E. & Stephen, M.P. (2005), quienes en su desarticulación lo nombran como “centro de control computarizado”.<sup>12</sup>

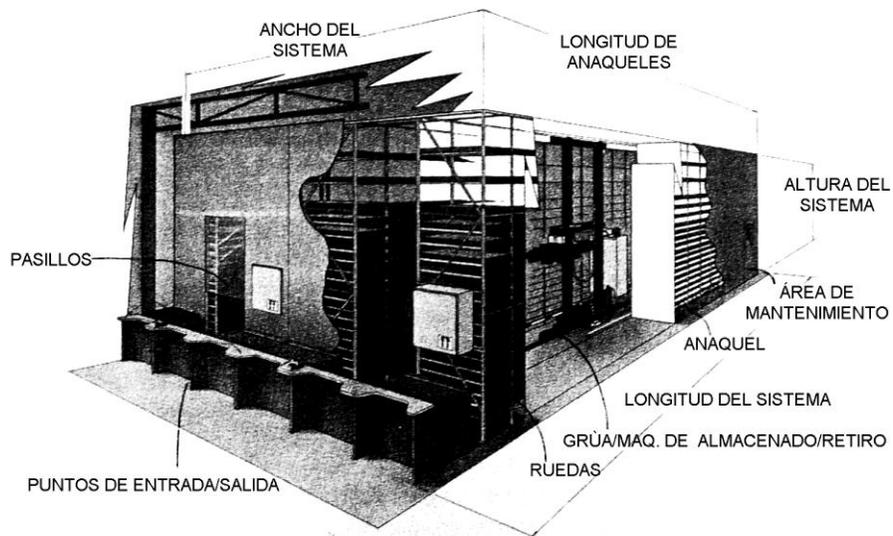
---

<sup>11</sup> Refiriéndose a “partes físicas” como las que ocupan un volumen en el espacio.

<sup>12</sup> Meyers, F.E. & Stephen, M.P. (2005) determinan que el AS/RS está compuesto por: anaqueles, carros eléctricos, puentes grúa, sistemas de transporte y centro de control computarizado. Este enlistado de partes considera los AS/RS modernos industriales.

- La unidad de control. Es el medio en el cual se pueden ingresar las órdenes que se desean ejecutar y donde puede ser monitoreado el sistema completo. El sistema incluye unidad de procesamiento (PLC, PC, monitores), variadores, transformadores, drivers y HMI. Cuando el sistema está inmerso en una línea de producción automatizada, la unidad de control se encuentra separada del sistema en sí, ya que debe coordinar el AS/RS con los demás procesos de la planta.

La figura 2 ilustra las partes del sistema AS/RS.



**Figura 2 Partes del sistemas AS/RS en una planta industrial.**

Fuente: Groover, 1987, p.10.

### 2.3.3 Funcionamiento

Como se ha mencionado anteriormente, la función principal del sistema es el almacenar y retirar artículos. La serie de operaciones se efectúan de la siguiente manera:

El objeto a almacenar, ya sea de forma de unidad de almacenaje (generalmente un palet con el objeto a almacenar) o conjunto de carga<sup>13</sup>, provenientes de otras áreas de la industria, llegan al punto E/S.

Por medio de una máquina de A/R (*Almacenado/Recuperación de materiales*), ya sea AGV o grúas, recogen y transfieren la carga a los estantes (*racks*) donde son almacenados un tiempo determinado hasta que sea necesaria su retiro, ya sea para la entrega a un cliente o por disposición de un material o herramienta necesario.

Si solo se necesita parte de conjunto de carga, entonces sucede la selección del objetos que puede llevarse a cabo de varias maneras:

La grúa o AGV puede llevar la carga a los puntos de selección, ubicada en un área distinta del almacén, donde trabajadores seleccionan manualmente los objetos para recuperarlos.

Si el sistema es fin-de-pasillo, el seleccionador automático retira los productos en el fin del pasillo, donde hay otra máquina que hace el trabajo.

Si la grúa es de sistema hombre a bordo, un personal a bordo de la máquina selecciona el objeto manualmente desde su punto de almacenado.

Si no se requiere una selección y en lugar de eso se necesita el conjunto de carga completo o una unidad de carga entonces la máquina de A/R hace la entrega de la unidad de carga en el punto entrada y salida (punto E/S). Al completar la operación, la máquina A/R regresa a su punto de partida, que puede ser el punto E/S u otro punto de ocio intermedio determinado por el operador para maximizar su eficiencia.

---

<sup>13</sup> Un conjunto de carga es una charola o bandeja que mantiene varios objetos diferenciables mientras. Una “unidad de carga” se refiere a la masa que será manejada.

Simultáneamente es necesario entender que para llevar a cabo sus tareas, el sistema de almacenamiento automatizado AS/RS está conformado por una serie de subsistemas interconectados que resuelven de manera apropiada las operaciones de almacenamiento y de recuperación de objetos.

Los sistemas funcionales, como le llamaremos en esta tesis, están estrechamente vinculadas con las partes que conforman al AS/RS ya que ellos operan, transmiten e interactúan sobre, entre y con las partes identificadas. Las partes identificadas a su vez constituyen el sistema físico. Para realizar las tareas, el sistema funcional utiliza los elementos del sistema físico para ir realizando los pasos necesarios para terminar una tarea.

Se ha hecho esta diferenciación de sistemas.

El sistema funcional se refiere a las diferentes operaciones que trabajan en conjunto para formar lo que es el sistema principal. Rashid (2011:1) los identifica como:

1. Sistema de lectura y ejecución de órdenes.
2. Sistema de transferencia entre puntos Entrada/Salida y anaqueles.
3. Sistema de localización y recuperación de unidades.
4. Sistema de registro y acomodo.
5. Sistema de empaque y envío.
6. Lista a la cual, añadiría el concepto de HMI.

El sistema de lectura y ejecución de órdenes es encargada de captar una orden dada por el usuario y de ejecutar la operación de almacenado o recuperación como corresponda. El sistema de transferencia de puntos E/S a anaqueles es el encargado, como dice el nombre, de llevar un objeto o palet desde el punto E/S a los espacios de almacenamiento del anaquel. Para transportar se utilizan grúas o máquinas de A/R guiadas por carriles o por cintas magnéticas, o sistemas de AGVS que pueden usar formas de comunicación inalámbrica. El sistema de transferencia de puntos E/S también está directamente vinculado con el sistema de lectura y ejecución de órdenes pues es mediante ésta que el sistema logrará completar la operación deseada. El sistema de localización y recuperación de unidades se refiere a las

grúas o AGVS que emplean un sistema de reconocimiento avanzado como código de barras o etiquetas RFID (*Radio Frequency Identification*) para localizar la unidad.

El sistema de registro y acomodo se apoya directamente en el sistema de lectura ya que registra cuáles son los racks ocupados y, mediante una forma automatizada y programable, asigna un espacio para un objeto nuevo. La HMI (*Human-Machine Interfaz*) se refiere a todos los elementos de comunicación contemplados en el sistema que permiten al usuario determinar cómo se usa. Por último, el sistema de empaque y envío, si existe, es el encargado de preparar los paquetes para el envío a los clientes y lugares deseados. No se considerará este sistema en la tesis porque es más útil en un ambiente logístico industrial que en plantas de pequeñas escalas.

Con el fin de profundizar el entendimiento de la interacción entre el sistema funcional (o subsistemas) y el sistema físico (partes involucradas), se elaboró la Tabla 2 que relaciona ambos aspectos con el recorrido que realiza un objeto dentro de un sistema de almacenamiento automático.

Tabla 2.

**Intervención de partes y funciones del sistema AS/RS durante el viaje de un objeto.**

	<b>Viaje del objeto</b>	<b>Sistema Físico</b> (parte involucrada)	<b>Sistema Funcional</b> (subsistema involucrada)
<b>ENTRADA</b>	Entra el objeto	Palets, puntos entrada/salida	
	El usuario ingresa una orden de guardado	Computadora o mando	Interfaz HMI, sistema de lectura y ejecución de órdenes
<i>Ejecución de una orden- GUARDADO</i>			

	Obtención de la pieza	Palet, grúa, punto de selección	Sistema de transferencia entre puntos Entrada/Salida y anaqueles
	Transferencia a anaquel	Pasillo, grúa, anaqueles	Sistema de transferencia entre puntos E/S y anaqueles
	Colocación en estantes	Palet, grúa, anaqueles	Sistema de registro y acomodo, sistema de transferencia entre puntos E/S y anaqueles, sistema de localización y recuperación, sistema de lectura y ejecución de órdenes.
	Fin de ejecución de orden	Grúa, puntos de selección, pasillo	sistema de transferencia entre puntos E/S y anaqueles
<b>ALMACENA -MIENTO DEL OBJETO</b>	El objeto queda almacenado hasta que se requiera	Anaqueles, palet	
<b>SALIDA</b>	El usuario o programa ingresa un comando de operación de retiro.	Computadora o mando	Interfaz HMI, sistema de lectura y ejecución de órdenes
<i>Ejecución de una orden- RETIRO</i>			
	La grúa va al estante donde se encuentra el objeto	Grúa, pasillos, anaquel	Sistema de transferencia entre puntos E/S y anaqueles, sistema de lectura y ejecución de órdenes
	Grúa identifica el estante en el que se	Grúa, anaquel	Sistema de transferencia entre puntos E/S y

encuentra		anaqueles, sistema de localización y recuperación.
Extracción del objeto del estante donde se encuentra	Grúa, palet	Sistema de transferencia de puntos de entrada/salida a estantes, sistema de registro y acomodo
Transferencia de estante a punto de entrada/salida	Grúa, pasillo, punto entrada/salida, palet	Sistema de transferencia puntos de E/S y anaqueles
Colocación en el punto de Entrada/Salida	Grúa, punto de entrada/salida	Sistema de transferencia puntos de E/S y anaqueles.
Fin de ejecución de orden	Grúa, pasillo, punto de entrada/salida	Sistema de transferencia puntos de E/S y anaqueles

Nota: Fuente: Elaboración propia

### 2.3.4 Configuración del sistema de almacenamiento automático AS/RS

Aprovechando las diferentes modalidades de sus elementos, existen varias formas de configurar el sistema AS/RS. La siguiente categorización identifica los componentes y conceptos involucrados en un AS/RS<sup>14</sup>:

---

<sup>14</sup> La clasificación de los componentes fue obtenida de múltiples referencias bibliográficas, ya que todos lo clasifican o mencionan de maneras ligeramente dispares.

#### 2.3.4.1 Cargas

Son las unidades a almacenar. Pueden ser contenidas en:

- Palets: es una charola donde se colocan los objetos a mover.
- Cestas : cesta o cubeta donde se colocan varios tipos de objeto.

Conceptos posibles:

- Unidad de carga: se refiere a la masa que será manejada o transferida en un tiempo determinado. Pueden ser distintas los objetos en los palets que se moverán.
- Conjunto de carga: se refiere a una charola con varios objetos |.

#### 2.3.4.2 Anaqueles

Según el acceso que tienen las grúas a ellos pueden ser clasificados en:

- Línea simple: quiere decir que todas las hileras están directamente accesibles a las grúas.
- Doble profundidad: cuenta con dos hileras de espacios para almacenar, una frente a la otra de tal modo que la máquina de almacenamiento y retiro solo tiene acceso directo a una hilera. Para acceder a la segunda hilera, la máquina tiene que remover primero el que está justo enfrente.
- Línea con profundidad: Una grúa por un lado coloca las cargas una después de la otra, por lo que sigue un orden *first-in-first-out* (el primero en entrar es el primero en salir). Al otro lado hay una grúa que se encarga de recuperar los pedidos. O se usan robots satélite para sacarlos.

Según movilidad de los estantes, se diferencian:

- Estáticos : los anaqueles no se mueven de lugar.
- Móviles : estantes sobre carriles.

- Carrusel (o rotatorio): es un sistema giratorio de los racks. Puede ser horizontal, vertical, sencillo o doble.

#### 2.3.4.3 *Grúas o Máquinas de Almacenado y Recuperación*

Grúas según el número de cargas que puede sostener:

- Transportador sencillo: la grúa maneja una única carga.
- Transportador doble: la grúa maneja dos cargas a la vez.
- Transportador múltiple: la grúa puede maniobrar dos o más cargas a la vez.

Otro tipo de grúas que se pueden usar:

- Vehículo Autónomo de Almacenamiento y Sistema de Recuperación (*Autonomous Vehicle Storage and Retrieving System*): se separa en movimiento horizontal y vertical. Las grúas se pueden mover mediante carriles en forma horizontal y la grúa se puede mover de forma vertical.

Numero de Grúas por pasillo :

- Cautivo en pasillo: “*Aisle-captive*” hay una grúa por pasillo.
- Grúa para varios pasillos: Una grúa es usada para varios pasillos. En estos casos se usa los puentes grúa que se encarga de cambiar a las grúas de pasillo.

#### 2.3.4.4 *Recuperación*

Según la forma de recuperación:

- Hombre a bordo: hay una persona trabajando sobre la grúa. Cuando la grúa se acerca al objetivo, el personal selecciona manualmente el objeto deseado.
- Puntos de selección: son espacios asignados donde las personas que trabajan allí hacen la selección de los materiales de forma manual.

- Fin-de-pasillo: hay un seleccionador automático que elige los objetos a sacar de la unidad de carga antes de regresar la carga de nuevo al sistema.

La forma más común de disponerlos es usando una configuración de línea simple, con unidad de carga y con la máquina de A/R cautivo en un pasillo. A partir de esta configuración se pueden variar los tipos utilizados. La selección de las configuraciones dependen del tipo y cantidad de productos a almacenar y de su integración con la industria. Por ejemplo: si la cantidad de objetos almacenados es alto, pero la actividad entre pasillos es baja, entonces se puede adaptar el sistema a una grúa por varios pasillos (Groover, 1987). Si se busca una rotación de inventario de tipo “*First-in first-out*” en un almacén cuyo volumen de productos es muy alto y su variaciones de producto bajo, se recomienda usar un anaquel de línea con profundidad. Este es el caso de muchos almacenes en la industria alimenticia (Groover, 2008). De lo contrario, si hay una gran rotación de producto, se puede mejorar el tiempo y rendimiento con un transportador doble, de esta manera el vehículo puede retirar un objeto en el mismo viaje que almacena otro. Se ahorra tiempo así porque el vehículo no tiene que regresar al punto E/S entre cada operación. Los sistemas que cuentan con un transportador múltiple son escasos. Si existe una gran cantidad de inventario, pero con una variedad de elementos a almacenar muy pequeña, los estantes con línea con profundidad es el modo más apropiado<sup>15</sup>.

## **2.4 Sistemas AS/RS en la industria**

Como parte de la investigación realizada, se aplicaron tres entrevistas a empresas proveedoras de sistemas de almacenamiento automático AS/RS en México. Éstas fueron: Mecalux, Stöcklin y Hemaq. (Anexo 1, 2, 3).

---

<sup>15</sup> El anexo 2 proporciona ilustraciones y fotos de estos tipos de configuración

A continuación, se expone una breve descripción del trabajo de cada empresa y las capacidades de sus sistemas. Posteriormente, se presenta una comparación entre los sistemas de estas empresas, analizando de esta manera las tendencias y necesidades que revelan para el proyecto de tesis.

#### **2.4.1 Mecalux**

Mecalux es una empresa dedicada al diseño y construcción de sistemas de almacenamiento automático. Es una de las mejores empresas dedicadas a este sector pues ocupa sexto lugar el ranking de las top 20 empresas proveedores de sistemas de manejo de materiales (King, R.L., 2012)

Mecalux se encarga de diseñar todos los elementos de los sistemas de almacenamiento que distribuyen, desde el almacén autoportante y los transelevadores hasta el software de WMS(*warehouse management system*). Se encargan de estudiar las plantas industriales de sus clientes y automatizan únicamente los procesos necesarios siempre considerando una posible expansión. Los sistemas de almacenamiento automático integrados son inversiones a largo plazo, son costosos y es por esto necesario poner especial atención en su tasa interna de retorno de inversión (TIR) y sus proyecciones a futuro.

Su modelo más vendido es el rack selectivo. Según los catálogos de la empresa, esta configuración de almacén es el más adecuado para una gran variedad de productos (SKU<sup>16</sup>). Presenta una flexibilidad de carga en términos de peso y volumen, máxima adaptabilidad, facilidad de control de stock. El anaquel es fácilmente montado y modificado gracias a su bastidor con puntal con estilo *teardrop* y sus diferentes capacidades de carga en los bastidores disponibles (Figura 3). La automatización del almacén es opcional y depende del transelevador o montacargas utilizado.

---

<sup>16</sup> SKU, por sus siglas en inglés de “Same Kind Unit”



**Figura 3 Anaqueles de la empresa Mecalux.**

Nota: Los bastidores con puntal teardrop permiten versatilidad de configuraciones y facilidad de instalación.

Fuente: Mecalux. (s.f.) Catálogo de producto: Rack Selectivo. (primera ed). Tijuana: Autor. (p.11-12)

El costo aproximado que maneja Mecalux es de aproximadamente \$800 pesos MXN por una tarima de 40” x 48” de 1500 mm de altura y que soporte 1000 kg.

La entrevista realizada al gerente general de Mecalux en México, Roselló, J. (Comunicación personal, Agosto 23, 2013) reveló que esta empresa brinda soluciones integrales diseñadas según las necesidades específicas de cada cliente. Procuran no automatizar procesos que no son necesarios para de esta manera reducir el costo del almacén y poner mayor atención a los procesos pueden optimizar la planta de producción o distribución.

## 2.4.2 Stöcklin

La empresa Stöcklin es una empresa de origen Suizo con sede en México dedicada a proveer soluciones de logística para las empresas. Sus productos abarcan montacargas operadas manualmente, transelevadores automáticos o manuales, y software de WMS (*warehouse management system*), mas no los anaqueles. Los estantes son realizados por otras empresas de obra civil con las que realizan contrataciones. Se entrevistó al director de operaciones y al encargado de ingeniería y servicios. Hernández, S. & Hernández M. (Comunicación personal, Septiembre 03, 2013)

Stöcklin realiza proyectos para empresas triple A. Sus clientes son empresas grandes con abarco internacional. En México han realizado muchos proyectos para empresas farmacéuticas, por ejemplo Aventis, Bayer, Roche. También han realizado proyectos en el ambiente de las empresas químicas como Firmenich<sup>17</sup>. También realizaron la segunda etapa del almacén automatizado de *La Costeña*, que contiene 61 mil 900 posiciones y posibilidad de manejar 150 mil toneladas por mes. Cuenta con 41m de altura. Es la instalación más grande de su tipo en Latinoamérica. (Huchim, S. P., 2011)

Los proyectos realizados por Stöcklin son llevados a cabo en tres fases. La primera fase, el diseño conceptual, la realizan los ingenieros Mexicanos; recolectan los requerimientos del sistema, hacen el contacto con el cliente y desarrollan y planifican un primer esbozo de lo que podría manejar el sistema. La fase de ingeniería básica es donde se desarrollan los diagramas de flujo, se determinan los modelos de las máquinas a usar, altura de estantes, ubicación y número de estaciones de selección, etc. En ésta fase colaboran los ingenieros de Suiza.

---

<sup>17</sup> Empresa suiza dedicada al la fabricación de perfumes y saborizantes para el sector de alimentación.

La tercera fase, de ingeniería a detalle, se realiza cuando ya se ha contratado a la empresa para realizar el proyecto y es cuando se desarrolla los planos a detalle y se procede a la construcción del almacén.

En Stöcklin, el modelo de transelevador más vendido es el modelo RBG-K, cuya capacidad de manejo de tarimas es de hasta 40 tarimas. Este transelevador sencillo puede ser de línea simple o doble profundidad y alcanza una altura máxima de 24m.

En cuanto al costo de sus modelos, calculan que los proyectos de almacenes automatizados sólo son rentables a partir de 3,000 tarimas, y estiman que un sistema estándar cuesta alrededor de 1 millón de USD, pero cuando se incluye la estantería autoportante y la obra civil sus clientes terminan invirtiendo aproximadamente 2 millones USD.

### **2.4.3 Hemaq**

Hemaq es una empresa distribuidora de soluciones integrales en máquinas herramienta. El modelo útil para los fines de esta tesis se llama Palletace-M y Palletace-C desarrolladas por Okuma. La entrevista fue realizada al el Ing. Alfredo Cruz, director de ventas.

Cruz, A.(Comunicación personal, Septiembre 18 del 2013) expone los modelos denominados AMPS (*Automated Modular Pallet System*). Estas máquinas proveen un almacenamiento temporal de piezas WIP (*work in progress*) para piezas destinadas a procesos de arranque de viruta. No es un sistema de almacenamiento AS/RS sin embargo, el catálogo de producto: AMPS que facilita Okuma (s.f) revela que tiene características en común con el AS/RS a desarrollar, por lo cual es útil analizar para los objetivos de esta tesis:

- Cuenta con un menor número de espacios de almacenamiento (desde 12 a 300 espacios).
- Dimensiones más reducidas.
- Flexibilidad del sistema.

- Integración automática con máquinas herramienta de arranque de viruta de control numérico.
- Se puede reubicar fácilmente en el caso que cambie la distribución de la planta.

El AMPS-C cuenta con cuatro partes principales: estación de cargado (equivalente a un punto de entrada y de salida), contenedor (anaqueles), gabinete de control y área de conexión con la máquina herramienta.

La flexibilidad de sistema es atribuido gracias a que el sistema es reconfigurable en cantidad y ubicación de máquinas herramienta (hasta cuatro), de estaciones de carga o de contenedores. Se ajusta a las demandas de producción y permite futuras expansiones.

Esta máquina cumple con el objetivo de reducir el tiempo perdido durante la operación de montaje de una pieza en la máquina herramienta, aprovechando así un mayor tiempo de trabajo del husillo. Es un sistema de manufactura flexible que optimiza el trabajo en planta, mejora tareas y facilita la implementación de la manufactura esbelta<sup>18</sup>.

El AMPS funciona de forma similar al AS/RS: Cuando se almacena una pieza WIP, la máquina dispone de ellas automáticamente y las monta sobre la máquina herramienta. Cuando el proceso termina, automáticamente regresa la pieza actual a su lugar e ingresa la siguiente pieza a procesar en la máquina herramienta. Cuando una pieza termina todos los procesos de maquinado necesarios, el transelevador extrae la pieza de su lugar y la coloca en la estación de cargado para que se pueda retirar.

Se pueden almacenar desde 12 hasta 300 piezas en tarimas (de plástico o de metal) de base cuadrada desde 400mm hasta 1000mm y una altura máxima de 1000mm. Admite una

---

<sup>18</sup> “Manufactura esbelta” viene del término en inglés “*lean manufacturing*” y se refiere a un modelo de gestión enfocado a “la adaptación de la producción en masa en la cuál trabajadores y células de trabajo son hechas más flexibles y eficientes por adoptar métodos que reducen desperdicios...” Groover (2001, p.833)

carga máxima por palet de 350kg, dependiendo del modelo adquirido y permite la instalación de hasta 10 máquinas herramientas y cuatro estaciones de carga.

Lo que distingue al *Automated Modular Palet System* del *Automated Storage and Retrieval System* es que el AMPS considera entradas para acoplarlo a los centros de maquinado (máquinas herramienta) además de la estación de entrada y salida. Esto permite que sea el mismo transelevador el que suministre los artículos WIP a las máquinas. En cambio, el AS/RS sólo tiene punto de entrada y salida (estación de entrada) que intercambia los artículos con una banda transportadora, ésta a su vez proporciona a las máquinas herramienta los artículos con los que trabajará. El AMPS opera como buffer de operaciones y por lo tanto estima que las piezas almacenadas ahí sólo se resguardan por poco tiempo.

## Bafar

Grupo Bafar es una empresa mexicana dedicada a la industrialización, distribución y comercialización de alimentos. Cuenta con 10 marcas propias maduras dirigidas a sectores de la salud y nutrición hasta embutidos económicos. Además cuenta con dos cadenas de autoservicio especializado en carnes rojas y posee su propia línea de exportación de embutidos.

Bafar cuenta actualmente con uno de los centros de distribución más grandes de América Latina completamente automatizado funcionando bajo la estrategia de producción JIT (*Just in Time*). El almacén central se encuentra en Chihuahua, Chihuahua, donde se realizó la visita. La empresa que proveyó su sistema de almacenamiento fue Schäfer. Esta empresa ha sido líder durante tres años consecutivos de proveedores de sistemas de manejo de materiales (King, 2014).

La entrevista realizada a esta empresa fue posible gracias al Lic. Darling César Patrón Reyes, encargado de Seguridad Patrimonial de la empresa, y se aplicó al Jefe del Almacén. (Anexo 4)

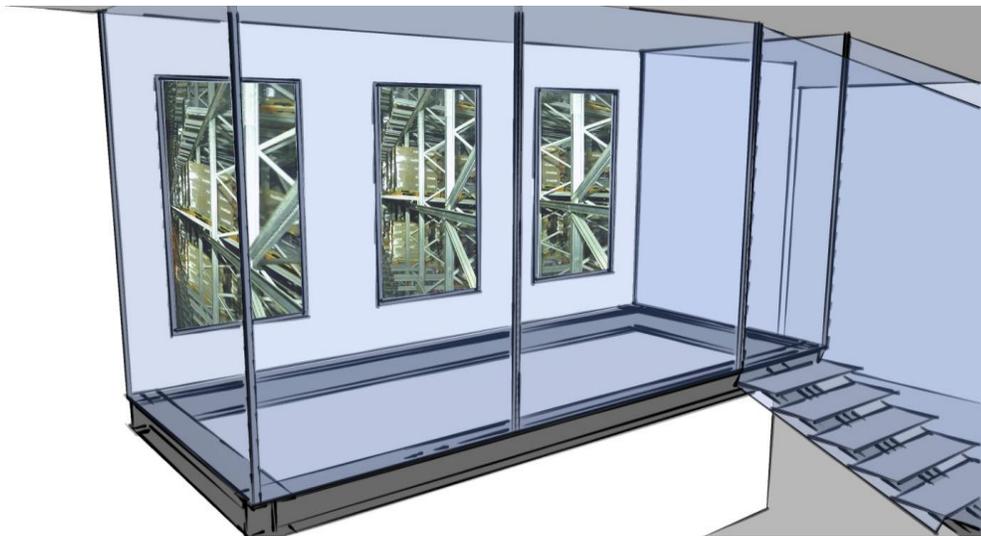
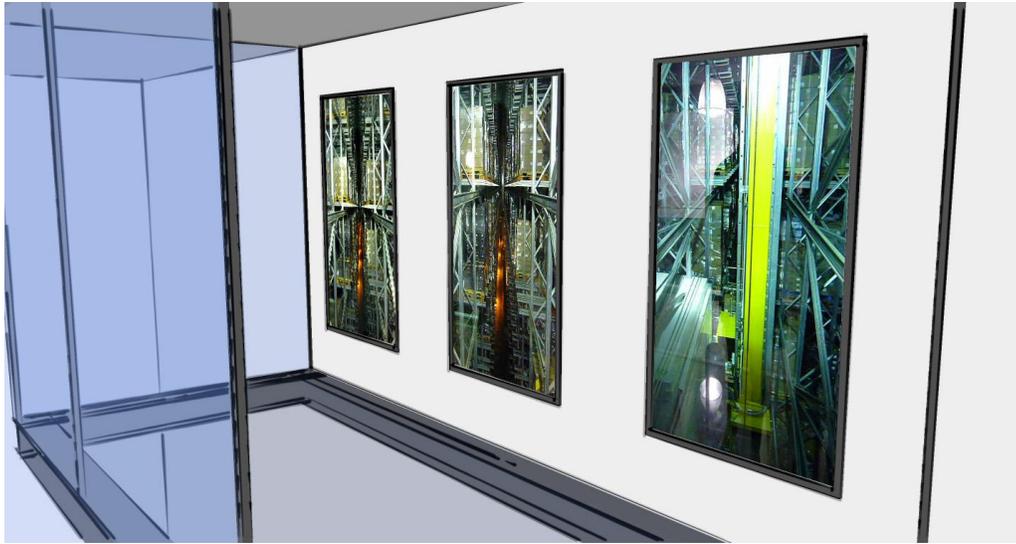
La relevancia de esta entrevista se otorga a dos objetivos. La primera es observar y anotar una aplicación real de los sistemas de AS/RS, su configuración, modo de operación y grado

de versatilidad. La segunda es el de obtener datos referentes a la formación y opinión del operador.

El sistema AS/RS que maneja Bafar almacena unidades de carga y cuenta con anaqueles estáticos de doble profundidad. Tiene 11 niveles de alto y 85 espacios de largo en cada pasillo. El transelevador es sencillo, cautivo en pasillo, cuenta con una entrada y una salida de bienes. También tienen un área de picking. Se maneja en entorno SAP y con WMS (*Warehouse Management System*).

Almacena productos lácteos, embutidos, carnes frías y congelados en dos secciones, una para los congelados que trabaja bajo temperaturas de  $-4^{\circ}\text{C}$  a  $-2^{\circ}\text{C}$  y otra para el resto de los productos que trabaja de  $0$  a  $-2^{\circ}\text{C}$ .

Es importante resaltar el hecho que también se ha cuidado el aspecto visual. Existe una zona de interacción entre operadores y visitantes con la máquina mediante el uso de una cabina de vidrio volada y una ventana que da al interior del almacén (Figura 4, Figura 5 y Figura 6). La cabina volada funciona no solo para ayudar a monitorear el trabajo de los transelevadores, pero provee una vista privilegiada del almacén. Además, viendo hacia el almacén desde la ventana, se utiliza iluminación directa en el primer plano para que se pueda tener una mejor visión sobre el transelevador a la vez que realza elementos de composición como equilibrio, predictibilidad, agudeza y opacidad y transparencia. La iluminación causa un efecto estético interesante: exalta el brillo de los materiales usados en los estantes y ayuda a acentuar la profundidad.



**Figura 4. Ilustración de la cabina volada con vista a los anaqueles.**

Nota: La cabina de vidrio está volado sobre la zona de selección y permite una vista al interior del almacén.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 5. Vista al interior del almacén de Bafar desde la cabina volada.**

Nota: Se observa luz directa que resalta el brillo de los materiales, mientras que se utiliza luz indirecta a lo largo del pasillo. Se observan elementos de composición como equilibrio, unidad, regularidad, ligereza. Fuente: Elaboración propia. (tomada con permiso del jefe del almacén)



**Figura 6. Vista del punto de entrada de las unidades de carga.**

Nota: El punto de entrada se acentúa con la aplicación del color azul en la banda transportadora. Fuente: Elaboración propia

## **2.5 Sistemas AS/RS en la educación**

### **2.5.1 Sistema AS/RS en el Tecnológico de Monterrey**

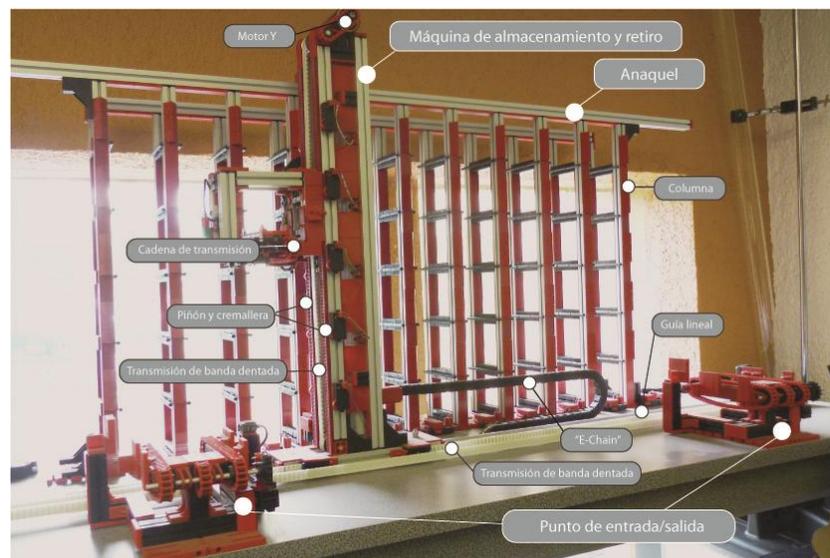
En el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Santa Fe (ITESM-CSF) en el Distrito Federal, se realizó una entrevista al maestro Milton C. Elías quien imparte clases de automatización de sistemas de manufactura y de sistemas integrados de manufactura a las carreras de ingeniería en mecatrónica e ingeniería industrial en dicha institución (Anexo 5). Se anotaron también observaciones sobre la máquina de almacenamiento y de retiro automático para fines didácticos que tienen ahí, además se obtuvo un registro fotográfico.

Como se observa en la Figura 7 el AS/RS que se usa para impartir las clases es un modelo pequeño. Tiene aproximadamente 900 mm x 350 mm x 400 mm. La máquina cuenta con diez columnas y cuatro hileras, conformando un total de cuarenta bahías estáticas de una sola profundidad de aproximadamente 60 mm x 65 mm x 60 mm cada uno. Tiene dos puntos

de entrada y salida, los cuales se pueden asignar de entrada o salida dependiendo de cómo lo programe el alumno.

Su máquina de almacenamiento y retiro realiza sus movimientos con bandas de transmisión. El movimiento horizontal “X” a lo del pasillo es accionado por una correa dentada de plástico con un motor al extremo y se desliza sobre una guía lineal plana de aluminio. Su movimiento vertical también es accionado por una correa dentada con un motor eléctrico colocado en la parte superior de la máquina y es guiado por dos rieles con el sistema de piñón y cremallera. La alimentación eléctrica de ambos movimientos es alojada en un “e-chain”. El movimiento en “Z” lo realiza con una cadena de transmisión de plástico.

En cuanto a la estética de este AS/RS, se ha observado que la repetición de los componentes, materiales y colores retrata cierta unidad visual. Las formas rectas horizontales y verticales son coherentes con su funcionalidad, así como el hecho que se ha mantenido expuestos los accionadores revelando la forma en que opera. Se logra distinguir que la disposición de los elementos es regular, predecible y reiterativo donde se puede. Las conexiones y uniones son precisas y pulcras lo que influye para emitir una imagen de excelencia.



**Figura 7. Partes del sistema de almacenamiento y retiro automático para fines didácticos del ITESM campus Xochimilco.**

Nota: Fuente: Elaboración propia, tomada con permiso del M.C. Milton, C. Elías

## 2.5.2 Sistema AS/RS de Festo, Amatrol e Intelitek

Los sistemas AS/RS con fines educativos son el producto competencia de esta tesis. El Anexo 6 muestra una tabla comparativa que enfrenta las características de estos AS/RS existentes en el mercado.<sup>19</sup> El objetivo de esta tabla es estudiar y comparar características específicas, que dadas la naturaleza del tipo de producto, no tienen los sistemas AS/RS en la industria previamente estudiados. De esta tabla se obtuvieron algunos requerimientos generales y un mayor número de requerimientos específicos.

Éstas máquinas o estaciones de trabajo están diseñadas para impartir los conocimientos necesarios para operar un AS/RS industrial y cuentan con marcadas diferencias con las AS/RS industriales. Las primeras son las más notorias: las dimensiones, capacidades carga y volumen de almacenamiento. Debido a que los cliente que las adquieren son instituciones educativas, se instalan dentro de un salón de clase o laboratorio, y por lo tanto, las dimensiones se atañen a las limitaciones físicas del espacio destinado. Naturalmente el costo también es apenas una fracción de lo que cuesta un AS/RS verdadero. Además los materiales, tipos de motores usados y mecanismos de accionamiento son diferentes, derivado del hecho que tiene capacidades de carga distintas.

Los AS/RS industriales generalmente se construyen de acero, mientras que en el área educativa se conforman por aluminio y plásticos. Aunado a esto, es importante notar que los sistemas de AS/RS en el ambiente educativo tienden a ser móviles y permiten cambiarlas de ubicación dentro del laboratorio. Esto porque son pequeñas y muchas están sobre una mesa o plataforma con llantas que facilita su desplazamiento. Sin embargo, no se pueden considerar flexibles porque no son capaces de "procesar distintos estilos de piezas simultáneamente en las distintas estaciones" (Groover, 2001, p. 463 ). Unos se limitan a simular los movimientos

---

<sup>19</sup>Existe una discrepancia con el tipo y cantidad de información que se puede conseguir de cada uno de estos sistemas. No todos los productos vienen descritos a fondo como hubiera sido preferible y muchos de los análisis se tuvieron que hacer en base a fotos; algunas de ellas de baja resolución, pequeñas y de una única vista impidiendo un análisis más amplio de los ejemplos disponibles.

y únicamente permiten la introducción de la pieza que fue diseñado para hacer ese recorrido particular. Este es el caso del *sistema Mechatronics Inventory Storage Station 87-MS7* de Amatrol, el sistema con el que cuenta el ITESM (previamente mencionado), el sistema de *5940-storage unit* de Labvolt y el AS/RS desarrollado por Imotec.

Cabe resaltar que existe un producto intermedio. Diseñado para ambientes tanto industriales como educativos, y con propósitos de investigación y enseñanza, Festo diseñó el iFactory y el MPS Transfer Factory (Festo Didactic GmbH & Co., 2014). Ambos son sistemas de módulos individuales y combinables entre sí que pueden funcionar de manera independiente o conjunta, con disposición y funcionalidad reconfigurable para la readaptación de diferentes escenarios de producción dentro de la misma célula de manufactura. Son controlados por una red inteligente descentralizada permitiendo su uso individual o en conjunto y pueden ser reconfigurados fácilmente, gracias a un sistema patentado de enrutamiento pasivo de piezas, sin conexiones o programación adicional.

Ambos productos son interesantes por su dualidad de entornos: industrial y didáctico (Festo, 2014). Son sistemas altamente flexibles pues facilitan la automatización de diferentes escenarios de producción de manera sencilla e intuitiva. El *MPS transfer factory* está equipado con un sistema de cables especial y elimina la necesidad de reconectar, entubar o de instalaciones adicionales cuando se está haciendo un cambio en la disposición. Los controles también tienen un diseño modular; todos los componentes de dichos controles están alojadas en gabinetes de control de cada célula.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> Usa controladores con redes Profinet o Profibus, componentes de ProfiSafe y componentes de accionadores tales como convertidores de frecuencia, contactores y servo controladores.

## 2.6 Análisis de resultados y comparación de datos

Para valorar las diferencias y similitudes entre AS/RS existentes en la industria y en la educación se realizó una tabla comparativa que enfrenta estos sistemas (Anexo 7). Esta tabla toma en cuenta características físicas que definen el *TIPO* de AS/RS, el sistema operativo con el que se manejan, y los sistemas de lectura que operan e ignoró las características físicas en cuanto a dimensiones, costos y tipos de motores. Los datos presentados en el Anexo 7 están sintetizados en la Tabla 3.

La tabla comparativa de AS/RS en la industria y en la educación ( Anexo 7 ) se llevó a cabo con el objetivo de determinar las características generales que debe llevar el AS/RS didáctico a diseñar para hacerlo más afín a los sistemas que están en funcionamiento hoy en día en el sector industrial. Estas características están identificadas en el renglón que contiene el título de “Características del sistema a realizar” y han sido catalogadas en dos variantes: básico y optimizado. Las características del último son las preferentes. Sin embargo, se prevé que no todas estas características se podrán realizar por el factor económico del proyecto. Es por esto que se optó por describir un modelo “básico”. Debido a como se ha ido desarrollando el proyecto, se ha determinado que de antemano se puedan realizar cambios fácilmente al sistema. Así que, aunque el modelo básico no contenga ciertas características que tiene el modelo “óptimo”, sí puede aspirar a ellas ya que estará diseñado para recibir estas actualizaciones de la forma más sencilla posible.

De manera indirecta, la tabla comparativas de AS/RS en la industria y en la educación también ayuda a reflejar las tendencias en el sector del manejo de materiales.

Comparando los datos se observaron algunas cuestiones de cada una de las partes físicas que constituyen al AS/RS. Éstas se explicarán a continuación por partes del sistema.

La tabla comparativa de AS/RS en la industria y en la educación ( Anexo 7 ) se llevó a cabo con el objetivo de determinar las características generales que debe llevar el AS/RS didáctico a diseñar para hacerlo más afín a los sistemas que están en funcionamiento hoy en

Tabla 3.

**Síntesis de comparación de AS/RS en la industria y en la educación.**

		ASRS en la industria (total: 8 modelos estudiados)	ASRS en la educación (total: 9 modelos estudiados)
Carga	unidad de carga	6	9
	conjunto de carga	2	0
	con pallet o sin carga	8	7 usan pallet de plástico o de metal y 2 introducen el objeto sin pallet
Anaquel	línea simple	7	8
	doble profundidad	5	0
	línea con profundidad	5	1
	estático	8	9
	Movil	3	0
	capacidad. Longitud de anaqueles	Todos son variables hasta cierto punto. Bafar ya no se puede expandir a lo largo, pero si a lo ancho	
	capacidad. Altura de anaquel	determinado por cliente	fijo
	dimensión de bahía (única o múltiple)	5 son múltiple	9 tienen una única dimensión de bahía
Máquinas de almacenamiento y recuperación de unidades	grados de libertad	7 tienen 3 grados de libertad.	7 tienen 3 grados de libertad.
	transelevador sencillo	8	9
	Transelevador doble	4	0
	Transelevador múltiple	1 cuenta con transelevador múltiple.	0
	Cautivo en pasillo	6 son transelevadores cautivos en pasillo y los otros 2 pueden o no serlo	9
	varias grúas por pasillo	2 tienen varias grúas por pasillo, 2 cuentan con sistemas adicionales para cambiar la grúa de pasillo, 1 usa un transelevador que carga varias tarimas a la vez.	0
Puntos de entrada/salida	Número de estaciones de entrada/salida	Seis de los productos presentan de dos a cuatro puntos de entrada/salida fijos. mientras dos se puede modificar.	Todas cuentan con uno a dos puntos de entrada/salida. Dos de ellos las tienen sobre una banda transportadora.
Unidad de control	interfaz/software	Algún tipo de WMS	-
	Sistema de lectura	La mayoría usa RFID o Código de Barras, los proveedores de ASRS generalmente se ajustan al que ya tiene la empresa.	Tres de ellos usan RFID, algunos usan switch de límite.

Nota: La tabla cuenta las incidencias sobre cuestiones de la configuración física que tuvieron los AS/RS en diferentes ámbitos. El total de AS/RS en la industria estudiados son 8. El total de AS/RS en la educación estudiados son 9. Fuente: Elaboración propia.

día en el sector industrial. Estas características están identificadas en el renglón que contiene el título de “Características del sistema a realizar” y han sido catalogadas en dos variantes: básico y optimizado. Las características del último son las preferentes. Sin embargo, se prevé que no todas estas características se podrán realizar por el factor económico del proyecto. Es por esto que se optó por describir un modelo “básico”. Debido a como se ha ido desarrollando el proyecto, se ha determinado que de antemano se puedan realizar cambios fácilmente al sistema. Así que, aunque el modelo básico no contenga ciertas características que tiene el modelo “óptimo”, sí puede aspirar a ellas ya que estará diseñado para recibir estas actualizaciones de la forma más sencilla posible.

De manera indirecta, la tabla comparativas de AS/RS en la industria y en la educación también ayuda a reflejar las tendencias en el sector del manejo de materiales.

Comparando los datos se observaron algunas cuestiones de cada una de las partes físicas que constituyen al AS/RS. Éstas se explicarán a continuación por partes del sistema.

### **2.6.1 Carga**

En ambos ámbitos de aplicación, tanto en la industria como en la educación, se usan unidades de carga. Sin embargo es diferente para cuando el artículo a almacenar es un conjunto de carga. En el medio industrial, tanto Mecalux como Stocklin proveen sistemas AS/RS para conjuntos de carga y cuentan con un transelevador diseñado específicamente para este objetivo. Sin embargo en el medio educativo ninguno lo usa. Por esto se considera que para optimizar el sistema, se pudiera aceptar conjuntos de carga. El tener un conjunto de carga posibilita aprender otro proceso que sería el *pick and sort*. Pero en esta etapa únicamente se queda como posibilidad más a considerar.

Aunado a esto, queda claro que se tendrá que poner el artículo a almacenar en un palet. Se ha mencionado anteriormente que unos AS/RS educativos se limitan a un objeto único sin palet. Esto los hace menos flexibles, porque solo aceptan una forma de objeto.

## 2.6.2 Anaquel

La solución más sencilla y económica es elaborar un anaquel de línea simple. Más aún, se valora la posibilidad de que en algún punto se pueda hacer de doble profundidad o hasta de línea con profundidad ya que todavía no hay mucha investigación académica para optimizar el diseño de AS/RS de profundidad doble o múltiple. Roodbergen, K.J., y Vis, I.F.A. (2009) en su sondeo de la literatura sobre sistemas de almacenamiento y retiro automático, resumen que la mayoría de las investigaciones son realizadas para determinar la disposición de un anaquel de línea simple y que en este contexto no se ha prestado atención a la capacidad de almacenamiento (de línea simple o de línea con profundidad) de los espacios de almacenamiento en sí. Esto implica que el tema está abierto para modelos analíticos, experimentales y de simulación que exploren y optimicen almacenes con este tipo de arreglo de anaquel, labor para la cuál podría ser útil el AS/RS a diseñar. La rotación de productos y secuenciación es notablemente diferente en un anaquel sencillo, uno doble y uno de línea con profundidad y vale la pena explorar las opciones.

El anaquel más común es el estático con una única dimensión de bahía. Durante esta fase de diseño, se queda por evaluar la opción de hacerlos móviles y/o de dimensiones de bahía múltiples. Comparando los AS/RS industriales y los AS/RS en aplicaciones didácticas, se observa que se presenta una mayor discrepancia en cuanto a que presentan múltiples dimensiones de bahía a que si cuentan con anaqueles móviles. En el caso de anaqueles móviles, solo tres AS/RS de aplicación industrial fueron registrados y ninguno de los AS/RS para sistemas educativos lo presenta. El caso de tener dimensiones de bahía múltiples, la diferencia es mayor ya que cinco de ocho de las AS/RS en la industria presentaron que tienen múltiples dimensiones de bahía mientras que en aplicaciones educativos todos se limitan a tener una única dimensión de bahía. En esta situación se tendría que evaluar el costo-beneficio de tener un AS/RS con anaqueles móviles y de dimensiones de bahía diferente, pero observando únicamente la diferencia se tiende a favorecer el diseño de un AS/RS de anaqueles estáticos pero con múltiples dimensiones de bahía para reducir la diferencia de los AS/RS industriales y los educativos.

### **2.6.3 Máquinas de almacenamiento y recuperación de unidades**

La máquina de almacenamiento y recuperación de unidades representa el 50% del gasto total de un sistema de almacenamiento automático <sup>21</sup>. Consecuentemente todos los encuestados usan un único transelevador sencillo, la mayoría cautivo en pasillo; aunque algunas de las empresas proveedores de AS/RS para aplicaciones industriales diseñan transelevadores dobles y dos de ellas también realizan transelevadores que pueden cambiar de pasillo. A pesar que Roodbergen, K.J., y Vis, I.F.A. (2009, p.349) afirmen que “poca investigación se ha realizado en la configuración de AS/RS con múltiples transelevadores aun cuando ya se han demostrado ser eficientes en términos de rendimiento.”, no se considerará hacer un AS/RS con dos o más transelevadores porque se prevé que el beneficio será muy reducido a comparación con el costo que representaría construir un AS/RS con dos máquinas. Por esta razón se define que el AS/RS por diseñar será más adecuado para la aplicación didáctica si se cuenta con únicamente un transelevador que si se cuenta con dos. Como se puede observar, ésta estrategia la han seguido todos los AS/RS para fines didácticos pues no se ha visto un AS/RS para fines didácticos con dos transelevadores.

### **2.6.4 Puntos de entrada/salida**

Generalmente todos los AS/RS en ambos ambientes presentan dos (hasta máximo cuatro) puntos de entrada y salida fijos. Los modelos “intermedio” de Festo, el iFactory y el MPS Transfer Factory son modelos que han aprovechado una banda transportadora como su punto de entrada y salida que ubican por debajo del sistema. Esto se ha observado en otros AS/RS industriales, pero no en los que fueron encuestados. Esta alternativa de configuración es interesante porque al aprovechar dos funciones en un componente del sistema se reducen las partes necesarias y el volumen que ocupa el AS/RS.

---

<sup>21</sup> Según lo aproximado por Marco Hernández en la entrevista aplicada a la empresa proveedora de AS/RS industriales stöcklin (Anexo 2: Entrevista a Stockin).

Las dimensiones de un AS/RS con fines didácticos hace que sea comparativamente más sencillo realizar cambios en la ubicación de los puntos de entrada/salida y de ese modo aprovechar para realizar investigaciones sobre esta parte del AS/RS. Roodbergen, K.J., y Vis, I.F.A. (2009, p.350) indican que “se ha prestado poca atención a investigar sobre la localización y números de puntos de entrada/salida” y proponen que en algunos escenarios podría ser interesante estudiar estos aspectos. Dado a que pocos AS/RS con fines didácticos explotan esta opción, el cambio de ubicación de puntos de entrada/salida es una ventaja competitiva potencial.

### **2.6.5 Unidad de control**

La unidad de control no se abordará profundamente en la tesis pues se excede los alcances de la misma. Sin embargo sólo se menciona que en cuanto al sistema de lectura, todos los proveedores de AS/RS se atañen al sistema de manejo de materiales con el que ya cuenta su cliente, en México, de las 35,000 empresas registradas, la mayoría han adoptado el código de barras (Hernández, U., 2010).

De los AS/RS en entornos educativos, se registraron únicamente tres que usan estas etiquetas de radiofrecuencia, RFID por sus siglas en inglés *Radio Frequency Identification*. En comparación con el código de barras, etiquetas RFID muestran algunas ventajas; no necesita una línea de visión, pueden soportar entornos difíciles, pueden ser leídos a distancia y funciona como una base de datos portátil (Activewave, s.f.). Pueden contener hasta 2 KB de información que puede ser actualizado varias veces, lo que ayuda al rastreo de artículos en tiempo real. Usar etiquetas RFID puede ser de mucha utilidad porque se puede almacenar información sobre el producto, proceso, etapa de producción que lleva y se sincroniza de manera automática en la base de datos, reduciendo así la probabilidad de error. Empresas como Daifuku y Zimmer & Kreim lo usan para registrar los procesos que han llevado sus artículos WIP almacenados y suministrar los artículos de manera automática a las operaciones correspondientes. Los procesos se registran en la etiqueta y rastrean en tiempo real en qué fase de desarrollo se encuentra el artículo en cuestión. Es por esto las etiquetas RFID se emparejan muy bien con sistemas flexibles de manufactura y producción

personalizada al por mayor, a diferencia de las etiquetas de código de barras que se limitan al registro de inventario.

Además, la mayoría de los AS/RS funcionan con un sistema de control centralizado conformado por controles de computadora y controladores lógicos programables (PLC) que se usan para determinar la ubicación requerida, operar los sistemas de accionamiento y así guiar la máquina de almacenamiento y retiro a un compartimento donde se hará la transacción (Groover, M.P. 2001). Sin embargo se espera que el número de sistemas flexibles de manufactura incremente conforme vaya creciendo la importancia de la flexibilidad en la manufactura. (Groover, M.P., 2001). Muchos de estos sistemas flexibles de manufactura usan precisamente un sistema de control distribuido e interconectado con las estaciones de trabajo, como el que presentan los AS/RS de Festo, (iFactory y MPS Transfer System).

Un sistema de control descentralizado es interesante porque permite que se pueda usar el AS/RS de manera independiente o acoplado al resto de una célula de manufactura.

Todos deben poder ser administrados con un software de manejo de almacén de los cuales, muchos de ellos están integrados en entorno SAP.

En cuanto al software, todos deben funcionar con un sistema de administración de almacén o WMS por sus siglas en inglés: "*Warehouse Management system*". El software es el intermediario que permite la operación física del AS/RS, integra la información de soporte y mantiene el registro de artículos y operaciones. Es lo que administra las órdenes para que funcione el sistema AS/RS. (Groover, M.P., 2001).

Finalmente se ha realizado en la 0 una comparación que realza las diferencias generales que tienen los sistemas de almacenamiento y retiro en la industria y los sistemas de almacenamiento en ambientes didácticos.

Estas diferencias obstaculizan la enseñanza y causan la disociación entre los sistemas industriales y sistemas didácticos mencionada en el planteamiento del problema de esta misma tesis, que perjudica a los nuevos profesionistas que entran al mercado laboral.

Tabla 4.

**Diferencias entre los sistemas de almacenamiento automático industriales y sistemas de almacenamiento para fines didácticos.**

ASRS en la industria	ASRS Didácticos
Dimensiones	
Pueden manejar desde 24 bahías de almacenamiento hasta miles. La aplicación mas común es para almacenar cientos o miles de productos. Depende mucho del tipo de industria al que se dirige y obviamente, a las unidades que deben retener. Ocupan edificios enteros. La empresa Mecalux ha elaborado en México almacenes que alcanzan hasta los 40 m de altura. Los almacenes estándar de Stocklin ocupan una superficie de 1200 m2. con un alcance de 45 m de altura.	Pequeños volúmenes de almacenamiento en un rango de 16 unidades hasta máximo 88.
	Tan chicos que se pueden colocar en una mesa o el más grande que se ha encontrado es de 2.4 x 1.3 x 1.8 m, que son las dimensiones del iCIM 3000, de FESTO.
Costo	
Stocklin afirma que para un sistema estándar de 3,000 tarimas (lo que equivale en espacio alrededor de 1200-1300 m2 en superficie de uso) cuesta alrededor de 1 millón de USD. Mecalux ofrece un \$800 por tarima. Que para 3000 tarimas representa 2.4 millones de pesos. (pero no incluye otros costos de obra civil)	No se ha encontrado el precio de estos equipos.
Clientes	
Empresas triple A	Universidades
Adaptabilidad	
En la industria el sistema se adapta a las fluctuaciones de mercado. Se pueden modificar las diferentes secuencias de almacenamiento, recorridos, tiempo de espera de la maquina de almacenamiento y retiro, aceleraciones y redistribucion del almacen.	Algunos sistemas si aceptan la programación, como por ejemplo el sistema Mechatronics Inventory Storage Station – 87-MS7 de AMATROL. Pero por lo general Son sistemas cerrados y no permiten la experimentación de nuevos algoritmos.
Optimización	
Optimizan velocidades, aceleraciones y tiempos de operación. El jefe de almacén de Bafar confirmó que se hacen cambios en programación, en la velocidad de la grúa y en ubicación de unidades.	Operación de velocidad constante con o sin carga. Se limitan a almacenar y retirar a una velocidad constante.
Ampliación	
En la industria generalmente se pueden ampliar para adaptarse mejor al crecimiento de las empresas. El almacén de Bafar ampliará su almacén agregando un pasillo extra en el año 2015. Del mismo modo, la empresa la Costeña	Generalmente no se adaptan. Son fijos. De los que se han encontrado, solo un producto competencia se puede ampliar, y esto lo hace por agregar un almacén extra. (FESTO ICM)
Aceptacion de productos	
En la industria generalmente se automatizan procesos de diferentes productos.	Muchos de los sistemas didácticos existentes no aceptan gran variedad de productos. En unos casos, se usan cilindros representativos de productos que sólo pasan por los procesos simulando como si hubiera una operacion efectuandose sobre ellos. (Las empresas FESTO, LABVOLT y AMATROLL usan esta estrategia) En otros casos tienen un producto preeliminar hecho, que es el que automatizan su procesos. Generalmente no sacan sus propios productos en un verdadero sistema automatizado de producción
Tipos de artículo almacenado - SKU's que maneja (same kind unit)	
Uno o varios, dependiendo de la industria.	generalmente uno

## **2.7 Investigación del usuario y cliente**

El cliente determinado es la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Es una institución dedicada a la enseñanza, a la investigación y a la promoción al desarrollo.

### **2.7.1 Características del cliente**

Es una institución de carácter público que busca la excelencia académica. Incentiva a sus maestros y alumnos a investigar y desarrollar en materias relacionadas con la tecnología. Invierte una cantidad considerable en equipo y costos de mantenimiento. En el último trimestre del 2013, gastó cerca de \$254,980 en equipo para la universidad. (Dirección General de Educación Superior Universitaria: Subdirección de planeación y evaluación/Departamento de planeación, 2013).

Sin embargo para comprar de equipos más especializados puede disponer de aproximadamente medio millón de pesos Mexicanos. Su más reciente compra de equipo fue la impresora 3D Stratasys, UPrint SE Plus que tiene un costo aproximado de \$336,700 (sin IVA). Se considera el costo de este equipo adquirido para ponderar aproximadamente del valor monetario del cual puede disponer el cliente y el que debería costar el AS/RS por diseñar.

Además, una observación superficial de las instalaciones y los talleres de la universidad revelan que como organización, la UTM considera importante el aspecto visual como carta de presentación ante su localidad y ante el ámbito internacional.

### **2.7.2 Necesidades del cliente**

La Universidad Tecnológica de la Mixteca busca un equipo que cumpla con las siguientes características:

- Un equipo versátil que permita la investigación con distintas configuraciones y diferentes posiciones.

- Una máquina que funcione como herramienta didáctica para impartir clases de automatización e integración de procesos dentro de la planta industrial.
- Un equipo económicamente asequible.
- Un equipo que no requiera agentes externos para su mantenimiento.
- Un equipo adecuado para instalarse en el Laboratorio de Manufactura Avanzada<sup>22</sup>.

### **2.7.3 Características del usuario**

Los usuarios finales serán los maestros y los alumnos que tendrán contacto y que estarán usando el sistema AS/RS tanto como herramienta didáctica como para la investigación.

Las características que determinan a los alumnos son:

- Son jóvenes entre 18 y 25 años de edad.
- Generalmente vienen de la ciudad de Oaxaca o de comunidades vecinas, aunque también asisten pocas personas de otras partes de la república.

De las características de los maestros:

- Son adultos de entre 25 y 50 años de edad
- Todos excepto uno de la Jefatura de Ingeniería Industrial tienen un nivel educativo de maestría y doctorado (Universidad Tecnológica de la Mixteca, s.f.).

Las dimensiones antropométricas que se utilizarán serán los expuestos por el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED, 2014).<sup>23</sup>

---

<sup>22</sup> El Laboratorio de Manufactura Avanzada cuenta con una instalación eléctrica industrial trifásica.

<sup>23</sup> Como dato de referencia, esta institución exhibe que la altura promedio poblacional de adultos mexicanos es de 168 cm.

#### 2.7.4 Necesidades del usuario

Las necesidades del usuario fueron identificadas siguiendo los siguientes pasos propuestos por Ulrich y Eppinger (2004) :

- Recopilar datos sin procesar de los clientes.
- Interpretar los datos sin procesar en términos de las necesidades del cliente.
- Jerarquizar las necesidades.
- Establecer la importancia relativa de las necesidades.
- Reflejarla en los resultados y en el proceso.

Los datos fueron recopilados mediante entrevistas a usuarios que han tenido experiencia con este tipo de sistemas AS/RS para fines didácticos. Asimismo, se extrajeron necesidades a partir de tendencias actuales en el mercado.

El primero de estas entrevistas fue al maestro M.C. Moisés Manzano Herrera, experto en el tema de automatización de sistemas de manufactura. La entrevista con M.C. Milton C. Elías Espinoza, (comunicación personal, Marzo 8 del 2013)<sup>24</sup> revela otras necesidades del usuario:

- Que conceda una facilidad de reconfiguración y desplazamiento de la máquina dentro del laboratorio.
- Que cuente con una programación amigable con el usuario.<sup>25</sup>

Al interpretar los datos obtenidos de las encuestas y de las investigaciones de mercado se determinó la Tabla 5 donde se listan las necesidades del cliente y del usuario agrupadas en seis categorías: necesidades de desempeño, de usabilidad, de durabilidad, de estética, de

---

<sup>24</sup> M.C. Milton C. Elías Espinoza imparte clases de sistemas integrados de manufactura y de automatización de sistemas de manufactura en la carrera de ingeniería industrial y en ingeniería mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Monterrey. Su entrevista viene adjunta en el Anexo 5

<sup>25</sup> Detalle que no será abordado en la tesis por quedar fuera del alcance de la misma.

costo y de construcción/manufactura. La tabla pontifica de qué fuente se obtuvieron tales necesidades. Se valoró la importancia de cada necesidad a criterio usando una importancia absoluta, (Cabrera, s.f.) jerarquizada en una escala de 1 a 5. Se prefirió esta escala sobre la propuesta por Ulrich y Eppinger (2004) quienes clasifican sus necesidades en primarias y secundarias porque la importancia absoluta ayudará a valorar los requerimientos de diseño más adelante durante el proceso de QFD (*Quality Function Deployment*).

Tabla 5.  
Lista de necesidades del usuario

Importancia	Necesidades	Fuente
Desempeño		
5	Debe tener suficientes bahías para una práctica de un salón	Entrevistas, Fundamental
5	Debe soportar el material a almacenar	Fundamental
3	Que sea parecido a almacenes existentes	Entrevistas
3	Que use en mínimo de energía	Tendencias de mercado
4	Que se pueda integrar en una celda de manufactura flexible	Tendencias de mercado
Usabilidad		
4	Que el AS/RS se pueda cambiar de ubicación fácilmente	Tendencias de mercado
2	Que el AS/RS tenga dimensiones adecuadas para insertarse en el taller de manufactura avanzada.	Cliente
3	Que se pueda fijar bien	Fundamental
4	Que tenga capacidad de expansión y futuras mejoras	Tendencias de mercado
5	Que sea seguro	Fundamental
3	Que sea sencillo de usar (conceptos de HMI y HCI)	Entrevistas y tendencias
2	Que facilite su exposición a grupos grandes	Entrevista
2	Que sea cómodo de usar	Entrevistas, Fundamental
1	Que pueda ser utilizado cómodamente por un equipo de personas	Entrevistas, Fundamental
3	Que facilite su mantenimiento	Fundamental
Durabilidad		
4	Que sea durable bajo condiciones de un espacio cerrado	Fundamental
3	Que sea resistente a usos inadecuados	Fundamental
Estética		
4	Que sea estético	Tendencias de mercado
Costo		
5	Que sea económico	Cliente
Construcción/manufactura		
4	Que en su mayoría se pueda elaborar en los talleres de la Universidad Tecnológica de la Mixteca	Cliente

**Nota:** Las necesidades están calificadas con importancia absoluta, utilizando una escala del 1 al 5, siendo 1 la de menor importancia y 5 la de mayor importancia.

# **Capítulo 3. Diseño de un Sistema de Almacenamiento Automático para la Universidad Tecnológica de la Mixteca**

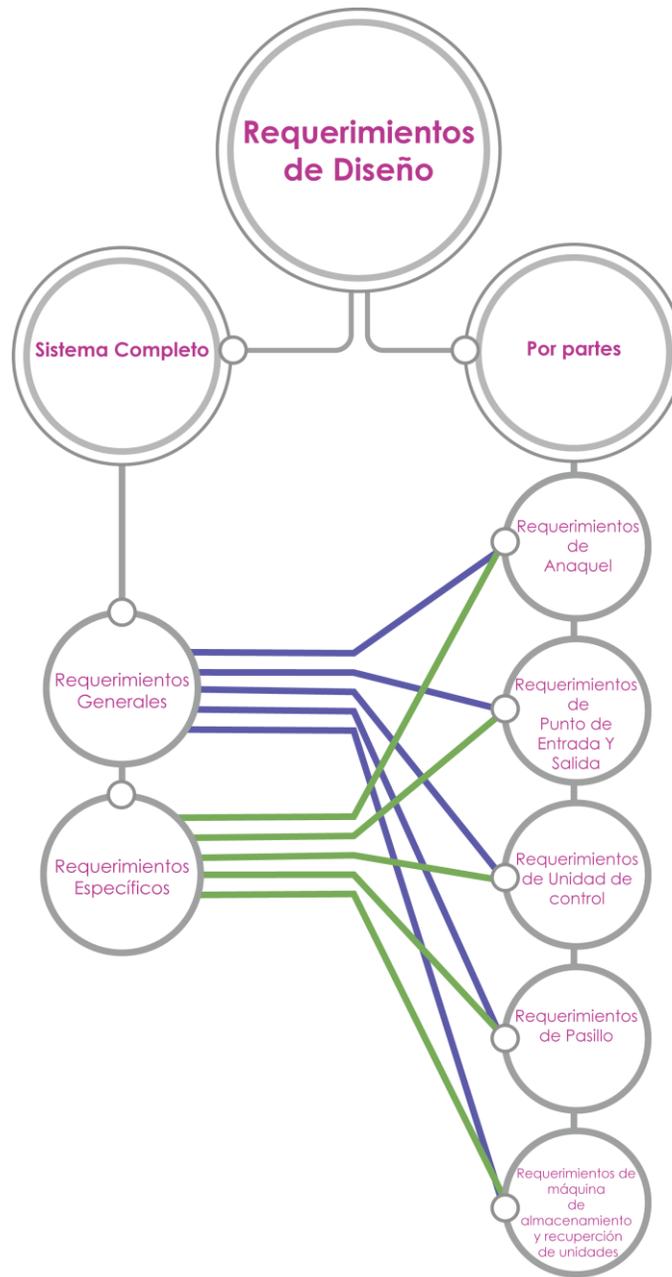
## **3.1 Definición de requerimientos de diseño**

Los requerimientos de diseño surgen a partir de las necesidades de diseño obtenidas y fueron complementadas considerando las diferencias entre AS/RS en la industria y en aplicaciones didácticas que fueron identificadas durante la comparación de ambos entornos de aplicación (0). Para enunciar los requerimientos, se utilizó como apoyo la lista de necesidades de usuario organizadas en la Tabla 5<sup>26</sup>

Siguiendo un pensamiento sistémico se determinaron requerimientos generales y específicos para el sistema completo analizándolo como una unidad funcional que trabaja para cumplir una tarea específica. De forma paralela, también se definieron requerimientos generales y específicos para cada uno de los componentes principales del AS/RS por diseñar. La Figura 8 ilustra este proceso de agrupación de los requerimientos de diseño y el proceso deductivo del cual se elaboraron. Como aprecia en la figura, no es un proceso lineal y secuencial, mas bien ambos requerimientos, los del sistema completo y de las partes se originan de forma paralela y sincrónica cuando se definen los requerimientos generales y específicos para el sistema completo.

---

<sup>26</sup> Si se desea consultar de qué necesidades se desprendió cada requerimiento consulte el Anexo 8



**Figura 8 Influencia y categorización de los requerimientos de diseño**

Nota: La definición de requerimientos del sistema completo y de las partes individuales se realizó en forma paralela.

Fuente: Elaboración propia

En cada uno de estos grupos se clasificaron los requerimientos siguiendo una categorización sugerida por Pfeifer, M. (2009), reducida: Requerimientos de desempeño, requerimientos de fiabilidad, requerimiento de tamaño, forma, masa y estilo, requerimientos de costo, requerimientos de manufactura, regulaciones gubernamentales, requerimientos de propiedad intelectual, estándares de la industria, y requerimientos de sostenibilidad. Para función de esta tesis se excluyeron los últimos tres. Enseguida se enlistan los requerimientos de diseño organizado por grupos.

### **3.1.1 Requerimientos generales**

#### *3.1.1.1 Requerimientos de desempeño*

- Carga: colocadas sobre palet
- Carga: Peso total máximo de unidad de carga
- Compatibilidad del sistema con la computadora y viceversa
- Compatible con las siguientes máquinas que forman parte de un sistema de manufactura flexible
- Método de reubicación
- Modificabilidad (Grado de modificabilidad)
- Modular
- Número de cargas a manejar por transelevador
- Numero de transelevadores: 1
- Que tenga una superficie de trabajo adecuada
- Watts requeridos

#### *3.1.1.2 Requerimientos de fiabilidad*

- "Ciclos de vida" antes de que suceda una falla con la carga máxima permitida, considerando un mantenimiento de cada 6 meses (simulado en SolidWorks)

- Cuenta con funciones avanzadas de automatización para monitoreo, diagnóstico, detección de errores y/o recuperación del sistema
- Cuenta cubiertas y tapas
- Considera el espacio frente al sistema de control
- Factor de seguridad de resistencia de material
- HCI: para una programación intuitiva. El software debe ser amigable con el usuario)
- Que sea estable
- Que su instalación no dañe a su entorno
- Que soporte las siguientes condiciones del ambiente:
  - temperatura promedio de 24 °C
  - humedad del ambiente media relativa anual del 62%

### 3.1.1.3 *Requerimientos de tamaño, forma, masa y estilo*

- Carga: Altura máxima total de carga
- Carga: Ancho máximo total de carga
- Carga: Profundidad total máxima de carga
- Dimensiones netas del sistema completo: Altura aprox.
- Dimensiones netas del sistema completo: Largo aprox.
- Dimensiones netas del sistema completo: Peso neto del sistema
- Dimensiones netas del sistema completo: Profundidad aprox.
- Número de puntos E/S
- Evitar esquinas y salientes
- Incite interés
- Número de anaqueles
- Numero de bahías
- Que respete medidas antropométricas
- Tiene sus filos redondeados
- Usa conceptos de Semiótica de los objetos
- Visualmente atractivo

#### **3.1.1.4** *Requerimientos de costo*

- Costo

#### **3.1.1.5** *Regulaciones Gubernamentales*

- Que cumpla con las NOM, ISO o ANSI
- Cumpla con normativas de INIFED

#### **3.1.1.6** *Requerimientos de Manufactura*

- Accesibilidad de piezas
- Estandarización de piezas
- Porcentaje del proyecto que pueda ser manufacturado en la Universidad Tecnológica de la Mixteca (un 60% manufacturado aquí)
- Factor de carga extra a soportar

### **3.1.2** **Requerimientos específicos**

#### **3.1.2.1** *Requerimientos de desempeño*

- Que cuente con un bus de entrada y salida
- Expansiones para Número de transelevadores
- Expansiones para: Número de cargas a manejar por transelevador
- Fuerza necesaria aplicada para el armado de piezas
- Grados de libertad
- Número de focos
- Número de módulos
- Número de motores
- Número de sensores
- Peso máximo a soportar por transelevador

- Peso total máximo a soportar por anaquel
- Software de control
- Tiempo de armado de módulos
- Transelevador cautivo en pasillo

#### **3.1.2.2 *Requerimientos de fiabilidad***

- No permita rebasamiento y oscilación
- NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo
- Precisión de alineado entre piezas

#### **3.1.2.3 *Requerimientos de tamaño, forma, masa y estilo***

- Dimensión de punto de entrada y salida: Largo
- Dimensión de punto de entrada y salida: Profundidad
- Dimensión de punto de entrada/salida: Peso
- Dimensión del Área de Control: Largo
- Dimensión del Área de Control: Profundidad
- Dimensión pasillo de servicio: Largo del pasillo
- Dimensión pasillo de servicio: Profundidad del pasillo
- Dimensiones de anaquel: Altura total
- Dimensiones de anaquel: Largo total
- Dimensiones de anaquel: Peso del anaquel
- Dimensiones de anaquel: Profundidad total
- Dimensión de transelevador: Peso
- Altura máxima para alcanzar del usuario
- Altura mínima de trabajo del usuario
- Altura preferente de uso normal
- Expansiones para: Dimensiones del pasillo
- Expansiones para: Número de Anaqueles
- Expansiones para: Número de bahías

- Expansiones para: Número de puntos E/S
- Factor de reflexión de superficie de trabajo
- Formas y colores facilita una lectura rápida y acertada (HMI)
- Numero de columnas
- Numero de hileras
- Número de pasillos
- Numero de tipo de cargas a almacenar
- Radio del área libre alrededor del giro del tronco

#### **3.1.2.4 *Requerimientos de Manufactura***

- Conductividad térmica de la superficie de trabajo(  $\lambda$  )
- Maquinaria que se puede utilizar para su construcción
- Protección en las patas
- Rugosidad de mesa de trabajo (Rugosidad Ra )
- Superficie de trabajo plana y firme
- Tolerancia de fabricación

#### **3.1.2.5 *Estándar en la industria***

- Sistema de asegurado (unión de partes modulares)

#### **3.1.2.6 *Regulaciones Gubernamentales***<sup>27</sup>

- NOM-Z-6-1986, dibujo técnico
- NOM-001-SEDE-2012. Artículo 408

---

<sup>27</sup> Con lo referente a la normativa relacionada, no se tuvo acceso a la gama completa de regulaciones de las distintas organizaciones nacionales e internacionales que podrían ejercerse sobre el proyecto. Sin embargo, se realizó una lista de la normativa pertinente disponible en el Anexo 9

- NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo

### **3.1.3 Requerimientos por partes**

Los requerimientos por partes se derivaron de dos procesos de identificación. En el primero, se seleccionaron los requerimientos generales y específicos que afectaban a todos los subsistemas. El segundo ubicó a los requerimientos generales y específicos que afectaban a cada una de las partes por separado. Enlistando de esta manera dichos requerimientos, se obtiene una apreciación nítida de cuáles son las características de cada una de las partes que satisfacen los requerimientos del conjunto del sistema, y por lo tanto, satisfacen directamente al cliente. También se evalúa cuáles requerimientos generales y específicos del sistema afectan a las características de las partes de manera individual.

Este modo de desglosar es característico del pensamiento sistémico y ayuda a contemplar las generalidades y los detalles del funcionamiento del sistema.

#### ***3.1.3.1 Requerimientos de Anaqueles***

*Características de cargas que acepta:*

- Carga colocadas sobre palet
- Peso total máximo de unidad de carga: 9.5kg
- Dimensiones de carga: 16.905 x 35.5 x 35.5 cm
- Acepta máximo dos tipos de carga

*Características generales del anaquel*

- El sistema AS/RS contará con un solo anaquel con posibilidad de aumentar el número de anaqueles.

- Debe ser menor que las dimensiones del sistema completo: 163 x 265 x 86 cm
- Las dimensiones totales del anaquel (aproximadas) son 84.5 x 170.5 x 39.5 cm, con un peso aproximado de 37.7 kg
- Dimensión de bahía: 37.5 x 37.5 x 18.175 cm
- Número de bahías: dieciséis. Cuatro columnas y cuatro hileras, con posibilidad de aumentar su número.
- Si se hace modular se aceptarían entre 3 y 15 módulos individuales.
- Peso total máximo a soportar por anaquel: 152 kg
- Diseñado para soportar una humedad del ambiente media relativa anual de menor de 62% y temperatura promedio de 24°C

*Consideraciones ergonómicas:*

- Tiene sus filos redondeados
- Altura máxima para alcanzar del usuario: 200cm
- Altura mínima de trabajo del usuario: 25cm
- Altura preferente de uso: 90 cm

*Seguridad :*

- Que sea estable
- No permita rebasamiento y oscilación
- Cuenta con cubiertas y tapas
- Factor de carga extra a soportar de 1.5
- Factor de seguridad de resistencia de material >1.3

*Manufactura:*

- Preferiblemente usar piezas estandarizadas
- Que se pueda armar en menos de 480 de trabajo
- Más del 60 % debe ser manufacturado en la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

- Más del 70% de las piezas deben ser fácilmente accesibles
- Maquinaria que se puede utilizar para su construcción: Fresadora CNC, torno CNC, sierra de cinta hidráulica, taladro vertical, cizalla cortadora, máquina plegadora.
- Tolerancia de fabricación máxima .5 mm

### 3.1.3.2 *Requerimiento de Transelevador*

#### *Características de cargas que acepta:*

- Carga colocadas sobre pallet
- Peso total máximo de unidad de carga: 9.5kg
- Dimensiones de carga: 16.905 x 35.5 x 35.5 cm
- Acepta máximo dos tipos de carga

#### *Características generales del transelevador*

- Cuenta con tan solo un transelevador
- El transelevador será cautivo en pasillo
- El transelevador manejará únicamente una carga a la vez
- Debe ser menor que las dimensiones del sistema completo: 163 x 265 x 86 cm
- Peso máximo de transelevador (aproximado) 56.5 kg
- Efecto final de tipo montacargas
- Cuenta con tres grados de libertad, con posibilidad de aumentar a cuatro.
- Cuenta con tres motores y con posibilidad de aumentar a cuatro.
- Peso máximo a soportar por transelevador: 9.5 kg
- Debe considerar 2.5 "ciclos de vida" antes de que suceda una falla con la carga máxima permitida, considerando un mantenimiento de cada 6 meses (simulado en SolidWorks)
  - Diseñado para soportar una humedad del ambiente media relativa anual de menor de 62% y temperatura promedio de 24°C

*Consideraciones ergonómicas:*

- Tiene sus filos redondeados
- Altura máxima para alcanzar del usuario: 200cm
- Altura mínima de trabajo del usuario: 25cm
- Altura preferente de uso: 90 cm
- Sus accionadores deben estar fuera del alcance del usuario

*Seguridad :*

- Que sea estable
- No permita rebasamiento y oscilación
- Cuenta con cubiertas y tapas
- Factor de carga extra a soportar de 1.5
- Factor de seguridad de resistencia de material >1.3

*Manufactura:*

- Preferiblemente usar piezas estandarizadas
- Que se pueda armar en menos de 480 de trabajo
- Más del 60 % debe ser manufacturado en la Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Más del 70% de las piezas deben ser fácilmente accesibles
- Maquinaria que se puede utilizar para su construcción: Fresadora CNC, torno CNC, sierra de cinta hidráulica, taladro vertical, cizalla cortadora, máquina plegadora.
- Sistemas de asegurado (unión de partes modulares)
- Tolerancia de fabricación máxima .5 mm

### 3.1.3.3 *Requerimientos del pasillo*

#### *Características de cargas:*

- El pasillo deberá soportar la máquina de almacenamiento y retiro con la unidad de carga.
- Peso total máximo de la carga a soportar será el correspondiente al peso de la unidad de carga sumado al peso de la máquina de almacenamiento y retiro: aproximadamente 67 kg.

#### *Características generales del pasillo*

- El pasillo será diseñado para un transelevador cautivo en pasillo
- Debe ser menor que las dimensiones del sistema completo: 163 x 265 x 86 cm
- Dimensiones aproximadas del pasillo: 64.5 x 265 x 162.9
- Carga total por soportar de aproximadamente 67 kg<sup>28</sup>
- Se evaluará la posibilidad de expandir la longitud del pasillo
- Provee alojamiento para los sensores en el movimiento transversal para la máquina de almacenamiento y retiro
  - Proporciona dos guías lineales para el movimiento transversal de la máquina de almacenamiento y retiro
  - Debe considerar 2.5 "ciclos de vida" antes de que suceda una falla con la carga máxima permitida, considerando un mantenimiento de cada 6 meses (simulado en SolidWorks)
  - Diseñado para soportar una humedad del ambiente media relativa anual de menor de 62% y temperatura promedio de 24°C

---

<sup>28</sup> El valor considera el peso máximo de unidad de carga y peso de la maquina de almacenamiento y retiro.

*Consideraciones ergonómicas:*

- Tiene sus filos redondeados
- Provee alojamiento para el mecanismo de accionamiento para el movimiento transversal.

*Seguridad :*

- Que sea estable
- No permita rebasamiento y oscilación
- Cuenta con cubiertas y tapas
- Factor de carga extra a soportar de 1.5
- Factor de seguridad de resistencia de material >1.3

*Manufactura:*

- Preferiblemente usar piezas estandarizadas
- Que se pueda armar en menos de 480 de trabajo
- Más del 60 % debe ser manufacturado en la Universidad Tecnológica de la Mixteca.
  - Maquinaria que se puede utilizar para su construcción: Fresadora CNC, torno CNC, sierra de cinta hidráulica, taladro vertical, cizalla cortadora, máquina plegadora.
- Tolerancia de fabricación máxima .5 mm

*3.1.3.4 Requerimientos de puntos de Entrada/Salida*

*Características de cargas que acepta:*

- Carga colocadas sobre palet
- Peso total máximo de unidad de carga: 9.5kg

- Dimensiones de carga: 16.905 x 35.5 x 35.5 cm
- Acepta máximo dos tipos de carga

*Características generales del punto de entrada y salida:*

- Dimensiones aproximadas del punto de entrada y salida: 37.5 x 37.5 x 18.175 cm
- Número de puntos de entrada y salida: uno, con posibilidad de aumentar dos.
- Diseñado para soportar una humedad del ambiente media relativa anual de menor de 62% y temperatura promedio de 24°C

*Seguridad :*

- Que sea estable
- No permita rebasamiento y oscilación
- Cuenta con cubiertas y tapas
- Factor de carga extra a soportar de 1.5
- Factor de seguridad de resistencia de material >1.3

*Manufactura:*

- Preferiblemente usar piezas estandarizadas
- Que se pueda armar en menos de 480 de trabajo
- Más del 60 % debe ser manufacturado en la Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Maquinaria que se puede utilizar para su construcción: Fresadora CNC, torno CNC, sierra de cinta hidráulica, taladro vertical, cizalla cortadora, máquina plegadora.
- Tolerancia de fabricación máxima .5 mm

### 3.1.3.5 *Requerimientos de la unidad de control*

#### *Características generales de la unidad de control:*

- Dimensiones de unidad de control: aproximadamente 120 x 80 x 40 cm<sup>29</sup>
- Debe ser menor que las dimensiones del sistema completo: 163 x 265 x 86 cm.
- Debe ser compatible con la computadora y viceversa.
- Cuenta con bus de entrada y salida.
- Cuenta con funciones avanzadas de automatización para monitoreo, diagnóstico, detección de errores y/o recuperación del sistema.
- Número de sensores.
- Diseñado para soportar una humedad del ambiente media relativa anual de menor de 62% y temperatura promedio de 24°C.

#### *Consideraciones ergonómicas:*

- Tiene sus filos redondeados.
- Altura máxima para alcanzar del usuario: 200cm.
- Altura mínima de trabajo del usuario: 25cm.
- Altura preferente de uso: 90 cm.
- Permita la entrada de la mano para hacer las conexiones.
- Usa conceptos de semiótica de los objetos.
- Formas y colores facilita una lectura rápida y acertada (HMI).
- Deberá mantener los cables fuera del alcance involuntario del usuario.

---

<sup>29</sup> Las dimensiones de la unidad de control se obtuvieron a partir del motor con mayor torque elegido de los motores posibles. (Tabla 18). Con los datos de este motor, un voltaje de 150 y corriente máxima de 54.7 amp, se compararon a las dimensiones de cabinas de control expuestas por SIEMENS.A.G. (2002, p. 37).

### *Seguridad :*

- Que sea estable.
- No permita rebasamiento y oscilación.
- Cuenta con cubiertas y tapas.
- Factor de carga extra a soportar de 1.5
- Factor de seguridad de resistencia de material  $>1.3$

### *Manufactura:*

- Preferiblemente usar piezas estandarizadas.
- Maquinaria que se puede utilizar para su construcción: Fresadora CNC, torno CNC, sierra de cinta hidráulica, taladro vertical, cizalla cortadora, máquina plegadora.
- Tolerancia de fabricación máxima .5 mm
- Precisión de alineado entre piezas.
- Software de control .
- Tolerancia de fabricación máxima de .5mm
- Que respete NOM-001-SEDE-2012. Artículo 408, que contiene lineamientos de diseño respecto a tableros de distribución de alumbrado y control.

## **3.2 Análisis mediante el método QFD (Despliegue de la Función de Calidad)**

El Despliegue de la función de calidad o QFD, por sus siglas en inglés “Quality Function Deployment”, es según el *Quality Function Deployment Institute* "un sistema comprensivo de calidad que une sistemáticamente las necesidades del consumidor con varias funciones administrativas y procesos organizacionales, tales como marketing, diseño, calidad, producción, manufactura, ventas, etc... De esta manera, el QFD alinea la compañía entera hacia cumplir un objetivo en común".

En este caso particular, se hace uso de esta herramienta para empatar las necesidades del cliente con los requerimientos del producto.

En la literatura se acuerda que el método es un proceso iterativo. Sin embargo, entre los autores existen diferencias entre cómo se debe reiterar el proceso. Ulrich (2004, 76) utiliza un método deductivo donde deriva diagramas de QFD específicos que abordan subsistemas del producto a partir de diagramas de QFD principales que analizan las cuestiones generales. Cuando el producto consta de varios subsistemas, las especificaciones se utilizan para definir los objetivos de desarrollo de cada parte.

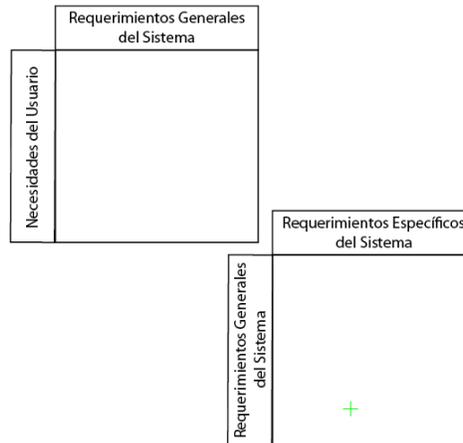
Por otro lado, Bahill, A.T. & Chapman (1993, 24) muestran cuatro ejemplos de QFD donde relaciona: necesidades<sup>30</sup> del cliente con características de calidad; características de calidad con características del producto; características del producto con procesos de manufactura y procesos de manufactura con control de calidad.

El análisis del QFD que se elaboró para esta tesis se desarrolló de lo general a lo particular como lo propone Ulrich (2004) pero integra cuestiones de procesos de manufactura y se dirige a los subsistemas como propuesto por Bahill A.T & Chapman (1993). Además, tiene raíz en la misma lógica que se usó para determinar los requerimientos de diseño (Figura 8).

Como resultado se elaboraron dos tablas QFD para estudiar los requerimientos del proyecto; en la primera tabla se relacionan necesidades del usuario y requerimientos generales del sistema mientras; la segunda, derivada de la primera, relaciona requerimientos generales y requerimientos específicos del sistema como conjunto (Figura 9).

---

<sup>30</sup> Bahill, A. Hace uso de la palabra “demandas” del cliente en lugar de “necesidades”.



**Figura 9 Diagrama de secuencias de QFD realizados.**

Nota: Fuente: Elaboración propia

Para realizar el análisis QFD, se determinó la importancia de las necesidades y requerimientos según el criterio obtenido de la investigación de campo y la investigación documental. También se establecieron unidades medibles a los requerimientos de diseño y valores deseables para cada unidad.

Las tablas QFD realizadas son la Tabla 6 y la Tabla 7

Del análisis de estos diagramas, surge la Tabla 8 y la Tabla 9 que resumen los datos obtenidos de la Tabla 6 y la Tabla 7 respectivamente.

En primer QFD, (Tabla 6) relacionan las necesidades del cliente con los requerimientos generales del sistema completo. En su resumen, la Tabla 8, se observa que los requerimientos con mayor peso son:

- Cuenta con cubiertas y tapas en las partes necesarias, anaquel, motores, drivers, unidad de control.
- Que pueda soportar el peso máximo de la unidad de carga de 7.2 kg
- Que más del 60 % del proyecto sea manufacturado en la UTM.
- Que cuente con un solo anaquel

Los requerimientos de menor valor identificados, son los siguientes:

- Que sea modular.
- El número de puntos de entrada y salida
- Estandarización de piezas.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Tabla 7 se relacionan los requerimientos generales con los requerimientos específicos del sistema. En su resumen, la Tabla 9, se halló que los requerimientos específicos de mayor peso, también conocidas como “características clave” (Whitney, D.E., 2004), son las siguientes:

- Costo.
- Que sea visualmente atractivo.
- Incite interés.
- Número de tipo de carga a almacenar.

Los requerimientos de menor importancia en esta tabla son:

- Tiempo de armado de módulos
- Fuerza necesaria para el armado de piezas
- Que cuente con un bus de entrada y salida
- Número de módulos

En resumen, observando los resultados de ambas tablas QFD, implica que las características clave son la siguientes:

- Costo.
- Que sea visualmente atractivo.
- Incite interés.
- Número de tipo de carga a almacenar.
- Cuenta con cubiertas.
- Carga: peso máximo.
- Porcentaje del proyecto que sea manufacturado en la UTM.
- Respete medidas antropométricas.

Tabla 6.

**QFD de Necesidades-Requerimientos Generales del sistema**

			9 - Strong    3 - Moderate    1 - Weak													
			Column Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
			Max Relationship Value in Column	9	3	9	9	3	1	9	3	3	3	9	9	
			Requirement Weight	70.7692	27.6923	41.5385	41.5385	13.8462	18.4615	87.6923	23.0769	23.0769	23.0769	41.5385	55.3846	
			Relative Weight	4.57	1.79	2.68	2.68	0.89	1.19	5.66	1.49	1.49	1.49	2.68	3.57	
			Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)													
			Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	▼	x	
			Target or Limit Value	16	1	1	1	1	Binario:si	7	40	15	30	.	lista	
Row Number	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Número de bahías	número de Anaqueles	Número de Transelevadores	Número de cargas a manejar por transelevador	Número de puntos E/S	Carga: colocadas sobre pallet	Carga: Peso total máximo de unidad de carga	Carga: Ancho máximo total de carga	Carga: Altura máxima total de carga	Carga: Profundidad total máxima de carga	Watts requeridos	Debe ser compatible con las siguientes máquinas que forman parte de un sistema de manufactura flexible
1	9	7.69	Debe tener suficientes bahías para la práctica de un salón		9	3										
2	9	7.69	Debe sorportar el material a almacenar							1	9	3	3	3		
3	9	4.62	Parecido a almacenes existentes			1	9	9	3	1						
4	9	4.62	Que use el mínimo de energía												9	
5	9	6.15	Que se pueda integrar en una célula de manufactura flexible							1	3					9
6	9	6.15	Que el ASRS se pueda cambiar de ubicación fácilmente													
7	9	3.08	Que el ASRS tenga dimensiones adecuadas para instertarse en el taller de manufactura avanzada													
8	9	4.62	Que tenga capacidad de expansión y futuras mejoras													
9	9	6.15	Seguridad													
10	9	7.69	Sencillo de usar													
11	9	4.62	Que facilite su exposicion a grupos grandes													
12	9	3.08	Que sea cómodo de usar													
13	3	1.54	Que pueda ser utilizado cómodamente por un equipo de personas		1											
14	9	3.08	Que facilite su mantenimiento													
15	9	4.62	Durable bajo condiciones de un espacio cerrado													
16	9	6.15	Resistente a usos inadecuados													
17	9	4.62	Que sea estético													
18	9	6.15	Que sea económico													
19	9	7.69	Que en su mayoría pueda ser elaborado en la UTM													



Tabla 7.  
**QFD de Requerimientos Generales- Requerimientos Específicos del Sistema AS/RS**

			Relationship Between Requirements: 9 - Strong 3 - Moderate 1 - Weak																					
			Column Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
			Max Relationship Value in Column	9	3	3	9	9	9	9	3	3	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
			Requirement Weight	40.5088	21.7221	18.4932	62.818	62.818	64.2857	37.4755	18.9824	1.17417	1.17417	15.5577	29.0607	29.0607	29.0607	15.8513	31.7025	42.2701	42.2701	15.8513	15.8513	
			Relative Weight	2.55	1.37	1.16	3.95	3.95	4.05	2.36	1.20	0.07	0.07	0.98	1.83	1.83	1.83	1.00	2.00	2.66	2.66	1.00	1.0	
			Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)																					
			Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)	x	x	x	x	x	x															
			Target or Limit Value	1	binario SI	3	4	4	binario SI			60 min		6<x<20	40 cm	203 cm	188 cm							
Row Number	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Demanded Quality (a.k.a. "Whats")	Quality Characteristics (a.k.a. "Hows")																				
1	9	4.40	Número de bahías				9	9	1															
2	3	4.70	número de Anaqueles	3	1		1	1																
3	3	2.64	Número de Transelevadores		3	3													1					
4	3	2.64	Número de cargas a manejar por transelevador			3			3															
5	9	0.88	Número de puntos E/S	9	1																			
6	9	1.96	Carga: colocadas sobre pallet						9	1	1										3	3		
7	9	5.58	Carga: Peso total máximo de unidad de carga																					
8	9	1.47	Carga:Ancho máximo total de carga													9					9			
9	9	1.47	Carga:Altura máxima total de carga														9							
10	9	1.47	Carga:Profundidad total máxima de carga												9						9		9	
11	3	2.64	Watts requeridos																					
12	9	3.52	Debe ser compatible con las siguientes máquinas que forman parte de un sistema de manufactura flexible						9												3	3		
13	9	0.39	Modular							3	3	3	3	9										
14	9	3.52	Metodo de reubicación							9	1													
15	9	3.52	Dimensiones netas del sistema completo: Peso neto del sistema																					
16	9	1.76	Dimensiones netas del sistema completo: Profundidad aprox.	9											9						9	9	9	
17	9	1.76	Dimensiones netas del sistema completo: Largo aprox.				9									9					9			9
18	9	1.76	Dimensiones netas del sistema completo: Altura aprox.					9									9							9
19	1	2.64	Grado de modificabilidad	1	1	1	1	1	1															
20	3	0.88	Estandarización de piezas							3														
21	9	4.11	Normativa								3													
22	9	5.58	Cuenta con cubiertas y tapas		1																			
23	9	4.40	Usa conceptos de Semiótica de los objetos																					
24	9	1.47	Bus de entrada para coenctar el sistema con la computadora																					
25	9	3.23	Espacio frente al sistema de control																					
26	9	3.82	Respete medidas antropométricas																					
27	9	2.64	" Ciclos de vida"antes de que suceda una falla																					
28	9	3.52	Factor de carga extra a soportar																					
29	9	3.52	Factor de seguridad de resistencia de material																					
30	9	2.64	Visualmente atractivo																					
31	9	2.64	Incite interés																					
32	9	3.52	Costo																					
33	9	5.28	Porcentaje del proyecto que pueda ser manufacturado en la UTM																					
34	9	4.01	Tiempo de producción																					

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	3	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	39.6282	54.5988	39.6282	34.3444	29.0607	29.0607	13.2094	50.1957	50.1957	50.1957	16.1448	16.1448	16.1448	31.7025	31.7025	31.7025	36.9863	31.7025	39.6282	23.7769	31.7025	31.7025	73.9726	73.9726	115.362
	2.49	3.44	2.49	2.16	1.83	1.83	0.83	3.16	3.16	3.16	1.02	1.02	1.02	2.00	2.00	2.00	2.33	2.00	2.49	1.50	2.00	2.00	4.66	4.66	7.26
					x	x	x	x	x					x	x	x	x		x			▲			▼
	25 cm	200 cm	90 cm		250 cm	150 cm	2	112 kg	7 kg	7 kg				37 kg	56.5 kg	19 kg		ISO 16792:2006	lista	Binario:si				Binario:si	Binario:si
	Altura mínima de trabajo del usuario	Altura máxima para alcanzar del usuario	Altura preferente de uso normal	Radio del área libre alrededor del giro del tronco	Espacio frente al sistema de control: ancho	Espacio frente al sistema de control: largo	Bus de entrada y salida	Espacio frente al sistema de control: ancho	Espacio frente al sistema de control: largo	Bus de entrada y salida	Espacio frente al sistema de control: ancho	Espacio frente al sistema de control: largo	Bus de entrada y salida	Espacio frente al sistema de control: ancho	Dimensión de translevador: Peso	Peso del punto de entrada y salida	GDT (Geometric Dimensioning and Tolerancing)	Maquinaria que se puede utilizar para su producción	Formas y colores facilita una lectura rápida y acertada (HMI)	"Ciclo de Vida" antes de que suceda una falla con la carga máxima permitida	Factor de carga extra a soportar	Factor de seguridad	Visualmente atractivo	Incluye interés	Costo
									9	9	9														
		3									3	3	3												
														9	9	9									
	3	9	3								1	1	1												
					9	9					1	1	1				9						9	9	
							9												9						
	9	9	9	9																9					
																					9				
																						9			
																							9		
																								9	
																									9
																									9

Tabla 8. Resumen de QFD de Necesidades-Requerimientos Generales del Sistema

	Características de calidad (¿Cómo?)	Minimizar (▼), Maximizar (▲), o objetivo (x)	Valor objetivo / límite	Máximo o puntaje	Peso del requerimiento	Peso Relativo (Importancia Relativa)
5	Número de puntos E/S	x	1.00	3	13.85	0.01
20	Estandarización de piezas	x	lista	3	13.85	0.01
8	Carga: Ancho máximo total de carga	x	40.00	3	23.08	0.01
9	Carga: Altura máxima total de carga	x	15.00	3	23.08z	0.01
10	Carga: Profundidad total máxima de carga	x	30.00	3	23.08	0.01
24	Bus de entrada para conectar el sistema con la computadora	▲	1.00	3	23.08	0.01
16	Fila	▼	72 cm	9	27.69	0.02
17	Dimensiones netas del sistema completo: Largo aprox.	▼	202 cm	9	27.69	0.02
18	Dimensiones netas del sistema completo: Altura aprox.	x	168 cm	9	27.69	0.02
6	Carga: colocadas sobre pallet	x	Binario:si	3	30.77	0.02
3	Número de transelevadores	x	1.00	9	41.54	0.03
4	Número de cargas a manejar por transelevador	x	1.00	9	41.54	0.03
11	Watts requeridos	▼	-	9	41.54	0.03
19	Grado de modificabilidad	▲	0.30	9	41.54	0.03
27	" Ciclos de vida" antes de que suceda una falla	▲	2.50	9	41.54	0.03
30	Visualmente atractivo	x	Subjetivo	9	41.54	0.03
31	Incite interés	x	Subjetivo	9	41.54	0.03
25	Espacio frente al sistema de control	x	3.75 m2	9	50.77	0.03
12	Debe ser compatible con las siguientes máquinas que forman parte de un sistema de manufactura flexible	x	lista	9	55.38	0.04
14	Método de reubicación	x	Lista: ruedas, deslizamiento, usando un montacargas, cargado entre dos personas,	9	55.38	0.04
15	Dimensiones netas del sistema completo: Peso neto del sistema	▼	113 kg	9	55.38	0.04
28	Factor de carga extra a soportar	▲	1.50	9	55.38	0.04
29	Factor de seguridad de resistencia de material	▲	1.30	9	55.38	0.04
32	Costo	▼	mínimo	9	55.38	0.04
26	Respete medidas antropométricas	x	binario: si	9	60.00	0.04
34	Tiempo de producción	▼	480 hrs	9	63.08	0.04
21	Normativa	x	lista	9	64.62	0.04
1	Número de bahías	x	16.00	9	69.23	0.04
23	Usa conceptos de Semiótica de los objetos	x	binario: si	9	69.23	0.04
2	número de Anaqueles	x	1	9	73.85	0.05
33	Porcentaje del proyecto que pueda ser manufacturado en la UTM	x	≥60%	9	83.08	0.05
7	Carga: Peso total máximo de unidad de carga	x	7.20	9	87.69	0.06
22	Cuenta con cubiertas y tapas	x	lista: motores, drivers, anaquel, sensores	9	87.69	x

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.

## Resumen de QFD de Requerimientos Generales- Requerimientos Específicos del Sistema

Fila	Características de calidad (¿Cómo?)	Minimizar (▼), Maximizar (▲), o objetivo (x)	Valor objetivo / límite	Máximo puntaje	Peso del requerimiento	Peso Relativo (Importancia Relativa)
	Tiempo de armado de módulos	▼	60 min	3	1.17	0.07%
10	Fuerza necesaria aplicada para el armado de piezas	x		3	1.17	0.07%
27	Bus de entrada y salida	x	2	9	13.21	0.83%
11	Número de módulos	x	6<x<20	9	15.56	0.98%
15	Dimensión pasillo de servicio: Largo del pasillo	▲	265 cm	9	15.85	1.00%
19	Dimensión del Área de Control: Profundidad	x	45.5 cm	9	15.85	1.00%
20	Dimensión del Área de Control:Largo	x	39.5 cm	9	15.85	1.00%
31	Espacio frente al sistema de control: ancho	x	250 cm	3	16.14	1.02%
32	Espacio frente al sistema de control: largo	x	150 cm	3	16.14	1.02%
33	Bus de entrada y salida	x	binario:SI	3	16.14	1.02%
3	Grados de libertad	x	3	3	18.49	1.16%
8	Presición de alineado de piezas	▲	0.50%	3	18.98	1.20%
2	traselevador cautivo en pasillo	x	binario:SI	3	21.72	1.37%
40	"Ciclos de Vida" antes de que suceda una falla con la carga máxima permitida	x	2.5 lifecycle	9	23.78	1.50%
12	Dimensiones de anaquel: Profundidad total	x	40 cm	9	29.06	1.83%
13	Dimensiones de anaquel: Largo total	x	203 cm	9	29.06	1.83%
14	Dimensiones de anaquel: Altura total	x	168 cm	9	29.06	1.83%
25	Espacio frente al sistema de control: ancho	x	250 cm	9	29.06	1.83%
26	Espacio frente al sistema de control: largo	x	150 cm	9	29.06	1.83%
16	Dimensión pasillo de servicio: Ancho del pasillo	x	39.5 cm	9	31.70	2.00%
34	Espacio frente al sistema de control: ancho	x	37 kg	9	31.70	2.00%
35	Dimensión de transelevador: Peso	x	56.5 kg	9	31.70	2.00%
36	Peso del punto de entrada y salida	x	19 kg	9	31.70	2.00%
38	Maquinaria que se puede utilizar para su producción	x	lista	9	31.70	2.00%
41	Factor de carga extra a soportar	▲	2	9	31.70	2.00%
42	Factor de seguridad	▲	1.3	9	31.70	2.00%
24	Radio del área libre alrededor del giro del tronco	x	72.5 cm	9	34.34	2.16%
37	GDT (Geometric Dimensioning and Tolerancing)	x	ISO 16792:2006.	9	36.99	2.33%
7	Sistemas de Asegurado (unión de partes)	x	lista	9	37.48	2.36%
21	Altura mínima de trabajo del usuario	▲	25 cm	9	39.63	2.49%
23	Altura preferente de uso normal	x	90 cm	9	39.63	2.49%
39	Formas y colores facilita una lectura rápida y acertada (HMI)	x	Binario:si	9	39.63	2.49%
1	Número de pasillos	x	1	9	40.51	2.55%
17	Dimensión de punto de entrada y salida: Ancho	▲	39.5 cm	9	42.27	2.66%

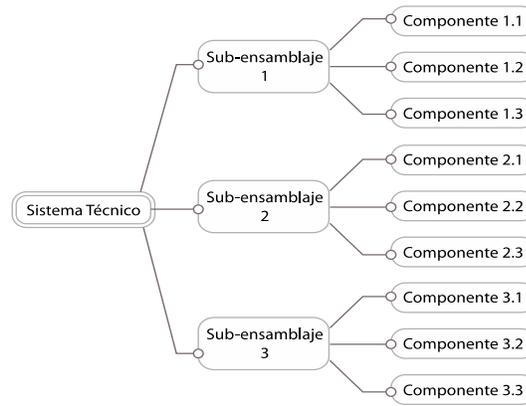
Fila	Características de calidad (¿Cómo?)	Minimizar (▼), Maximizar (▲), o objetivo (x)	Valor objetivo / límite	Máximo puntaje	Peso del requerimiento	Peso Relativo (Importancia Relativa)
18	Dimensión de punto de entrada y salida: Profundidad	x	39.5 cm	9	42.27	2.66%
28	Espacio frente al sistema de control: ancho	x	112 kg	9	50.20	3.16%
29	Espacio frente al sistema de control: largo	x	7 kg	9	50.20	3.16%
30	Bus de entrada y salida	x	7 kg	9	50.20	3.16%
22	Altura máxima para alcanzar del usuario	x	200 cm	9	54.60	3.44%
4	Número de Columnas	x	4	9	62.82	3.95%
5	Número de hileras	x	4	9	62.82	3.95%
6	Número de tipos de carga a almacenar	x	binario:SI	9	64.29	4.05%
43	Visualmente atractivo	x	Binario:si	9	73.97	4.66%
44	Incite interés	x	Binario:si	9	73.97	4.66%
45	Costo	▼	\$390,600±50,000	9	115.36	7.26%

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Comprensión a nivel de sistemas

Un producto se puede comprender como un sistema técnico. (Ashby, 2005). Existen dos formas de descomponerlo para entenderlo: En sub-ensambles y componentes o en sistemas y subsistemas.

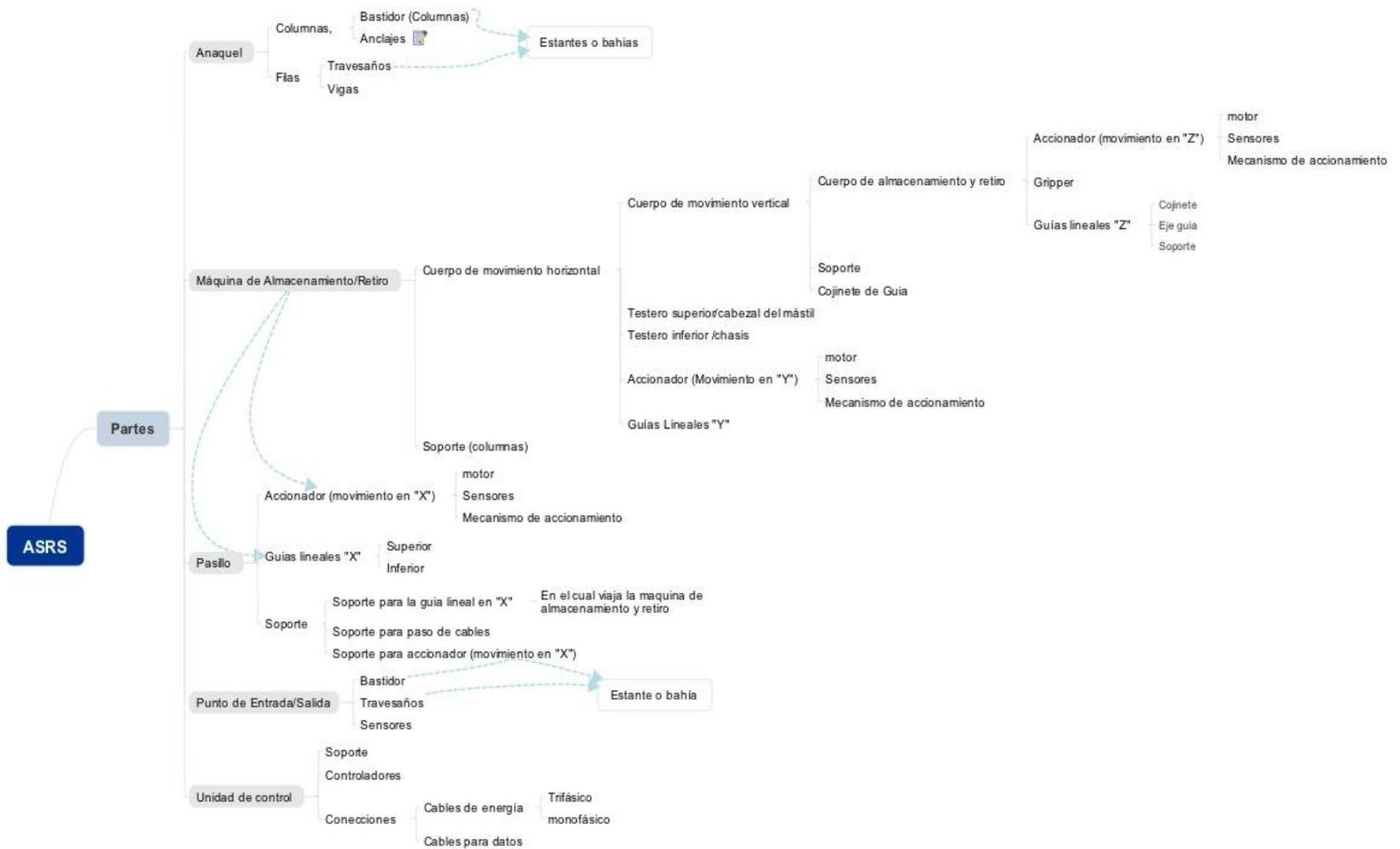
La Figura 10 muestra como el producto se puede descomponer en sub-ensamblajes y componentes. Esta forma de pensar identifica físicamente las partes que componen un producto.



**Figura 10 El análisis de un sistema técnico desarticulado en ensamblajes y componentes.**

Fuente: Ashby, M. F. (2005). *Materials selection in mechanical design*.(p. 14) Oxford, United Kingdom; Elsevier.

Dividiendo el AS/RS en sub-ensamblajes se obtuvo la Figura 11. No se llegan a definir componentes porque en esta fase de diseño todavía no se conocen con certeza. Esta forma de dividir el producto no es muy adecuado porque algunas partes comparten componentes, como sucede con pasillo y la máquina de almacenamiento y retiro.

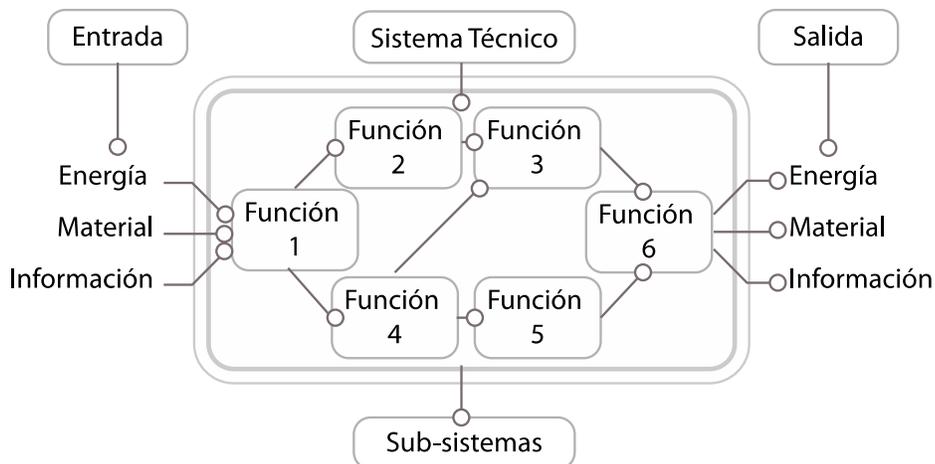


**Figura 11 El sistema técnico del ASRS desarticulado en ensamblajes y componentes**

Las partes y componentes generales que conforman a ASRS se ven reflejados en este diagrama. Se pueden agregar o quitar piezas según lo solicite el diseño. Las flechas indican componentes compartidos entre partes. Fuente: Elaboración propia.

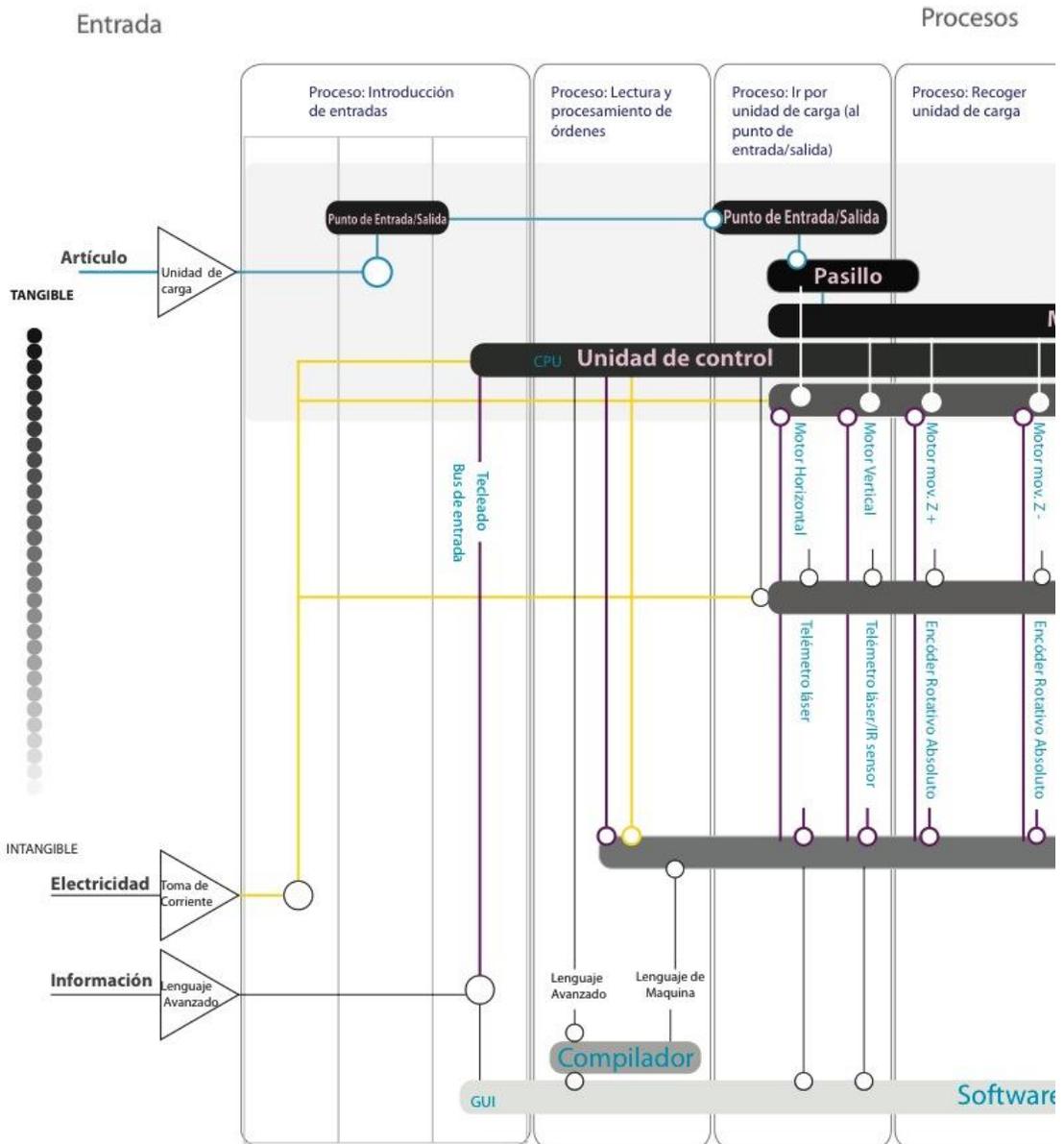
La desarticulación del sistema técnico del AS/RS en sub-ensambles y componentes proporciona información suficiente como para comprender a profundidad el producto. Por esta razón se ha optado seguir un análisis de sistemas en el que se desarticula el sistema en subsistemas de forma “función-estructura”

El pensamiento sistémico, como lo explica Weinberg, G.M. (2011) consiste en pensar en términos de sistemas en lugar de partes. Este acercamiento requiere que se abstraigan procesos o funciones. El análisis resultante se expresa de forma entrada-proceso-salida (Ashby, 2005) y se delimita en un contexto con el que intercambia elementos. La Figura 12 muestra un ejemplo de abstracción sistémica donde se define energía, material e información como elementos de entrada que son procesados a lo largo de diferentes funciones del sistema técnico y resultan en otras formas de energía, material e información

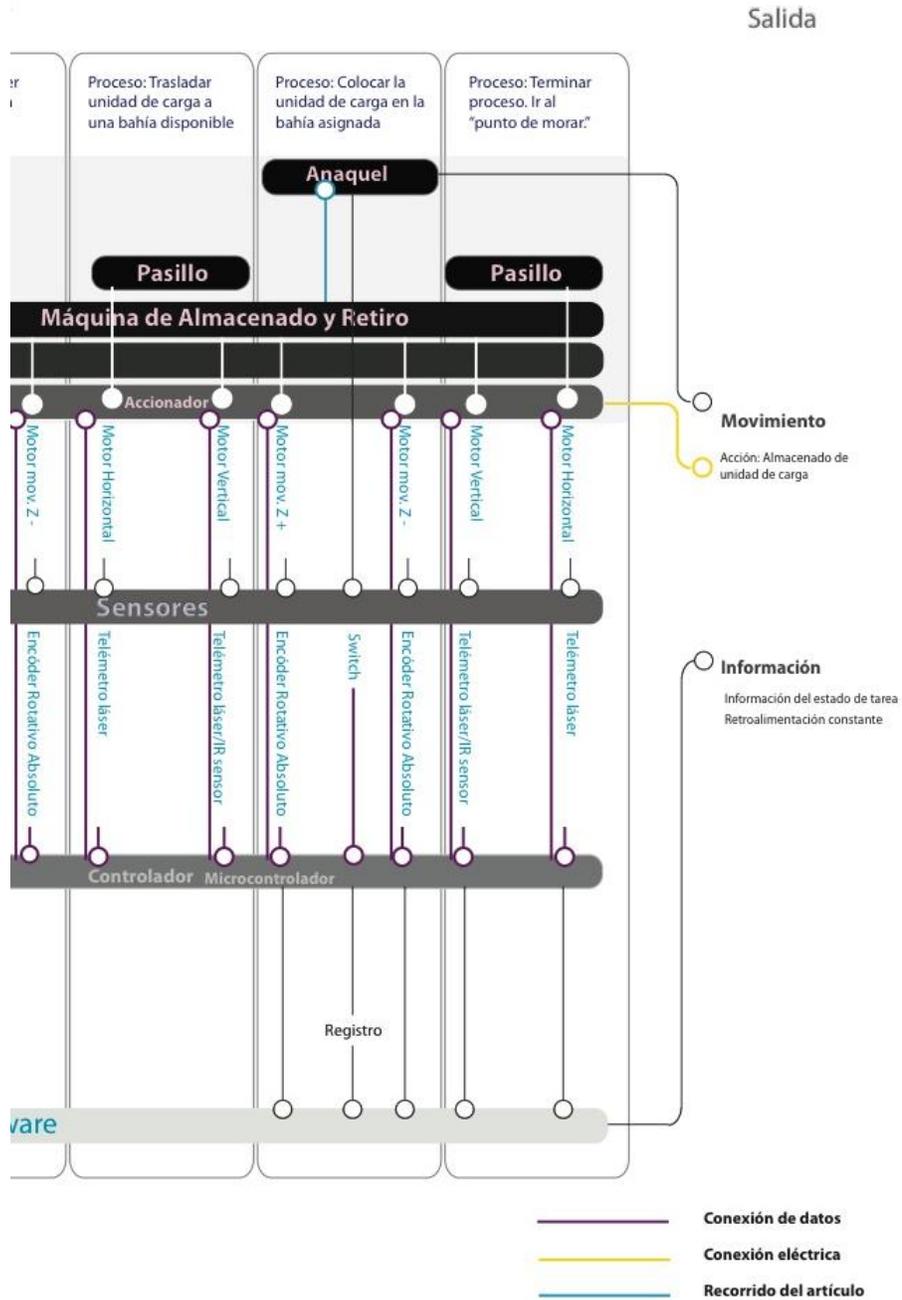


**Figura 12 La aproximación sistémica al análisis de un sistema técnico, visto como una transformación de energía, materiales e información (señales).**

Nota: Ésta aproximación, cuando se elabora, ayuda a estructurar el pensamiento sobre diseños alternativos. Fuente: Ashby, M. F. (2005). *Materials selection in mechanical design*.(p. 14) Oxford, United Kingdom; Elsevier.



**Figura 13 Diagrama de funcionamiento del ASRS**  
 Fuente: Elaboración propia



El acercamiento de pensamiento sistémico descompone el sistema en subsistemas de forma “función-estructura”. Esta aproximación canaliza y profundiza la comprensión que el diseñador tiene sobre el producto a elaborar porque enfoca su atención en los procesos que se tienen que llevar a cabo para que un producto cumpla con su objetivo. Provee una comprensión global de las funciones del AS/RS, conectando nodos y puntos clave de procesos con componentes y con otros procesos. Aunando el hecho que cuenta con la capacidad de entrar en detalle y entender las relaciones de cada subproceso o componente individual y el papel que juegan estos dentro del funcionamiento global del sistema.

Reproduciendo este pensamiento sistémico en el desarrollo del producto a diseñar, se elaboró el diagrama de la Figura 13 que visualiza el AS/RS como un sistema técnico conformado por operaciones que procesan elementos de entrada (material, información y energía) y producen una acción y retroalimentación de información. A continuación se desarrollará sobre el funcionamiento del sistema AS/RS tomando como apoyo el Diagrama de funcionamiento del AS/RS.

### **3.3.1 Funcionamiento del AS/RS**

La Figura 13 es el diagrama resultante de la abstracción del funcionamiento del sistema del AS/RS. Como es característico del pensamiento sistémico, se han definido entradas, procesos involucrados y salidas. En la figura proporcionada, únicamente se ilustran los subprocesos involucrados durante la tarea de almacenado de artículos. El retiro de artículos involucra los mismos subprocesos en distinto orden.

El almacenamiento de artículos se conforma por siete subprocesos que se efectúan de manera lineal en el tiempo para realizar la tarea encomendada:

- Introducción de entradas.
- Lectura y procesamiento de órdenes.
- Ir por unidad de carga al punto de entrada/salida.
- Recoger la unidad de carga.
- Trasladar la unidad de carga a una bahía disponible.

- Colocar la unidad de carga en la bahía asignada.
- Terminar el proceso e ir al “punto de morar”.

Se han acomodado las partes participantes de cada subproceso en diferentes niveles en los que trabaja el sistema en conjunto. Estos niveles evolucionan de lo tangible a lo intangible e interactúan simultáneamente entre sí. Esta distinción ayuda a visualizar cuáles son las zonas de acción de esta tesis sin rechazar por completo todas las demás áreas que repercuten en la parte física y que tienen la misma importancia para el correcto funcionamiento del sistema.

En estos niveles se han ubicado tres entradas: La unidad de carga, la electricidad, y la información<sup>31</sup>. Como las entradas propuestas por Ashby, M. F. (2005), se refieren a material, energía e información, pero están adaptadas para el sistema en cuestión. La unidad de carga y la información las introduce el usuario o la celda de manufactura, mientras que la electricidad se inserta al sistema mediante la toma de corriente. Al finalizar la secuencia de procesos se obtienen como elementos de salida una acción; almacenar la unidad de carga, e información, en forma de retroalimentación. La tarea de almacenado es efectuado por el movimiento creado gracias a la transformación de la energía eléctrica en energía mecánica que realizan los subprocesos del sistema. Mientras que la información de salida es lanzado constantemente por el software con el objetivo de proporcionar una retroalimentación continua al usuario sobre el estado de la tarea desde inicio a fin.

Por motivos de claridad en la explicación, se procederá a describir cómo se “transforman” los elementos de entrada al sistema a los elementos de salida. La explicación se realizará abordando los niveles de procesamiento avanzando de lo tangible a lo intangible.

---

<sup>31</sup> La unidad de carga es el nivel tangible y material, mientras que la información corresponde al nivel puramente conceptual. La electricidad se ubicó en un punto intermedio porque no es algo material que ocupa volumen en el espacio pero sabemos que es energía que consta de impulsos eléctricos que al final son provocados por características físicas.

El primer nivel es el físico (tangible) y abarca todo lo que ocupa un volumen en el espacio. Como elemento de entrada en este nivel se tiene la unidad de carga, que es conformado por el artículo que se desea almacenar colocado sobre un palet para transporte que será insertado en el sistema. La primera parte del sistema que actúa como vínculo entre el ambiente exterior y el sistema AS/RS es el punto de entrada y salida. Es únicamente por esta parte por donde se realiza un intercambio físico de entradas y salidas. Aquí comienza el primer proceso, introducción de entradas. La unidad de carga es colocado en el punto de entrada y salida, y espera en lo que se procesa el comando de acción que es realizada en el nivel intangible. Una vez que procede el comando, se ejecuta el subproceso de recoger la unidad de carga al punto de entrada/salida. En esta parte se acciona el primer motor, el correspondiente del movimiento horizontal que puede estar colocado en el pasillo o en el transelevador mismo. El transelevador se mueve a lo largo del eje “x” hasta llegar al punto de entrada /salida, y luego activa el motor en “y”, encargado de mover verticalmente la tarima del transelevador, para nivelarse a la altura del punto de entrada a lo largo del eje “y”.

El siguiente proceso, recoger la unidad de carga, activa el motor encargado del movimiento en el eje “z” y moviliza efector final de la máquina de almacenamiento y retiro introduciéndolo al punto de entrada y salida, por debajo de la unidad de carga. Levanta ligeramente la carga y posteriormente la extrae, colocándolo así sobre la máquina de almacenamiento y retiro.

Después, la máquina de almacenamiento y retiro traslada la unidad de carga a una bahía disponible que le ha sido asignada por el software, activando nuevamente los motores del eje “x” y “y” (movimientos horizontal y vertical). Después continúa al paso de colocar la unidad de carga dentro de una bahía asignada del anaquel. Para hacer esto, vuelve a activar el motor “z”, inserta el objeto en cuestión en la bahía, activa el movimiento en “y” para bajar el palet y luego extrae la lengüeta, activando nuevamente el motor “z” en dirección contraria.

En el paso, se termina el proceso, y regresa al “punto de morar”<sup>32</sup> a la vez que el software envía información al usuario, para que este esté consciente de que se ha finalizado la operación.

En el siguiente nivel de operación de la máquina, la electricidad es suministrada al sistema mediante dos distintas fuentes de energía; monofásico para controlador y trifásico para los motores. Los detalles que abarca la alimentación eléctrica quedan fuera del alcance de la tesis y debería ser determinado por un ingeniero eléctrico. Es importante considerar que únicamente pueden tener hasta las dos fuentes de energía ya mencionadas. De las tres entradas, durante el proceso de introducción de entradas, este es el primero. Esta electricidad será la fuente de energía para los accionadores, (específicamente los tres motores involucrados), la unidad de control y los sensores. Los motores se activarán, regularán y apagarán según las señales provistas por el sistema de control elegido.

En cuanto al sistema de control, es de esperarse que los procesos que se efectuarán por el AS/RS serán controlados utilizando tecnología de microprocesador y computadoras digitales debido a que son las más utilizadas hoy en día a diferencia de otras opciones que han caído en desuso. como los sistemas de control análogos o los sistemas relé. (Groover, 2001)

En el tercer nivel de operación, el intangible, trabaja el software que recibe información de los estados alcanzados por el sistema y con ellas administra las operación de todos los procesos. Durante la introducción de entradas, el usuario interactúa con la CPU mediante la pantalla que muestra una interfaz gráfica del usuario (o *GUI* por sus siglas en inglés “*graphic user interfaz*”.) e introduce una orden en forma de lenguaje avanzado utilizando el teclado o accediendo una memoria externa al bus de expansión. Durante el proceso de

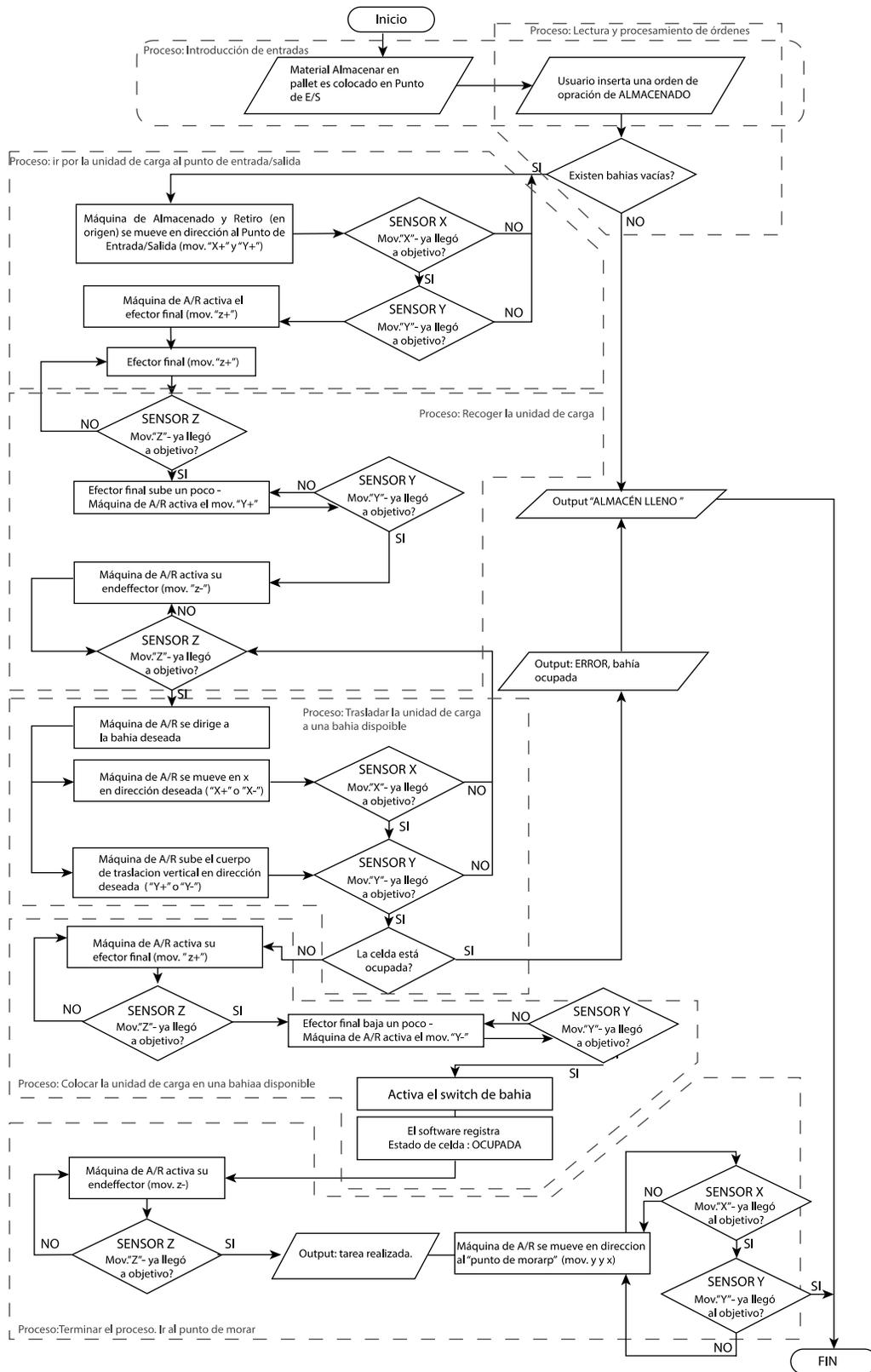
---

<sup>32</sup> Roodbergen, K.J. & Vis I.F.A., (2008, 346) aclara que el punto de morar es la ubicación donde las máquinas ociosas se colocan para esperar la siguiente orden. Puede ser en lo que generalmente se conoce como “home” que es ubicación (0,0,0) o en otro punto intermedio determinado. Se han realizado varias investigaciones que determinan el punto de morar más eficiente según las características de cada sistema.

“lectura y procesamiento de órdenes” el software de control recibe la orden ingresada por el usuario y después el compilador del software se encarga de transformar esa información en lenguaje máquina, cuyas señales son ejecutadas por el microprocesador del sistema. como se puede apreciar en la Figura 13.

El microcontrolador frecuentemente recibe señales del estado del sistema ya sea de los sensores, señales de alarma, paro de emergencia, marcha, velocidad de desplazamiento, entre otros. Con esta información el microprocesador genera señales de control para regular las operaciones efectuadas por los accionadores y otras operaciones internas. El microprocesador también provee datos para el software que los procesa, analiza, administra y los proporciona al usuario, fungiendo así como vínculo entre la máquina y el usuario.

Como se ha explicado anteriormente, el objetivo principal del AS/RS es el almacenar una unidad durante un tiempo determinado y al finalizar este periodo, recuperarla nuevamente. Existe una serie de tareas internas necesarias para cumplir con el objetivo principal. Se elaboró un diagrama de funcionamiento para ayudar a entender las tareas internas primordiales efectuadas por el sistema. (Figura 14)



**Figura 14 Diagrama de flujo de procesos necesarios para el almacenado de artículos en el ASRS**

Nota: Fuente: Elaboración propia

El diagrama de flujo de procesos necesarios para el almacenado de artículos presentado en la Figura 14 también ayudó para entender la secuencia de movimientos necesarios para almacenar un artículo y es un apoyo que consolida el conocimiento adquirido en la investigación y comparación de los productos existentes. El software diseñado deberá seguir estos pasos principales.

Cabe resaltar que en el caso específico de ésta tesis, el producto en cuestión tiene funciones secundarias. La primera de ellas es el de ser utilizado como material de apoyo de aprendizaje y de investigación, por lo que el diseño del mismo se enfocará en hacerlo más versátil, más adaptativo para insertar otras opciones de configuración.

Otra dimensión de función del AS/RS es su aspecto estético ya cumple con una función comunicativa con el usuario. Prada, M.S. (2011) nos recuerda que la respuesta de un consumidor ante un producto está antecedida por la evaluación que el sujeto hace a partir de las percepciones que tiene de él. Los juicios que emite el consumidor una vez analizada la información percibida por los sentidos es el estético, el semántico y el simbólico. El diseño propuesto deberá tomar en cuenta también esta función del AS/RS.

### **3.4 Definición de concepto del sistema AS/RS**

Ulrich, K.T. & Eppinger, S.D (2004) exponen que un concepto de producto es una descripción aproximada de la tecnología, principios de funcionamiento y forma del producto.

El concepto del producto expone concisamente cómo se va a satisfacer las necesidades del cliente. Es por esta razón que el concepto del AS/RS por diseñar deriva naturalmente de los requerimientos de mayor peso que salen a relucir en el método de despliegue de calidad (QFD) y es influida por nociones propias surgidas en la investigación teórica y de mercado.

#### **3.4.1 Concepto general**

Esta definición de concepto es un primer esbozo y son características que se buscan brindar en todos los conceptos de producto generados. Se busca que el sistema de

almacenamiento y retiro automático por elaborar permita la exploración y la enseñanza sobre procesos mecanizados y que se diseñe bajo los siguientes nociones:

- Economía: en costos, materiales y formas
- Sencillez: formas simples y diseño honesto con su función
- Comodidad: práctico y cómodo de usar
- Flexibilidad de distribución y de uso.

Estas características son trascendentales ya que repercuten en la idealización del funcionamiento y en la forma del AS/RS por diseñar.

Es importante resaltar que al inicio se supuso que el atributo de “flexibilidad” se obtendría mediante modulación de las partes. Más aún se ha considerado que se puede obtener esta misma cualidad de otras maneras, por ejemplo, diseñándolo para un segundo uso, o que permita intervención humana antes, durante o después de su operación automatizada, dando una solución que facilite un cambio de accionador, o que permita cambio en el posicionamiento de algunas de las partes como por ejemplo la ubicación del punto de entrada y salida o la unidad de control y posibilitar diversas configuraciones de colocación dentro de la planta industrial.

Roodbergen, K.J. & Vis, I.F.A. (2008) declaran que existen dos aspectos que determinan la apariencia física del sistema de almacenamiento automático: El tipo de AS/RS elegido y la configuración del sistema. A continuación se determinarán ambos aspectos.

### **3.4.2 Tipo**

En esta fase de diseño se puede determinar el tipo de configuración general que deberá tener el AS/RS. Cabe mencionar que estas son opciones de configuración que todavía están atadas a cambio.

Será un AS/RS que maneje unidades de carga colocadas sobre palet. El anaquel que llevará debe ser de línea simple, estático. Por cuestiones de costo, se ha determinado el que

traselevador sea sencillo, y como constará de un único pasillo, será cautivo en pasillo. Tendrá un único punto de entrada y salida intercambiable de lugar.

Como tiene fines didácticos se ha determinado que esté diseñado pensando en futuras modificaciones. Las cuestiones que deberá permitir un diseño más flexible son: en el número de bahías (en columnas o filas y con posibilidad de permitir otro anaquel), dimensiones del traselevador (y por consecuencia, dimensiones del pasillo) grados de libertad del traselevador, y números de entrada y salida.

### 3.4.3 Configuración del sistema

En cuanto a la configuración del sistema, la Tabla 10 presenta la lista de decisiones de diseño que proponen Roodbergen, K.J. & Vis, I.F.A. (2008) que se han de tomar para determinar la configuración del sistema por diseñar.

Tabla 10.  
**Decisiones de diseño para la configuración del AS/RS**

Tipo de problema	Decisiones	Valores	Unidades	Límite
Configuración del sistema	Número de pasillos	1	unidad	
	Altura de Anaquel	168	cm	máximo
	Longitud del pasillo	202.5	cm	máximo
	Bahías del almacén modulares o del mismo tamaño	2	modular	máximo
	Número y ubicación de puntos de entrada y salida	1 o 2	unidad	máximo
	Capacidad de buffer en puntos de entrada y salida			
	Número de grúas por pasillo	1	unidad	

Dados los límites del alcance de esta tesis, se ha detenido la determinación de la apariencia física del AS/RS hasta este punto, sin embargo, Roodbergen, K.J. & Vis, I.F.A. (2008, p.346) proponen que “un buen método de diseño sería dirigirse a ambos problemas del diseño físico y de control simultáneamente” ya que las decisiones de

uno afectan al otro y viceversa. Es por esto que los autores agregan las decisiones de la Tabla 11 a la lista .

Tabla 11.

**Decisiones de diseño de control para la configuración del AS/RS**

Tipo de problema	Decisiones
Asignación de almacenado	Método de asignación de almacenamiento Número de tipos de almacenado Posicionamiento de los tipos de almacenado
Procesamiento por lotes	Tipo de procesamiento por lotes (estático o dinámico) Tamaño de procesamiento por lotes reglas de selección para asignación de órdenes a lotes
Secuenciación	Restricciones de secuencia Tipo de operación (comandos sencillos o dobles) Aproximación de secuenciación
Punto de morar	Método de secuenciación Tipo de posicionado Ubicación de grúas ociosas

Estas características no se han determinado pero son importantes considerar porque son configuraciones relacionadas con el control del almacén que inciden sobre el diseño de la estructura física del almacén y sobre las cuales se puede desarrollar tanto investigación pertinente como ejercicios didácticos.

**3.4.4 Diseño del AS/RS como sistema**

Gu, J., Goetschalckx, M. & McGinnis, L. (2009) afirman que hay cinco decisiones mayores para el diseño de almacenes: “Determinar la estructura completa del almacén; dimensionado del almacén y sus departamentos; determinar la disposición detallada de cada departamento; selección del equipo del almacén, seleccionar las estrategias de selección.”

Estas decisiones se pueden aplicar de manera análoga al diseño de un sistema de almacenamiento y retiro automático con fines didácticos.

Después de decidir el tipo y configuración de AS/RS por diseñar, se comenzó a diseñar el sistema como una unidad. Antes que nada, se debe definir los elementos de entrada.

Debido a que esta tesis se enfoca en la parte física, se define el material de entrada, que en este caso es la unidad de carga.

Ya que las dimensiones del sistema completo están directamente relacionadas con las dimensiones y características de la unidad de carga, se pudo proseguir después de definir las.

Subsecuentemente, se estudió y determinó la disposición adecuada de los elementos que permitirían dar solución a algunos de los requerimientos definidos anteriormente.

Cuando se contó con las dimensiones y disposiciones generales, se prosiguió a buscar darle flexibilidad y considerar el mayor número de distribuciones posibles con el menor número de cambios. Con esto considerado, se determinaron los accionadores que se usarían para habilitar el movimiento de los elementos que lo requieren.

La estética del AS/RS fue determinada al final pensando en cuáles de los componentes definidos se podrían usar por su valor estético y cuáles de ellos eran necesario cubrirlos, omitirlos o cambiarlos.

A continuación se entrará a detalle sobre el proceso de definición de entradas, aproximación de dimensiones, distribución de las partes, flexibilidad del sistema, selección de accionadores y determinación de la estética que se llevó a cabo para el diseño de concepto. Se expondrá los cinco conceptos predilectos generados a partir de esta fase de diseño, obteniendo como resultado un árbol de conceptos posibles por generar y cinco conceptos finalista de AS/RS.

#### *3.4.4.1 Definición de entradas*

Se ha determinado y explicado en la Figura 13 que las entradas del sistema son: el artículo en forma de la unidad de carga, electricidad por la toma de corriente (trifásica y monofásica) e información en forma de lenguaje avanzado.

Como el objetivo de la tesis se limita a diseñar la estructura física del sistema AS/RS, sólo se detallará las características de la unidad de carga, pues ésta influye de manera subsecuente a las dimensiones y características de cada una de las partes del AS/RS a diseñar.

### *Carga a manejar*<sup>33</sup>

La unidad de carga se definió como la combinación del artículo a almacenar sobre el palet. Esta unidad de carga tendrá como dimensiones máximas:

Ancho máximo: 30 cm

Profundidad máxima: 30 cm

Altura máxima: 15 cm o 34 cm

Peso Máximo a manejar: 8.5 kg

El número de tipos de elementos a almacenar serán máximo dos.

El artículo a almacenar fue estudiado cuando se obtuvieron los requerimientos de diseño. Los valores fueron determinados considerando las dimensiones y materiales más usados por los alumnos en la universidad y las dimensiones máximas aceptadas por las máquinas herramienta que funcionarían en la célula de manufactura automatizada.<sup>34</sup>

### *Palet o soporte flexible*

El palet es un accesorio básico para el sistema de manejo de materiales (MHS, por sus siglas en inglés, Material Handling Systems). Un palet es “una mesa móvil automática que soporta una pieza de trabajo y que se desliza o gira dentro y fuera del centro de

---

<sup>33</sup> Las entrevistas realizadas a Roselló, J. (comunicación personal, Agosto 23, 2013) y Hernández, S. & Hernández, M. (comunicación personal, Septiembre 03, 2013) revelaron que se deben responder las siguientes preguntas antes de comenzar con el diseño del sistema: ¿Que se almacena? ¿Dónde se almacena? ¿Con qué se almacena? Número de SKU (tipos de elementos a almacenar).

<sup>34</sup> Las tablas obtenidas de este proceso se encuentran en el Anexo 10

maquinado.” (ToolingU, 2013). Los palets funcionan como unidades de transporte donde se colocan materiales crudos, artículos WIP o piezas terminadas para su traslado y a lo largo de las trayectorias deseadas dentro de la célula de manufactura. Su función es mantener fija las piezas que lo abordan y de esta manera tener un mayor control sobre el movimiento de las misma.

“El diseño y construcción adecuados de los sujetadores y soportes flexibles es esencial en la operación de los sistemas avanzados de manufactura.” (Kalpakjian, S. & Schmid, S.R., 2002, p. 1055). Su importancia radica en el hecho que estos dispositivos deben ubicar de manera automática, precisa y repetitiva en la misma posición a la pieza de trabajo y deben tener la rigidez suficiente para resistir los esfuerzos normales y cortantes que desarrollan en las interfaz entre pieza y soporte.

Es importante comenzar con el diseño del palet ya que de ésta derivan dimensiones y características específicas del AS/RS a diseñar. El palet formará la base de la unidad de carga que será insertada en la célula de manufactura. Sin embargo, este soporte es un elemento auxiliar del sistema y queda fuera de los alcances de la tesis. Por esta razón se le dedicó poco tiempo de desarrollo y poca profundidad de análisis y por lo tanto, esta propuesta de palet deberá quedar como una sugerencia y está atada a modificaciones.

Para el diseño del palet se consideraron las características del artículo a almacenar: dimensiones y materiales de artículos generalmente usados por los alumnos en sus proyectos dentro de la UTM y dimensiones aceptadas por las máquina herramienta.<sup>35</sup>

Posteriormente, se tomaron ideas de diversos productores de palets o productos parecidos<sup>36</sup> y se valoró a criterio las siguientes características:

- Sencillez de elaboración

---

<sup>36</sup> Las empresas analizadas fueron: TE-CO, Reinshaw, Carr Lane Manufacturing Co., 2L Inc., Suburban Tool, Inc., Jergen, Vertek.

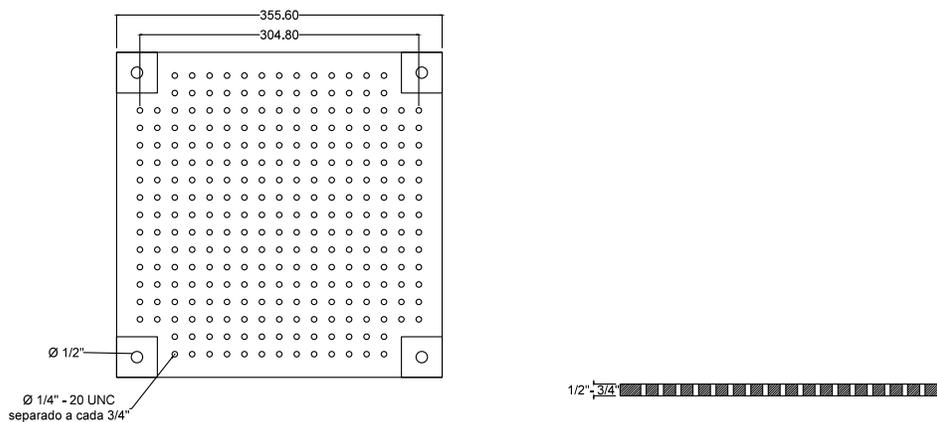
- Adaptabilidad para poder colocar diferentes tipos de piezas
- Resistencia y durabilidad
- Mínimo peso
- Mínimo costo

Esta información permite proseguir con el diseño de un concepto de palet.

El mayor reto presentado para este diseño es reducir peso y costo sin sacrificar resistencia y durabilidad. Es muy importante tomar en cuenta que son piezas de uso constante y que su calidad es crucial para el funcionamiento del AS/RS.

### *Palet elegido*

La Figura 15 muestra las dimensiones del concepto de palet generado.



**Figura 15. Dimensiones generales del diseño de soporte flexible elegido.**

Nota: Material: HDPE Extruido

Peso de palet de 1/2": 1364.07 gr

Peso del palet con 3/4" 2077.43 gr

#### *3.4.4.2 Aproximación de dimensiones*

Una vez que se ha definido las dimensiones del sistema de soporte elegido y que se determina la unidad de carga, es posible realizar una aproximación de las dimensiones del sistema completo de manera más acertada:

- Profundidad: 98 cm
- Largo: 265 cm
- Altura: 190.7cm

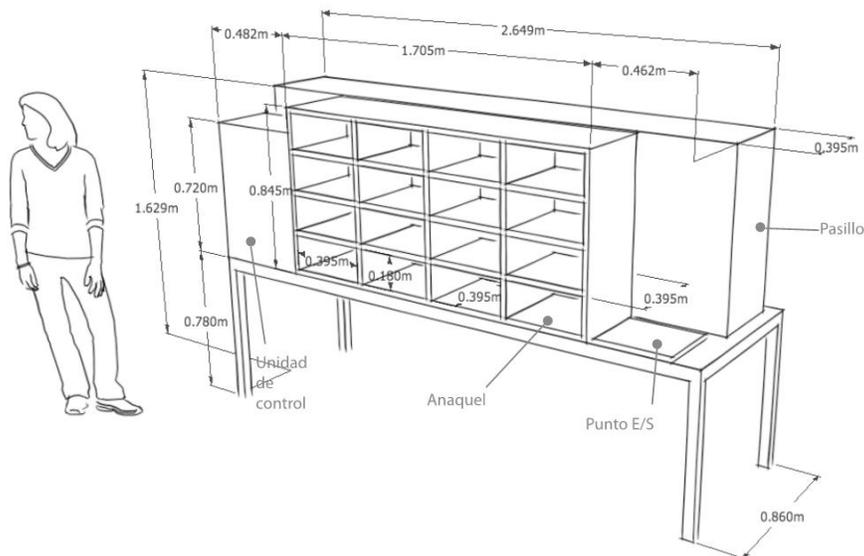
Como apoyo, se utilizaron las tablas presentadas en el Anexo 11.

Consecuentemente también se aproximan las dimensiones de cada una de las partes. En esta etapa de diseño, las medidas todavía pueden ser modificadas y serán determinados únicamente hasta que se tenga el diseño final de cada una de las partes del proyecto.

#### 3.4.4.3 *Distribución de las partes*

A la par que se obtuvieron las dimensiones aproximadas del sistema completo, se consideraron medidas antropométricas, las distribuciones de los productos parecidos y las restricciones que impone el funcionamiento del AS/RS para obtener posibles distribuciones de las partes, procurando minimizar el espacio y material utilizado. Las conclusiones de este análisis se encuentra en el Anexo 12.

Con este análisis, se obtuvo que la mejor distribución es el proyectado en la Figura 16.



**Figura 16: Aproximación de dimensiones y distribución de los elementos.**

Nota. Fuente: Elaboración propia

#### *3.4.4.4 Flexibilidad del sistema*

El elemento de flexibilidad del sistema se trató de aplicar de dos maneras. La primera, aislando cada uno de las partes del AS/RS y buscar formas de hacer esa parte en cuestión más flexible de manera individual. La segunda fue considerar cómo se puede hacer que el sistema sea más flexible.

El elemento de flexibilidad otorgó más dinamismo y pertinencia al proyecto AS/RS por proponer, introduciendo nuevas ramificaciones originales del producto por diseñar.

#### *3.4.4.5 Selección de accionadores*

Un elemento crucial que tienen en común todos los sistemas de almacenamiento automático son sus accionadores.

Groover, M.P. (2001, p.70) define los accionadores como “dispositivos de hardware que físicamente llevan a cabo las acciones de control, tal como un motor eléctrico o una válvula de flujo.” Mientras que Zupan, M., Asby, M.F. & Fleck, N. A. (2002, p.1) los definen como “dispositivos controlables que producen trabajo.”

Bajo estas definiciones, el accionador abarca todo lo que físicamente provoca el movimiento e incluye el motor, el reductor, variador/inversor y el mecanismo de accionamiento. Zupan, M., Asby, M.F. & Fleck, N. A. (2002) explican que los accionadores forman la parte activa de un sistema y por sistema se refiere no sólo al accionador en sí, pero incluye la fuente de energía y si es necesario, el dispositivo que convierte la fuente de poder en una forma que el accionador pueda aceptar: el variador.

Existen muchos métodos de accionamiento; se pueden usar accionamientos neumáticos, hidráulicos, eléctricos, mecánicos y electrohidráulico. (IHS GlobalSpec, 2014). El accionador más usado en esta aplicación es el eléctrico.

El accionador puede abarcar muchos conceptos que quedan fuera del alcance de esta tesis y podría ser mejor un tema de investigación para un ingeniero eléctrico y/o un ingeniero en mecatrónica.

Más aún es importante conocer los accionadores candidatos para generar el movimiento y funcionamiento correcto del AS/RS. Es por esto que surge la necesidad de profundizar la investigación en este tema en específico. Para comprender un poco más el tema, se realizó una investigación documental sobre accionadores lineales y motores eléctricos distinguiendo tipos, características, ventajas y desventajas. Esta información se obtuvo de un análisis de mercado, de consulta en libros, artículos de revista y videos, y se afianzó con la proyección de un mapa conceptual que ayuda a organizar la información adquirida (Anexo 13) y una tabla comparativa que lista algunas ventajas, desventajas y características de cada accionador. (Anexo 14)

También se apoyó sobre la investigación documental y de mercado previamente realizada sobre los AS/RS para entender qué accionadores se aplican en los sistemas de almacenamiento automático, ya sea para aplicaciones industriales, educacionales o experimentales y se valoraron al mismo tiempo otras características de esos sistemas como por ejemplo dimensiones, capacidades del sistema, tiempo de funcionamiento y rendimientos. Éste ejercicio ayudó a profundizar conocimientos sobre el tema y observar e identificar cuáles son los accionadores más usados. De esta investigación se obtuvieron dos tablas; la Tabla 12 describe qué accionadores se usan para qué ejes de movimiento en qué ambientes de trabajo, mientras la Tabla 13 cuenta únicamente las incidencias de cada sistema de accionamiento dentro de los productos investigados.

Tabla 12.

**Accionadores usados por cada AS/RS en los distintos ejes de movimiento.**

<b>Autor o empresa</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Autor/empresa</b>	<b>Producto</b>	<b>Tipo de mecanismo usado en X</b>	<b>Tipo de mecanismo usado en Y</b>	<b>Tipo de mecanismo usado en Z</b>
empresa	educación	Dimotec	-	-	-	-
empresa	educación	Festo	iCIM- festo didactic	Banda de transmisión	-	Horquilla telescópica
empresa	educación	Festo	AFB automatic warehouse station	Timing-belt drive	Timing-belt drive	rodless linear unit
empresa	educación	Intelitek	ASRS-36U	Timing-belt drive	tornillo de potencia	gripper estilo montacargas
empresa	educación	Labvolt	Model 5940 - Storage Unit	Husillo de bolas	Husillo de bolas	válvula neumática
empresa	industria	Bastian solutions	unit load-swisslog	motor con llanta motriz	sistema de izado con cable y poleas	Horquilla telescópica
empresa	industria	Daifuku	unit load	motor con llanta motriz	Cadena de transmisión	Horquilla telescópica
empresa	industria	Daifuku	mini-load	motor con llanta motriz	Cadena de transmisión	Banda transportadora
empresa	industria	Makino	Modular Machining Complex (MMC2) t	-	-	-
empresa	industria	Mecalux	Monocolumna MTs	motor con llanta motriz	sistema de izado con cable y poleas	Horquilla telescópica
empresa	industria	Okuma	palletace- M	Cremallera	Cadena de transmisión	Horquilla telescópica
empresa	industria	Okuma	Palletace- C	motor con llanta motriz	Husillo de bolas	parallelogram pallet-handling mechanism
empresa	industria	Schaefer	unit load	motor con llanta motriz	sistema de izado con cable y poleas	Horquilla telescópica
empresa	industria	Stockling	Boxer	Banda de transmisión doble	sistema de izado con cable y poleas	Banda transportadora
empresa	industria	Stockling	Master	Banda de transmisión doble	sistema de izado con cable y poleas	Horquilla telescópica
empresa	industria	zimmer&kreim	Chameleon	Cremallera helicoidal	Cadena de transmisión	Cadena de transmisión
autor	investigación	Suell D. M.	ASRS para fines didácticos	Tornillo de potencia	tornillo de potencia	cilindro neumático

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 13.

**Incidencias de tipos de accionadores usados en los AS/RS**

<b>Tipo</b>	<b>Accionador</b>	<b>x</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
Accionamiento por correa	Timing-belt drive	2	1	
Accionamiento por correa	Cadena de transmisión		4	1
Accionamiento por correa	Banda de transmisión	<b>3</b>		
Accionamiento por correa	Banda transportadoras			2
Accionamiento de tornillo	Husillo de bolas	1	2	
Accionamiento de tornillo	tornillo de potencia	1	2	
Accionamiento de tornillo	cremallera	2		
Accionamiento de barra	rodless linear unit			1
Accionamiento de barra	válvula neumática			1
Accionamiento de barra	cilindro neumático			1
Accionador rotatorio	sistema de izado con cable y poleas		<b>5</b>	
Accionador rotatorio	motor con llanta motriz	<b>6</b>		
Gripper	gripper estilo montacargas			1
Gripper	horquilla telescópica			<b>7</b>
Otro	parallelogram pallet-handling mechanism			1
Otro	-	2	3	2

Nota. Fuente: Elaboración propia

Las tareas de enlistar los accionadores usados en otros AS/RS, investigar sobre las características de motores y mecanismos de accionamiento y el desarrollo de tablas de comparación y mapas mentales ayudaron a reducir la gama de opciones disponibles para elegir un accionador, resultando en las siguientes opciones presentadas en la Tabla 14

Tabla 14.

**Cuadro de elección de accionamientos posibles para cada eje de movimiento**

Tipo	Transmisión	Eje X	Eje Y	Eje Z
Accionamiento de tornillo	tornillo de potencia	✓	✓	
Accionamiento de tornillo	husillo de bolas	✓	✓	
Accionamiento por correa	banda dentada	✓		✓
Accionamiento por correa	banda de transmisión	✓		
Accionamiento por correa	cadena de transmisión	✓		✓
Cremallera	cremallera	✓		
Accionador rotatorio	izado con cable y poleas		✓	
Motor lineal	motor lineal	✓	✓	✓
Accionamiento de barra	rodless linear unit			✓

Nota. Fuente: Elaboración propia

Una vez que se eligió el mecanismo de accionamiento, fue posible realizar los cálculos necesarios para seleccionar algunos motores posibles. Se utilizaron dimensiones aproximadas y valores reales de posibles mecanismos de acción para realizar los cálculos de torque y potencia que requiere el sistema y calcular la inercia que genera el mecanismo de accionamiento. Esto cálculos son presentados en el Anexo 15.

Esta primera etapa de cálculos se hicieron de manera exploratoria.

Los valores que se utilizaron para buscar en el mercado un motor que se acercara a lo que requiere el sistema son los siguientes detallados en la Tabla 15, la Tabla 16 y la Tabla 17.

Con los valores calculados se buscaron motores que pudieran brindar un buen rendimiento dadas sus cualidades. Los motores hallados se han descrito en la Tabla 18. Estos posibles motores se usaron como consideraciones para diseñar el sistema AS/RS aunque se respetó todavía cierta variabilidad en cuanto a su forma de montaje, al reductor que se pudiera montar, las dimensiones de acoplamiento, peso, etc.

Tabla 15.  
**Valores para la selección del motor en el eje “Z”**

<b>Datos de entrada</b>	
Peso a soportar por el motor (kg)	27.76
Actuador	Tornillo móvil (lead screw) con gripper estilo montacargas
Distancia de recorrido (cm)	38
Velocidad de traslación requerida (cm/s)	5
Factor de distancia de recorrido a velocidad constante	1/3
Distancia de recorrido de velocidad constante (cm)	12.7
Tiempo de recorrido (s)	8
Aceleración (cm/s <sup>2</sup> )	1.973684211
Voltaje de suministro (volts)	12 a 24 V
<b>Mecanismo de accionamiento</b>	
pitch (lead ) (mm)	Horquilla telescópica 2
Diámetro(mm)	10
$\mu$ Coeficiente de fricción	0.3
$\eta$ Velocidad de rotación (rpm)	1500
$\omega$ Velocidad angular (rad/s)	157.08
$\alpha$ Aceleración angular	592.11
eficiencia	0.75
$\rho$ Densidad específica	7900.00
<b>Cálculos</b>	
Fuerza de aceleración (N)	0.5479
Fuerza de fricción (N)	8.3279
Fuerza Total (N)	-7.7800
Potencia lineal (watts)	0.3890
Potencia (watts)	0.3890
Torque (joule)	0.0025
inercia de mecanismo (joule)	2.95E-06
Inercia de carga (kg*m <sup>2</sup> )	2.83E-06
Inercia del sistema (kg*m <sup>2</sup> )	5.78E-06
Momento de inercia(kg*cm <sup>2</sup> )	5.76E-02
Revoluciones que da por recorrido	190
<b>Datos salida</b>	
$\eta$ Velocidad de rotación (rpm)	1500.0000
Potencia (watts)	0.3890
Torque (joule)	0.0025
Inercia del sistema (kg*cm <sup>2</sup> )	5.78E-06

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 16.

**Valores para la selección del motor en el eje “Y”**

<b>Datos de entrada</b>			
Peso a soportar por el motor (kg)	32.31964921	32.31964921	32.31964921
Actuador	Tornillo móvil	mecanismo de izado con cables y poleas A	mecanismo de izado con cables y poleas D
Distancia de recorrido (cm)	82.7	82.7	82.7
Velocidad de traslación requerida (cm/s)	5	5	5
Factor de distancia de recorrido a velocidad constante	0.333333333	0.333333333	0.333333333
Distancia de recorrido de velocidad constante (cm)	27 4/7	27 4/7	27 4/7
Tiempo de recorrido (s)	16.5	16.5	16.5
Aceleración (cm/s <sup>2</sup> )	1	1	1
Voltaje de suministro (volts)	12 a 24 V	12 a 24 V	12 a 24 V
<b>Mecanismo de accionamiento</b>			
pitch (lead ) (mm)	4		
Diámetro(mm)	20	70	30
μ Coeficiente de fricción	0.3		
η Velocidad de rotación (rpm)	750	13.64182036	31.83091418
ω Velocidad angular (rad/s)	78.54	1.428571429	3.33
α Aceleración angular	136.0338573	2.474332593	5.773442718
eficiencia	0.75	0.75	0.75
ρ Densidad específica	7900	7900	7900
<b>Cálculos</b>			
Fuerza de aceleración (N)	0.293104437	0.293104437	0.293104437
Fuerza de gravedad (N)	317.0558	317.0558	317.0558
Fuerza Total (N)	-316.7627	-316.7627	-158.2348
Potencia lineal (watts)	15.8381	15.8381	7.9117
Potencia (watts)	15.8381	15.8381	7.9117
Torque (joule)	0.2017	11.0867	2.3735
inerencia de mecanismo (joule)	0.0001		
Inercia de carga (kg*m <sup>2</sup> )	1.32E-05		
Inercia del sistema (kg*m <sup>2</sup> )	1.16E-04		
Momento de inercia(kg*cm <sup>2</sup> )	1.16E+00		
Revoluciones que da por recorrido	2.07E+02		
<b>Datos salida</b>			
η Velocidad de rotación (rpm)	750	13.64182036	32
Potencia (watts)	15.8381	15.8381	7.9117
Potencia (hp)	0.0212	0.0212	0.0106
Torque (joule)	0.2017	11.0867	2.3735
Inercia del sistema (kg*cm <sup>2</sup> )	1.16E+00	0.00E+00	0.00E+00

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 17.  
**Valores para la selección del motor en el eje “X”**

<b>Datos de entrada</b>			
Peso a soportar por el motor (kg)	53.80	53.80	53.80
	Tornillo móvil	Tornillo móvil con husillo de bolas	piñón y cremallera
Actuador			
Distancia de recorrido (cm)	169.5	169.5	201.8
Velocidad de traslación requerida (cm/s)	10	10	10
Factor de distancia de recorrido a velocidad constante	1/3	1/3	1/3
Distancia de recorrido de velocidad constante (cm)	56.5	56.5	67.3
Tiempo de recorrido (s)	17	17	20
Aceleración (cm/s <sup>2</sup> )	1.769911504	1.769911504	1.486620416
Voltaje de suministro (volts)	12 a 24 V	12 a 24 V	12 a 24 V
<b>Mecanismo de accionamiento</b>			
pitch (lead ) (mm)	4	10	7.854
Diámetro(mm)	16	20	24
μ Coeficiente de fricción	0.3	0.15	0.3
η Velocidad de rotación (rpm)	1500	600	79.58
ω Velocidad angular (rad/s)	157.08	62.832	8.333333333
α Aceleración angular	265.49	106.19	11.83
eficiencia	0.75	0.75	0.75
ρ Densidad específica	7900.00	7900.00	7900.00
<b>Cálculos</b>			
Fuerza de aceleración (N)	0.9523	0.9523	0.7998
Fuerza de gravedad (N)	158.3404	79.1702	158.3404
Fuerza Total (N)	-157.3881	-78.2179	-157.5406
Potencia lineal (watts)	15.7388	7.8218	15.7541
Potencia (watts)	15.7388	49.1459	15.7541
Torque (joule)	0.1002	0.7822	1.8905
inerencia de mecanismo (joule)	8.62E-05	2.10E-04	
Inercia de carga (kg*m <sup>2</sup> )	2.20E-05	1.37E-04	8.46E-05
Inercia del sistema (kg*m <sup>2</sup> )	1.08E-04	3.48E-04	8.34E-03
Momento de inercia(kg*cm <sup>2</sup> )	1.08E+00	3.47E+00	8.34E+01
Revoluciones que da por recorrido	423.75	169.50	256.94
<b>Datos salida</b>			
η Velocidad de rotación (rpm)	1500	600	80
Potencia (watts)	15.7388	49.1459	15.7541
Potencia (hp)	0.0211	0.0659	0.0211
Torque (joule)	0.1002	0.7822	1.8905
Inercia del sistema (kg*cm <sup>2</sup> )	1.08E+00	3.47E+00	8.34E+01

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 18.  
Motores posibles

Eje	Actuador	Valores calculados			Marca	Modelo	Tipo de motor	Mono fásica - Tri fásica	Ración de reducción	Dimensiones (mm)			peso (kg)	Inercia del rotor (Kg*cm <sup>2</sup> )	Inercia de carga (kg*cm <sup>2</sup> )	Velocidad (rpm)	Potencia (W)	Torque (Nm)
		Velocidad (rpm)	Torque generado (Nm)	Inercia del sistema (kg*cm <sup>2</sup> )						Ancho (mm)	Altura (mm)	profundidad (mm)						
x	Tornillo móvil con husillo de bolas	600	0.1275	3.47E+00	Panasonic	<b>M9MX40SK4YG A</b>	compact gear	tri fásica		90	90	108	1.362	0.735		40		
x					Motion Dynamics	<b>GPG 60 mm 15W / con reductor</b>	DC con escobillas			_5:1	61	61	114			640	15	0.198
x	Piñón y cremallera	80	1.8905	8.34E+01	Bison	<b>Sharq VWDIR03 Right Angle Universal Vented 115 V</b>		tri fásica	_52:1				3.2		90	49.71	2.03	
x	Piñón y cremallera	86.81	4.26	7.41E-01	Baldor	<b>MT-4090-BLYCE</b>	Servomotor DC		_25:1	108.0	108.0	280.6	9.98	27.14	92		4.5	
x	Piñón y cremallera	86.81	1.75	7.41E-01	Maxon motor	<b>RE-max 29 29-part no. 226751</b>	DC sin escobillas			29	29	44.7	0.15	0.0109	502	13	0.0156	
y	Tornillo móvil	750	0.201	1.60E+00	Fracmo	<b>CTMI</b>	DC sin escobillas			87	87	66	1.9		3790	250	1	
y	mecanismo de izado con cables y poleas	13.64	11.086	-	Bodine Electric company	<b>N1679</b>	AC	monofásica	5	-	-	231	6.8		280	100	2.9	
y	mecanismo de izado con cables y poleas	13.64	11	-	Parvalux	<b>SD21SWS</b>	AC induction (SD)			115	166	230	6		1.0-71.0	8.0-25.0	1.9-11.0	
Z	Tornillo móvil	1500	0.003	5.78E-06	Panasonic	<b>M4RA1G4L</b>	reversible motor (lead wire)	inducción monofásica		42	42	86	0.3	0.027	0.0125	1550	1	0.0062

Nota. Fuente: Elaboración propia

#### **3.4.4.6** *Determinación de la estética del AS/RS*

Para abordar el problema del aspecto visual del producto, normalmente se tendría que hacer un estudio entre los usuarios y el cliente para determinar los valores que buscan en un producto de este tipo y los valores estéticos y conceptuales a los que les atribuyen mayor importancia. Mas este objetivo queda fuera de los alcances de la y por consecuencia se ha abordado este aspecto del producto únicamente de manera superficial.

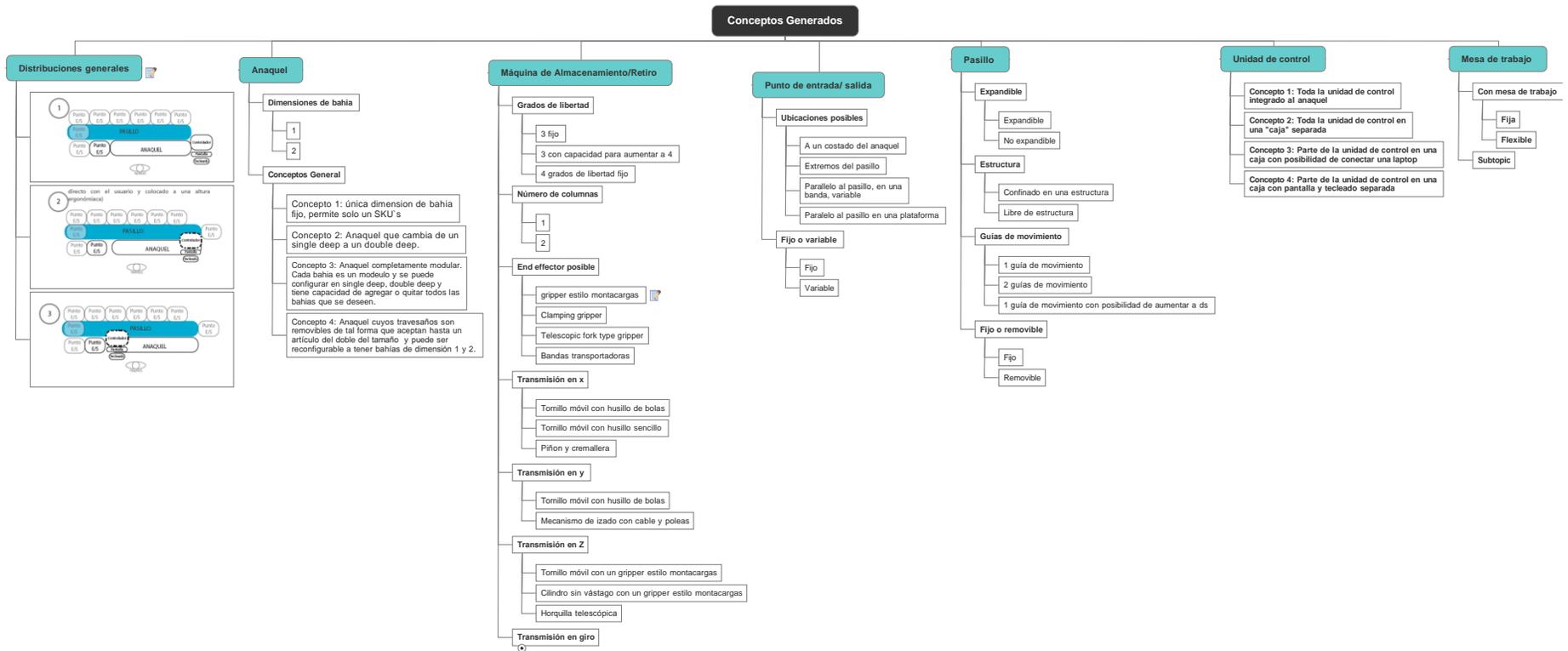
Se han determinado los valores gracias a las observaciones realizadas durante el benchmarking y por tendencias estéticas entre productos similares. Dentro de los valores estéticos que se busca manifestar visualmente se han seleccionado tres principales:

- Sencillez
- Modernidad/tecnología/novedad
- Preservar el carácter didáctico

Se busca presentar estos valores mediante el uso de tapas y cubiertas que puedan dar un mayor agregado visual. Ordenando los cables y las conexiones. Usar iluminación y/o señales para apoyar el fin didáctico. Se procurará preservar un aspecto limpio y ordenado, y tener cuidado con los acabados. Se buscará mantener una uniformidad entre las partes en cuanto al uso de formas y colores para integrar visualmente todas las partes separadas en un mismo conjunto.

#### **3.4.5** **Árbol de conceptos**

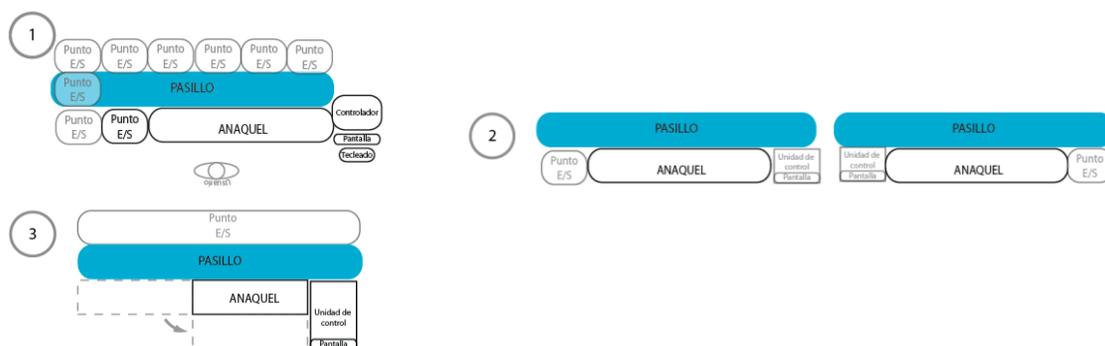
Al realizar el previo análisis se determinó un rango de posibles configuraciones para cada una de las partes. Éstas se organizaron en un diagrama de árbol que identifica las disposiciones posibles que pueden tomar cada una de las partes. El diagrama de la Figura 17 se usó como herramienta para derivar un número de combinaciones distintas entre sí integradas por las múltiples versiones de las partes.



**Figura 17 Diagrama de árbol de configuraciones de partes para la generación de conceptos de ASRS**  
 Nota. Fuente: Elaboración personal

El Anexo 16 muestra el cálculo del número de diferentes combinaciones que se pueden conseguir variando cada una de las cuestiones listadas en el diagrama de árbol de configuraciones de partes para la generación de concepto de la Figura 17. La cantidad de combinaciones de conceptos posibles es de más de 550,000. (Anexo 16). Debido a lo cual se limitó a extraer los conceptos mas importantes y hacer combinaciones notablemente disímiles entre sí.

Varios conceptos surgieron a partir de este ejercicio; cinco de ellos fueron seleccionados y son descritos en la Tabla 19. Esta tabla usa como referencia las distribuciones en planta propuestas en la Figura 18.



**Figura 18 Distribuciones elegidas**

Nota. Fuente: Elaboración personal

Tabla 19.

**Descripción de los conceptos ASRS generados**

Distribución		Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4	Concepto 5	Concepto 6
		3	1 o 3	1 o 3	2 o 3	2 o 3
Anaqueles	Conceptos de anaquel	Única dimensión de bahía fijo, permite solo SKU's	Anaqueles que cambian de una sola profundidad a una doble profundidad	Única dimensión de bahía fijo, permite solo SKU's  16 bahías (4x4) expandible con un segundo anaquel. Con o sin ventana	Anaqueles cuyos travesaños son removibles de tal forma que aceptan hasta un artículo del doble del tamaño y puede ser reconfigurable a tener bahías de dimensión 1 y 3.  2 dimensiones de bahía y cuenta con un acrílico para admitir introducción manual de artículos.	Anaqueles completamente modulares. Cada bahía es un módulo y se puede configurar en profundidad sencilla y de doble profundidad. Tiene capacidad de agregar o quitar todas las bahías que se deseen y cambiar de número de columnas e hileras.
Máquina de almacenamiento / retiro	grados de libertad	3 grados, fijo	3 grados, fijo	3 grados, fijo	4 grados, fijo	3 grados, con posibilidad de 4
	número de columnas	1	2	1	2	1
	efector final	tipo montacargas	horquilla telescópica	tipo montacargas	tipo montacargas	clamping gripper
	transmisión en x	uno fijo	Piñón y cremallera fijo	uno fijo	admite varios	motor lineal
	transmisión en y	uno fijo	tornillo con husillo de bolas	uno fijo	admite varios	motor lineal
transmisión en z	uno fijo	horquilla telescópica	uno fijo	admite varios	motor lineal	
transmisión en giro	N/A	N/A	N/A	admite varios	admite varios	
Pasillo	Fijo o variable Expandible Estructura Guías de movimiento	Fijo  no libre de estructura 1 carril de guía	variable (puede intercambiar de lugar con el anaquel) si libre de estructura 1	fijo  no libre de estructura 1 guía con posibilidad de 2	fijo  no libre de estructura 1 guía con posibilidad de 2	variable  no con estructura 2 guías de movimiento
Punto de entrada/salida	ubicación  fijo o variable	A un costado del anaquel  fijo	paralelo al pasillo  variable (pero restringido al costado del pasillo)	al final del pasillo  Variable (puede ser en cualquiera de los dos costados del pasillo o paralelo al pasillo)	paralelo o al final del pasillo  variable (pero solo puede ser paralelo al pasillo o a un costado, pero no a lado del anaquel)	paralelo al pasillo  variable
unidad de control	concepto	Toda la unidad de control integrada al anaquel	Toda la unidad de control en una "caja" separada	Parte de la unidad de control en una caja con pantalla y teclado separados ubicado en el lado opuesto del punto de entrada/salida	Parte de la unidad de control en una caja con posibilidad de conectar a una laptop	Parte de la unidad de control en una caja con posibilidad de conectar a una laptop
mesa de trabajo	concepto	fija, no permite que los elementos cambien de ubicación	fija, pero admite que el pasillo y el anaquel intercambien de posición.	fijo	flexible	flexible (admite cambios en la altura de la mesa)

Nota: Las opciones de distribución hacen referencia a las representadas en la Figura 18

### 3.4.6 Evaluación de concepto

Se calificó, usando una escala del 0 al 5, el grado que satisfacen cada uno de los conceptos generados a los requerimientos de diseño. La Tabla 20 muestra la evaluación.

Tabla 20.  
Evaluación de los conceptos AS/RS generados

Row Number	Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Weight / Importance	Relative Weight	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4	Concepto 5	Concepto 6
1	Debe tener suficientes bahías para la práctica de un salón	5	7.69	5	5	5	5	5
2	Debe soportar el material a almacenar	5	7.69	5	5	5	5	5
3	Parecido a almacenes existentes	3	4.62	5	4	5	5	4
4	Que use el mínimo de energía	3	4.62	3	3	3	3	4
5	Que se pueda integrar en una célula de manufactura flexible	4	6.15	4	4	5	5	4
6	Que el ASRS se pueda cambiar de ubicación fácilmente	4	6.15	2	2	3	5	4
7	Que el ASRS tenga dimensiones adecuadas para insertarse en el	2	3.08	5	5	5	5	5
8	Que tenga capacidad de expansión y futuras mejoras	3	4.62	2	2	3	4	5
9	Seguridad	4	6.15	5	4	5	5	4
10	Sencillo de usar	5	7.69	5	4	5	5	2
11	Que facilite su exposición a grupos grandes	3	4.62	4	4	5	3	3
12	Que sea cómodo de usar	2	3.08	3	4	4	5	2
13	Que pueda ser utilizado cómodamente por un equipo de personas	1	1.54	4	4	4	4	3
14	Que facilite su mantenimiento	2	3.08	3	3	3	3	2
15	Durable bajo condiciones de un espacio cerrado	3	4.62	5	5	5	5	5
16	Resistente a usos inadecuados	4	6.15	5	5	5	5	5
17	Que sea estético	3	4.62	5	4	5	5	4
18	Que sea económico	4	6.15	5	3	4	3	2
19	Que en su mayoría pueda ser elaborado en la UTM	5	7.69	5	5	5	5	4
				4.211	3.947	4.421	4.474	3.789

Nota. Fuente: Elaboración personal

### 3.4.7 Concepto final

El concepto ganador fue el concepto número 5, que se describe de la siguiente manera:

El anaquel contará con travesaños removibles de tal forma que forma que aceptan hasta un artículo del doble del tamaño. Contará con dos dimensiones de bahía posibles y tendrá una ventana.

Su máquina de almacenamiento y retiro será de dos columnas, con un efector final estilo montacargas, contará con 4 grados de libertad. Permitirá la instalación de varios tipos de mecanismo de accionamiento (no al mismo tiempo). Su pasillo será fijo y no permitirá una expansión en el pasillo(a diferencia de lo que se había considerado en otras opciones).

Contará con dos guías de movimiento para apoyar el movimiento de la máquina de almacenamiento y retiro a lo largo del eje x o trayectoria longitudinal.

La ubicación de un punto de entrada y salida será variable.

Parte de la unidad de control quedará contenido en un tablero de distribución y otra parte quedará al alcance del usuario y permitirá la conexión de una computadora.

Se considerará colocar una mesa de trabajo que permita su almacenamiento.

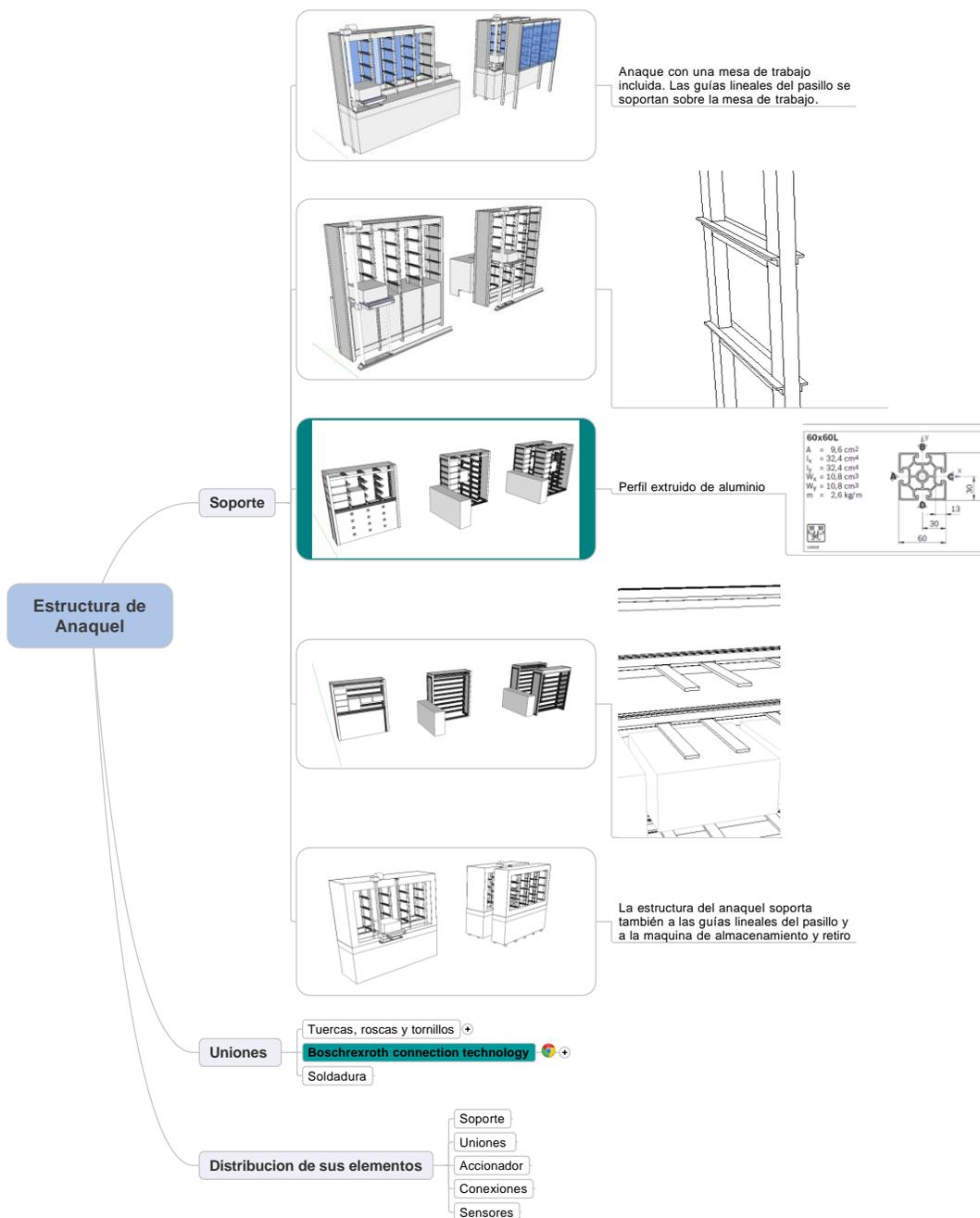
### **3.5 Diseño de las partes**

Se bocetaron ideas de estructuras diferentes para cada una de las partes. Respetando lo que antes se había definido como estructura, para cada parte se bocetó soporte, articulaciones o uniones y distintas distribuciones de los componentes que integraban cada idealización de parte, pero respetando el concepto final del sistema completo elegido.

Los bocetos se realizaron a mano alzada y posteriormente se modelaron virtualmente. Los modelos obtenidos en esta etapa son ideas semifinalistas y quedan atadas a la viabilidad de producción y a los análisis estáticos, por lo que todavía están atados a cambios.

A continuación se mostrarán algunos diagramas de árbol para la selección del diseño de cada una de las partes, comenzando con la Figura 19 que muestra el diagrama de árbol de conceptos de anaquel propuestos.s

### 3.5.1 Anaquel



**Figura 19 Diagrama de árbol del bocetaje de diseño del anaquel**

Nota: Las casillas remarcadas son el diseño final seleccionado. Fuente: Elaboración propia

### **3.5.2 Máquina de almacenamiento y retiro**

La máquina de almacenamiento y retiro es la parte con mayor complejidad porque es el que contiene mayor cantidad y en tipo de sub-ensamblajes y componentes. La Figura 20 muestra los sub-ensamblajes para los cuales se desarrollaron bocetos.

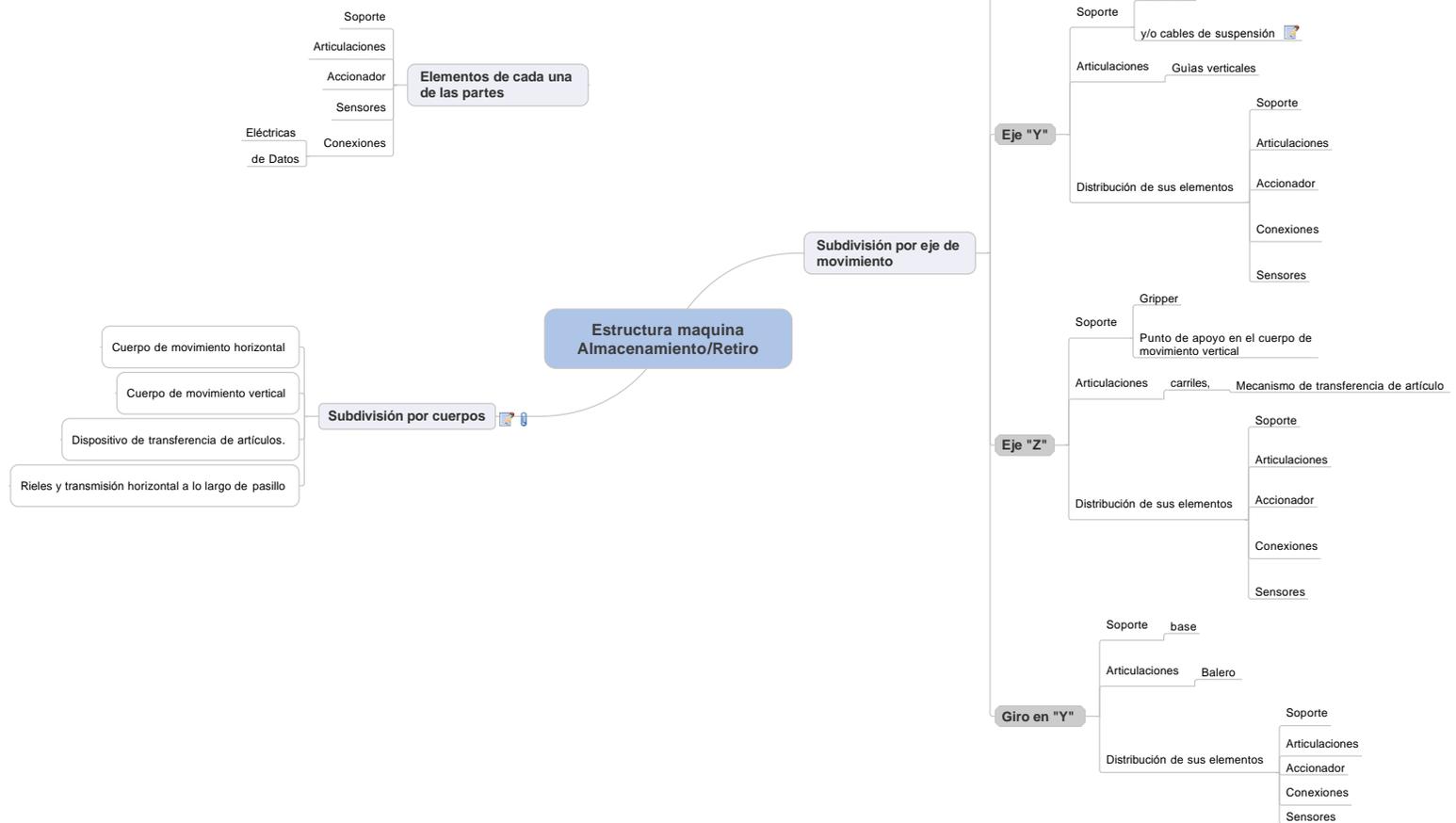
En esta parte también se realizó un diagrama de árbol para seleccionar las ideas finales y para aseverar que se han explorado opciones para todos los sub-ensamblajes involucrados

### **3.5.3 Punto de entrada y salida**

Se exploraron dos versiones de puntos de entrada y salida. La primera se bocetó ideándolo como si fuera parte del anaquel, aunque con capacidad de cambiar de lugar. El segundo se bocetó imaginándolo como un módulo separado al anaquel. La Figura 21 muestra las opciones bocetadas y el diagrama de árbol que se utilizó para seleccionar la mejor opción.

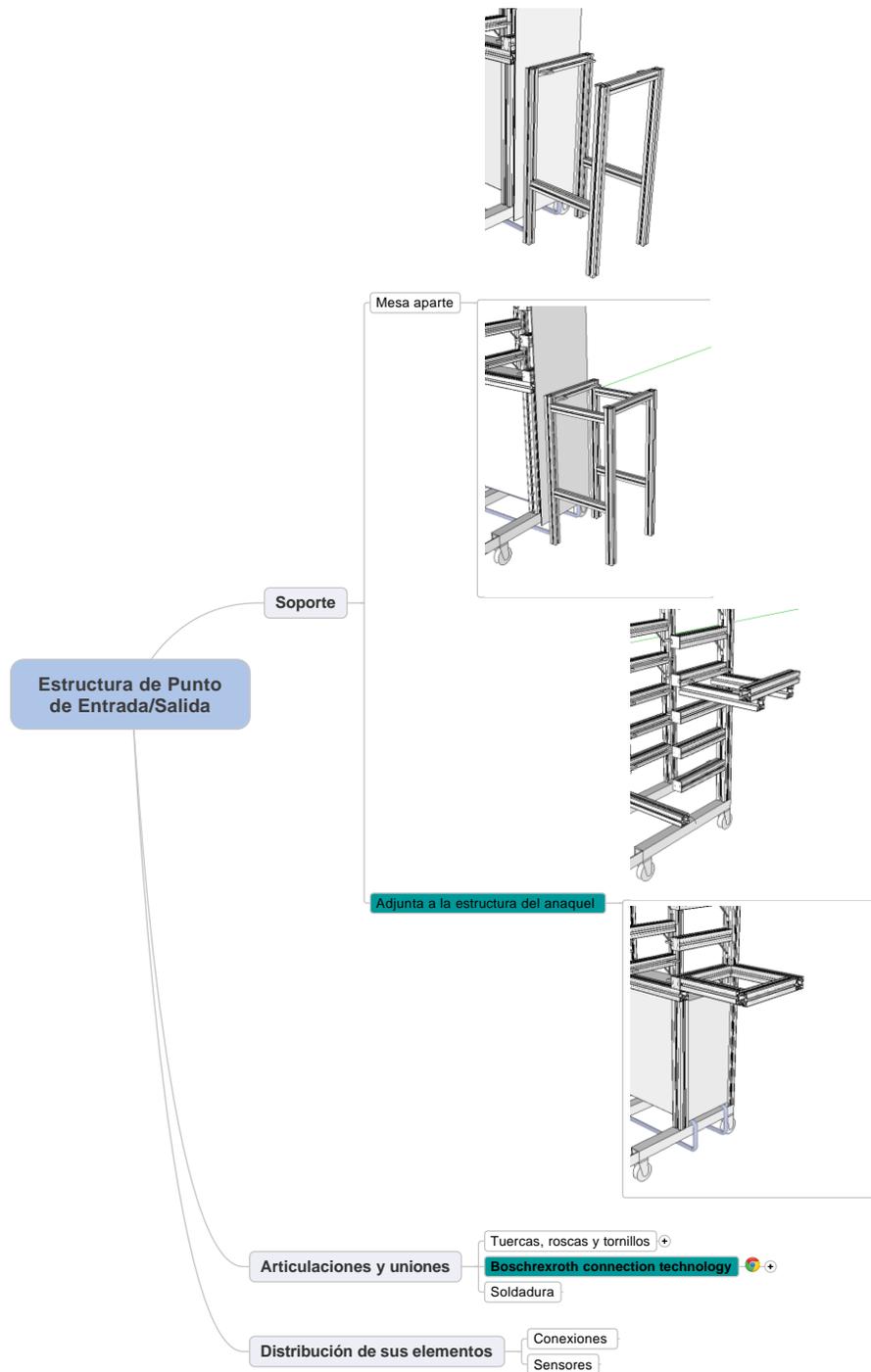
### **3.5.4 Pasillo**

Algunos de los bocetos del pasillo fueron elaborados al mismo tiempo que se conceptualizó el anaquel y el soporte del eje x de la máquina de almacenamiento y retiro porque cuentan con una fuerte interrelación. Sin embargo, la Figura 22 representa más de los conceptos realizados.



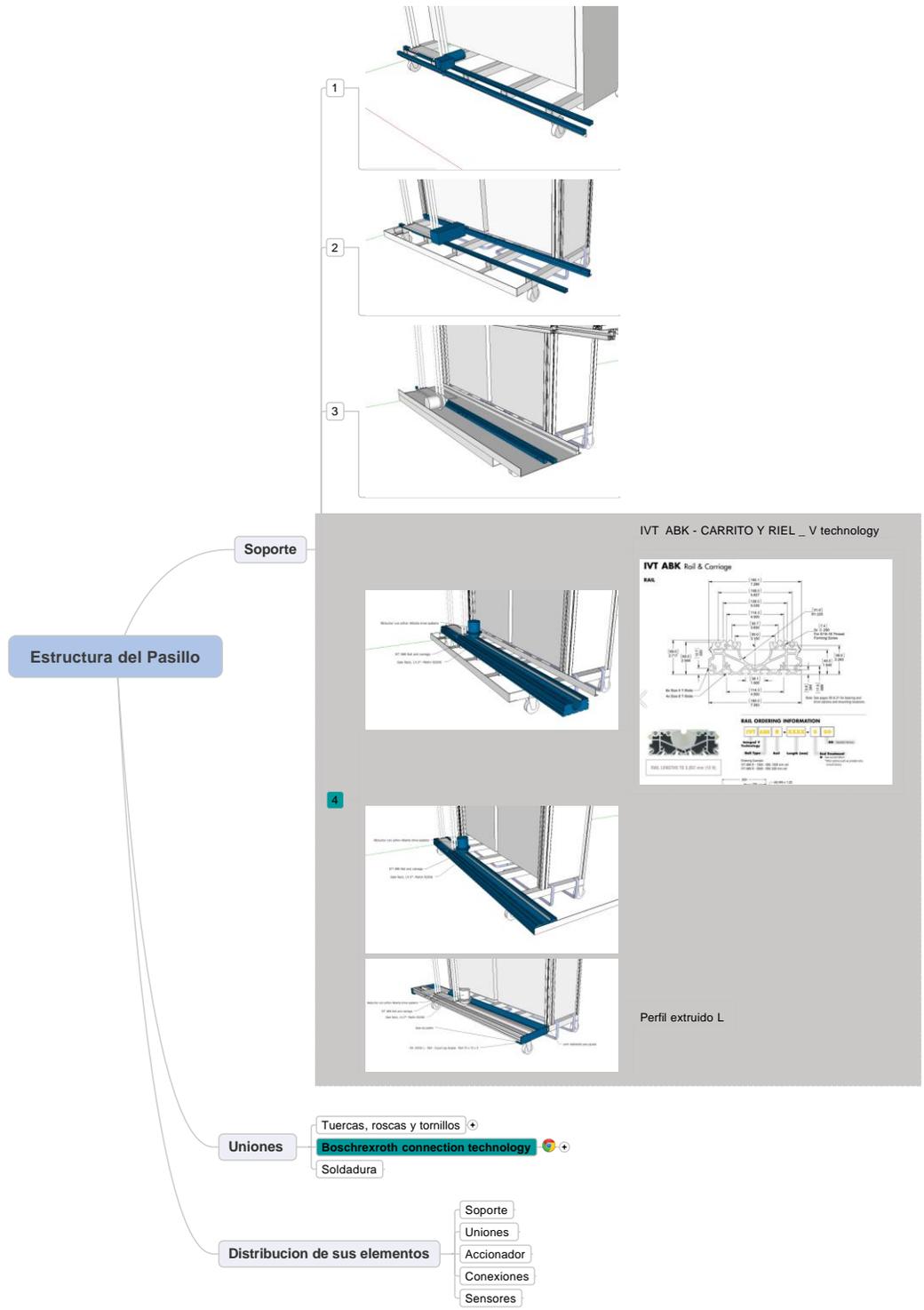
**Figura 20 Diagrama de árbol del bocetaje de diseño de la máquina de almacenamiento y retiro**

Nota: Por cuestiones de practicidad en la representación, el diagrama completo con los bocetos viene adjunto en el disco complementario . Fuente: Elaboración propia



**Figura 21 Diagrama de árbol del bocetaje del diseño del punto de entrada/salida**

Nota: Fuente: Elaboración propia



**Figura 22 Diagrama de árbol del bocetaje del diseño del pasillo**  
 Nota: Fuente Elaboración propia

### **3.5.5 Unidad de control**

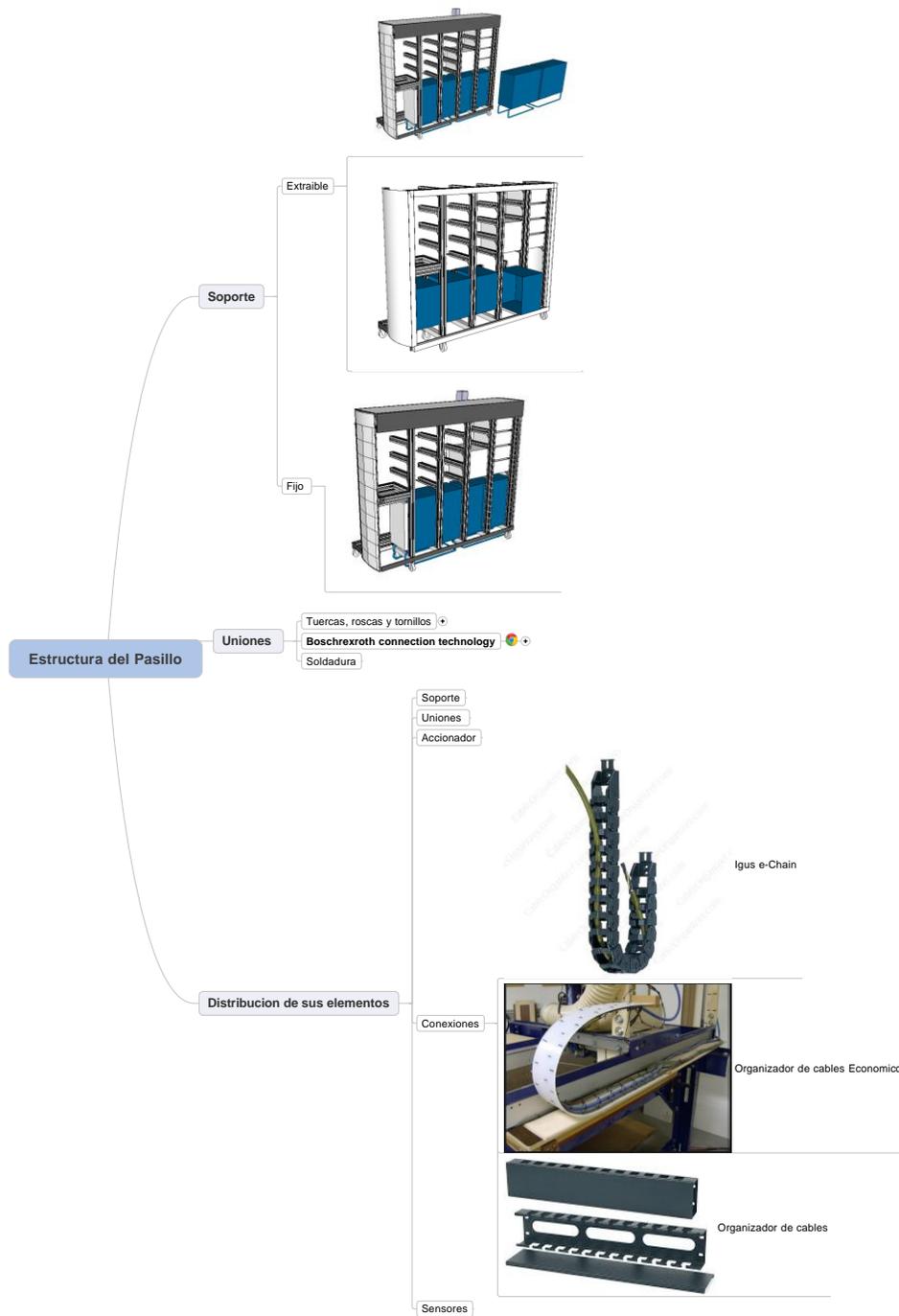
La unidad de control se consideró de manera conjunta con las otras partes que conforman en AS/RS, pues era necesario conceptualizar la integración del tablero o gabinete de la unidad de control y las conexiones con el resto del sistema. La Figura 23 muestra algunos conceptos de integración del tablero de control con el sistema.

El diseño de la estructura física de la unidad de control requirió tomar en cuenta otros datos.

Las premisas de diseño se tomaron de las Normas Oficiales Mexicanas, sobre instalaciones eléctricas: NOM - 001 – SEDE – 2012, Artículo 408 con el título de “Tableros de distribución y tableros de alumbrado y control.”

Se realizó una pequeña investigación de los tipos de control que se podrían utilizar para considerar el hardware necesario que se implementaría para llevarlo a cabo. Según Groover, M.P. (2001), existen cuatro categorías de control de robots. Control de secuencia limitada, control de reproducción de punto a punto, control de reproducción de trayectoria continua y control inteligente. De estos el control PTP (control de punto a punto) o el control de trayectoria continua son los más adecuados para el AS/RS.

Se puede contar con un controlador para los cuatro motores ó un controlador por motor. Hay una gran gama de posibilidades de control, tipos de conexiones que se pueden aplicar y todos dependen del tipo de accionador que se usa, del tipo de sensor, de la precisión que se requiere. En fin, todos estos son variables que no han sido definidos en su totalidad, entonces el diseño se procuró ser realizado para aceptar un amplia gama de opciones de conexión posibles.



**Figura 23 Diagrama de árbol del bocetaje de la unidad de control**  
 Nota: Fuente: elaboración propia

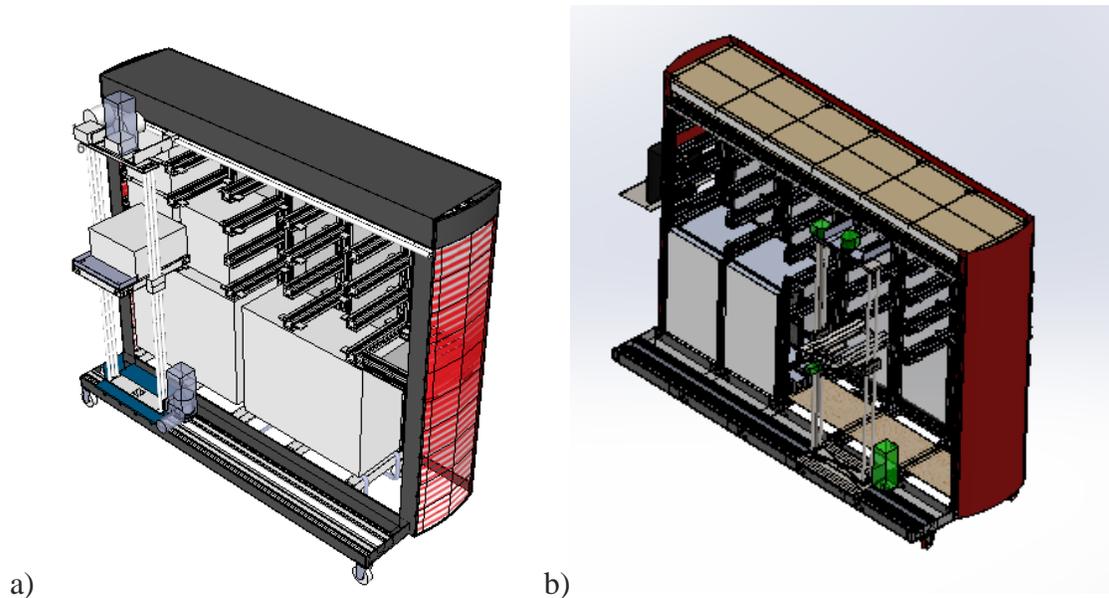
Además, al detallar el diseño se consideraron las dimensiones de los cables que requería el motor más potente. Y radios de dobléz mínimos para los cables involucrados.

Se buscó sobre que otros componentes podía tener el circuito de control: Sensores, variadores, reductores, capacitores, amplificadores, break de seguridad, transductores, etc. Se basó sobre los controladores que se recomendaban para los motores seleccionados.

Los sensores es importante considerarlos también en otras partes del AS/RS, pues son necesarios en el pasillo y en el anaquel del mismo para captar información del movimiento de la máquina de almacenamiento para que se puedan realizar la tarea de control.

También fue necesario considerar una parte de la unidad de control que esté en contacto directo con el usuario, y que no deba interrumpir el funcionamiento de la máquina para acceder a él. Esta sección puede ser un tablero de control o puede ser un espacio donde posibilite la conexión de un AS/RS.

## Capítulo 4. Diseño a detalle



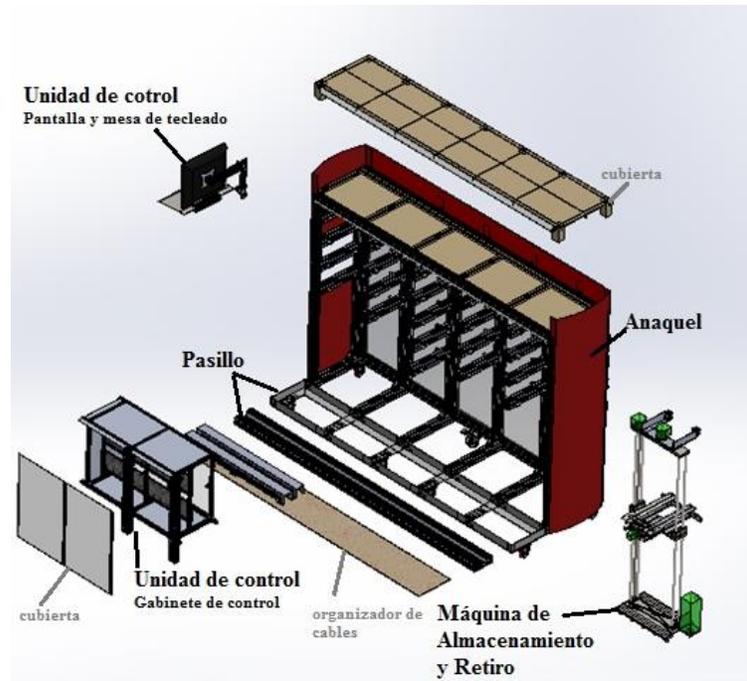
**Figura 24** Secuencias de modelos desarrollados del sistema AS/RS diseñado

Nota: a) Sistema AS/RS después de la definición de las partes, modelado en Sketchup. b) Sistema AS/RS modelado en SolidWorks. Fuente: elaboración propia.

El resultado de la definición de las partes del sistema obtuvo un modelo del AS/RS completo modelado en Sketchup. Se prosiguió a modelar el mismo objeto usando SolidWorks. (Figura 24) En este punto del diseño ya se tiene una idea bastante clara de los perfiles a usar como su estructura, a la disposición que tendrán las partes, número de algunos de los sub-ensambles y componentes. También se conoce el tipo de accionador a usar, el mecanismo de accionamiento y sus dimensiones, y se conoce bien en qué partes irán los cojinetes y las guías lineales. Lo que se tiene que definir todavía en esta etapa de diseño son los elementos de unión y forma de ensamblado de los componentes, de los cojinetes, etc. Estos son los detalles a los que se enfoca la atención durante esta fase de diseño.

El proceso de diseño a detalle es retroalimentado por los análisis por elemento finito (FEA por sus siglas en inglés “*Finite Element Analysis*”) realizados sobre el modelo en SolidWorks, optimizando los componentes y sub-ensamblajes según fuera necesario por

razones de ineffectividad o para optimizar rendimiento y reducir costos. La Figura 25 muestra las partes del AS/RS diseñado. A continuación se presentarán los análisis realizados que dieron forma a las piezas del AS/RS.



**Figura 25 Partes del sistema AS/RS diseñado**

Fuente: Elaboración propia

## 4.1 Análisis estáticos

Los análisis por elemento finito se efectuaron sobre piezas clave del diseño de las partes del AS/RS en lugar de realizarlo sobre el sistema completo, por razones de efectividad.

Se definieron antes que nada las dimensiones de la unidad de carga presentadas en la Tabla 21. Subsecuentemente se realizaron análisis sobre las partes que tienen contacto directo con la unidad de carga, éstas son el cuerpo de almacenamiento y retiro y los travesaños que conforman a las bahías de almacenamiento en el anaquel. Se prosiguió así porque éstas partes dependen únicamente de que si soportan o no la unidad de carga. Las piezas remanentes se derivan de las características de estas primeras piezas analizadas.

Tabla 21.

**Dimensión de la unidad de carga para los análisis estáticos.**

	largo (cm)	profundidad (cm)	altura (cm)	Peso (kg)
Dimensiones de palet	35.5	35.5	1.905	2.23
Dimensiones máximas de artículo a almacenar	30	30	15	7.2
Dimensiones máximas de UNIDAD DE CARGA	35.5	35.5	16.905	9.43

Conforme se iban definiendo estas partes, se fueron detallando sobre los demás sub-ensambles. En el caso del anaquel, se estudió en el siguiente orden progresivo:

- Lengüeta de apoyo y travesaño de bahía<sup>37</sup>
- Columnas
- Travesaño inferior de la estructura del anaquel
- Llantas de apoyo

Para la máquina de almacenamiento y retiro se estudió en el siguiente orden:

- Efector final estilo montacargas
- Cuerpo de almacenamiento y retiro
- Testero del cuerpo de movimiento vertical
- Cuerpo de movimiento vertical
- Columnas de la máquina de almacenamiento y retiro
- Testero superior de la máquina de almacenamiento y retiro
- Testero inferior de la máquina de almacenamiento y retiro

Del pasillo se analizó en el siguiente orden:

- Carril de movimiento inferior
- Cajón de pasillo

---

<sup>37</sup> Como es el mismo perfil usado para el punto de entrada y salida, se consideró que ya se había realizado el estudio estático para esta parte.

De la unidad de control se hizo estudios sobre

- Tablero de control (interior)
- Tablero de control (exterior)

A continuación se describe en análisis realizado para cada parte:

#### 4.1.1 Anaquel

##### 4.1.1.1 Lengüeta de apoyo y travesaño de bahía<sup>38</sup>

La carga que se consideró para la lengüeta de apoyo es de 9.44 kg lo que corresponde a 92.61 N. Esta carga en realidad es mayor de lo que en realidad cargará esta pieza, pues el peso de la carga sobre el anaquel estará distribuido sobre cuatro lengüetas de apoyo. Pero se hizo esta consideración para analizar su funcionamiento en su punto crítico. Los materiales usados para la lengüeta están descritos en la Tabla 22.

Tabla 22.

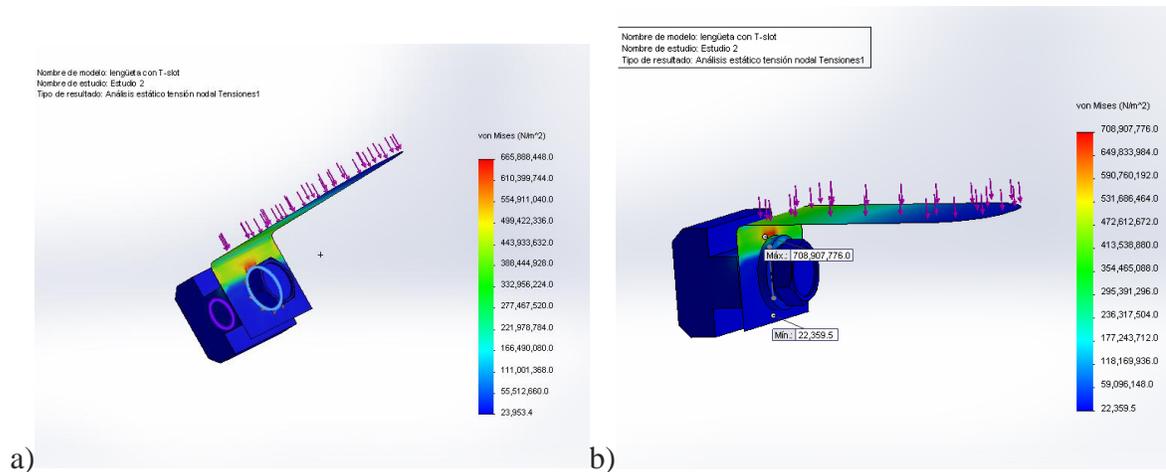
#### Materiales usados en la lengüeta de apoyo

Lengüeta de Apoyo	T-slot	Hex screw & arandela
AISI 1023 Chapa de acero al carbono	Acero AISI 1010 (Acero laminada en caliente)	Acero 304L
Módulo elástico de 210000 N/mm <sup>2</sup>	Módulo elástico 200000 N/mm <sup>2</sup>	Módulo elástico 193000 N/mm <sup>2</sup>
Módulo cortante 80000 N/mm <sup>2</sup>	Módulo cortante: 80000 N/mm <sup>2</sup>	Módulo cortante 85000 N/mm <sup>2</sup>
Densidad 7858 kg/m <sup>3</sup>	Densidad 7870 kg/m <sup>3</sup>	Densidad 8030 kg/m <sup>3</sup>

La Figura 26 muestra este análisis.

---

<sup>38</sup> Como es el mismo perfil usado para el punto de entrada y salida, se consideró que ya se había realizado el estudio estático para esta parte.



**Figura 26 Análisis estático de la lengüeta de apoyo**

Nota: a) El análisis revela que se presentan altas tensiones en la unión de la lengüeta con el T-slot. Se considera cambiar de pieza o reforzar con una arandela (b) Análisis realizado con la arandela. Apesar que todavía es alta a tensión que se genera en esta zona, no sobrepasa el límite elástico de 210000 N/mm<sup>2</sup>. Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.1.2 Travesaño de la bahía de almacenamiento

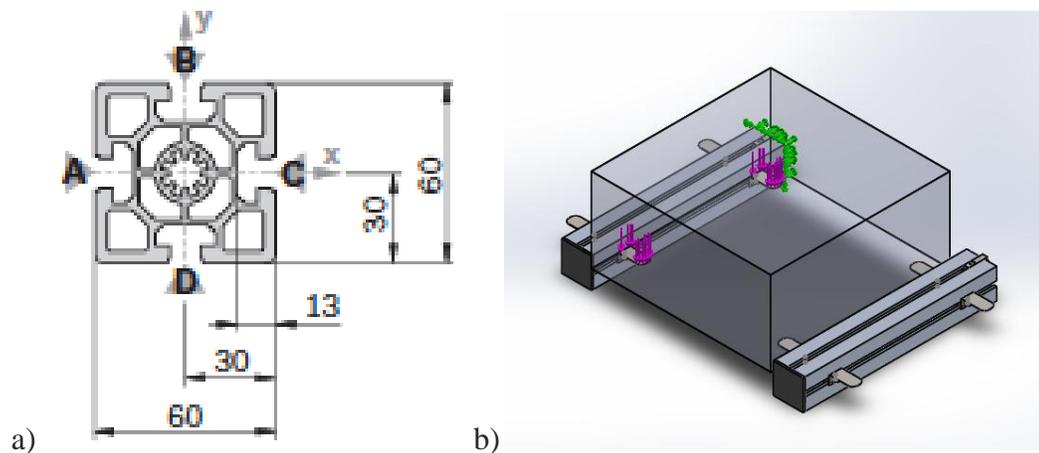
La bahía de almacenamiento está formada por dos travesaños con sus respectivas lengüetas de apoyo. La Figura 27 ilustra el perfil que se ha usado para conformarlo y ejemplifica la forma en que soporta la unidad de carga.

El análisis del travesaño de la bahía de almacenamiento se realizó elaborando un diagrama de cuerpo libre y calculando las fuerzas cortantes y momentos máximos que surgen en el elemento (d)

$$\begin{aligned}
 m' \text{ (kg/mm)} &= .0039 \text{ kg/mm (dato del perfil usado)} \\
 g &= 9.81 \text{ m/s}^2 = 9810 \text{ mm/s}^2 \\
 L \text{ (mm)} &= 295 \text{ mm (valor del diseño)} \\
 F \text{ (N)} &= 93 \text{ N (Valor calculado)} \\
 W \text{ (cm}^3\text{)} &= 17.4 \text{ cm}^3 \text{ (dato del perfil usado)} \\
 \sigma_{\text{max}} &= \frac{(.0039 \text{ kg/mm}) \times (9810 \text{ mm/s}^2) \times (295 \text{ mm}) + (93 \text{ N}) \times 295 \text{ mm}}{17.4 \text{ cm}^3 \times 10^3} = 192.9 \text{ N/mm}^2 \\
 \sigma_{\text{max}} &= 192.9 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

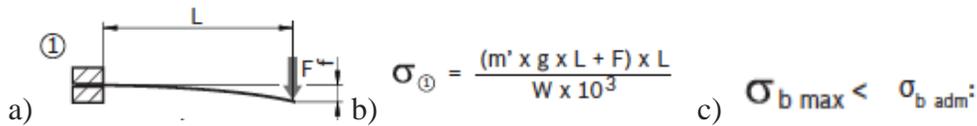
Figura 28). La fuerza cortante máxima obtenida fue de 93 N, y el momento máximo fue de 17.92Nm. Con estos valores y haciendo uso de las fórmulas que proporciona Boschrexroth, se calculó que el esfuerzo cortante máximo que se genera en la pieza es de  $192.9 \text{ N/mm}^2$ . El esfuerzo máximo obtenido se comparó con el límite elástico de los perfiles y se observa que  $192.9 \text{ N/mm}^2 < 195 \text{ N/mm}^2$ , lo que indica que el perfil trabaja de manera satisfactoria.

Usando los mismos diagramas, se seleccionaron los elementos de unión y de comprobaron que no re rebasaran los momentos y las fuerzas cortantes máximas permitidos por el proveedor.



**Figura 27 Bahía de almacenamiento.**

Nota: a) Perfil 60 x 60 de Boschrexroth usado para toda la estructura del ASRS Diseñado. b) Ilustra dos travesaños con las lengüetas de apoyo cargando una unidad de carga que ejerce una fuerza de 93N sobre las lengüetas y los travesaños.. Fuente: elaboración propia.



$m' \text{ (kg/mm)} = .0039 \text{ kg/mm}$ (dato del perfil usado) $g = 9.81 \text{ m/s}^2 = 9810 \text{ mm/s}^2$ $L \text{ (mm)} = 295 \text{ mm}$ (valor del diseño) $F \text{ (N)} = 93 \text{ N}$ (Valor calculado) $W \text{ (cm}^3\text{)} = 17.4 \text{ cm}^3$ (dato del perfil usado) $\sigma_{b \text{ max}} = \frac{(.0039 \text{ kg/mm}) \times (9810 \text{ mm/s}^2) \times (295 \text{ mm}) + (93 \text{ N}) \times 295 \text{ mm}}{17.4 \text{ cm}^3 \times 10^3} = 192.9 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{b \text{ max}} = 192.9 \text{ N/mm}^2$
---

d)

**Figura 28 Análisis de las bahías de almacenamiento.**

Nota: a) un diagrama de cuerpo libre considerando su punto crítico de funcionamiento.

b) Fórmula de esfuerzo proporcionada por Boschrexroth para sus perfiles. c) Condición que se debe respetar: El esfuerzo calculado debe ser menor al esfuerzo admisible. d) Desarrollo del cálculo del esfuerzo en el perfil, generado por la fuerza de 93 N.

Fuente: a) b) c), provienen del Catálogo Boschrexroth. d) Elaboración propia

**4.1.1.3 Columnas**

Las columnas fueron analizadas considerando primero cuatro unidades de carga y después se analizó considerando seis cargas. Este último análisis es su punto crítico pues es el máximo número de cargas que soportará. La carga que ejerce cada para cada espacio de bahía se consideró de 95 N en dirección de Y. Del mismo modo, las bahías de almacenamiento propagan momentos sobre las columnas de 17.92Nm. También se consideró el peso de la cubierta superior la y de los cables que podrían colocarse que ejercen una fuerza de 23.2 N normal a la columna. El análisis realizado ayudó a verificar que perfil extruido que se eligió funciona de manera satisfactoria como columna soportante. (Figura 29).

Los materiales usados por Boschrexroth para sus perfiles y sus elementos de unión son

*Perfil extruido Boschrexroth:*

Aluminio, EN AW 6060

Módulo elástico de: 70000 N/mm<sup>2</sup>

Límite elástico de 195 N/mm<sup>2</sup>

*Escuadras y elementos de unión Boschrexroth :*

Aluminio aleación 2014.

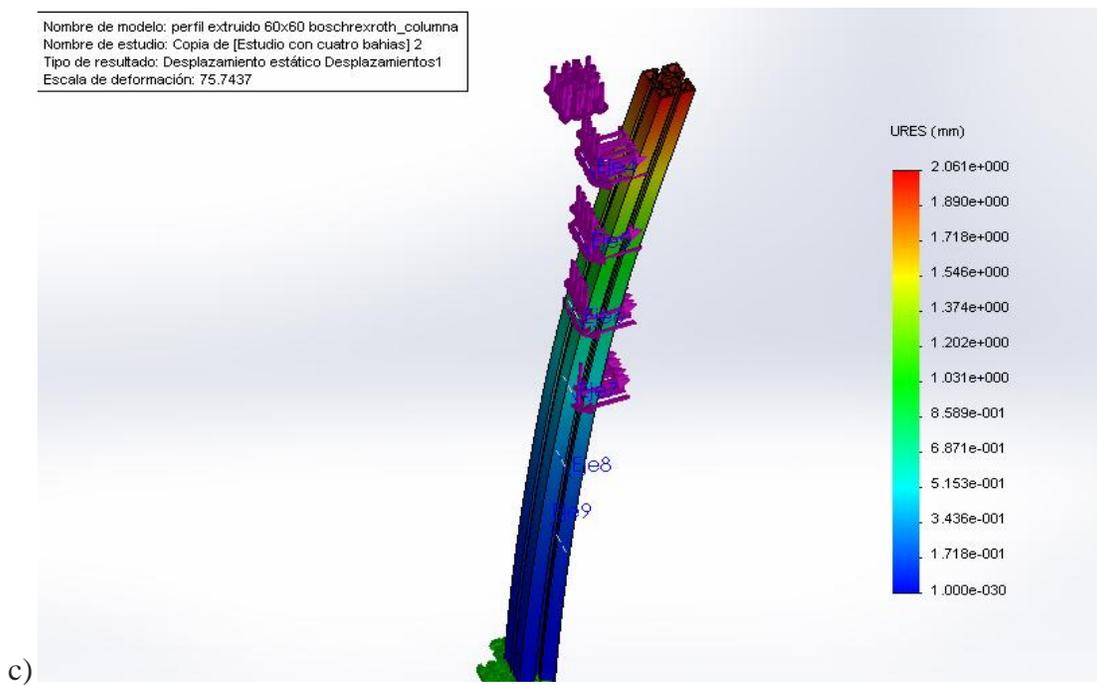
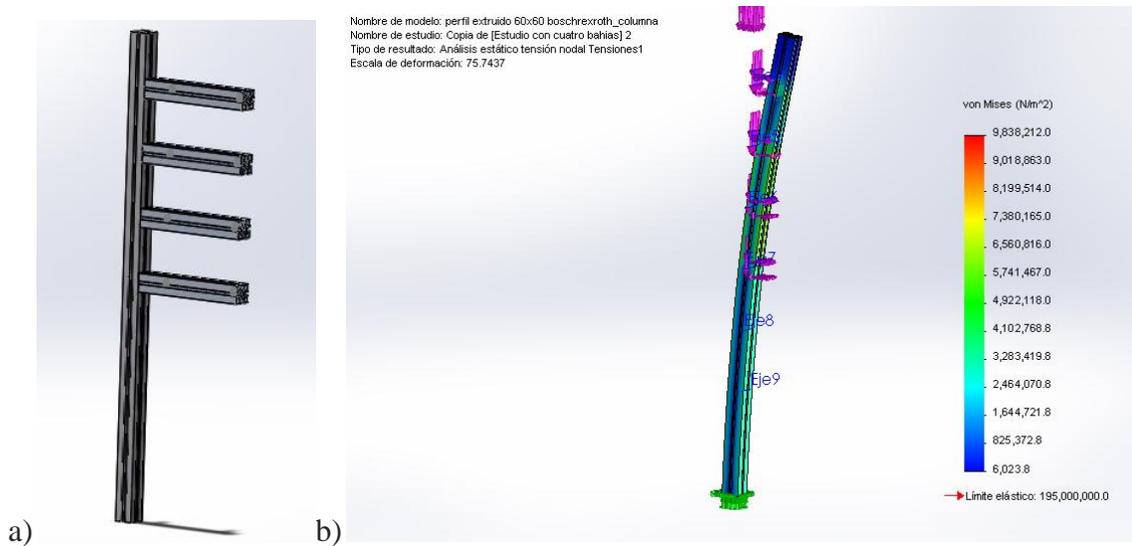
Módulo elástico de 73000 N/mm<sup>2</sup>

Módulo cortante de 28000 N/mm<sup>2</sup>

Para el elemento de unión, se eligió la pieza de escuadra interior<sup>39</sup> para la ranura de 10. Esta pieza aguanta una fuerza de 2500 N y un momento de 50 Nm. Estos valores no se alcanzan según los diagramas realizados ya que en la parte de unión se calculó una fuerza de 93N máximo y un momento de 17 Nm. Como se observa, no se alcanza a rebasar los valores máximos, y por lo tanto son adecuados para usarse para unir a la bahía de soporte con la columna.

---

<sup>39</sup> Boschrexroth también provee de elementos de unión dependiendo de las necesidades de sus clientes. En este diseño se eligieron escuadras exteriores, escuadras interiores y empalmes interiores. Todos están listados en el catálogo de Boschrexroth.

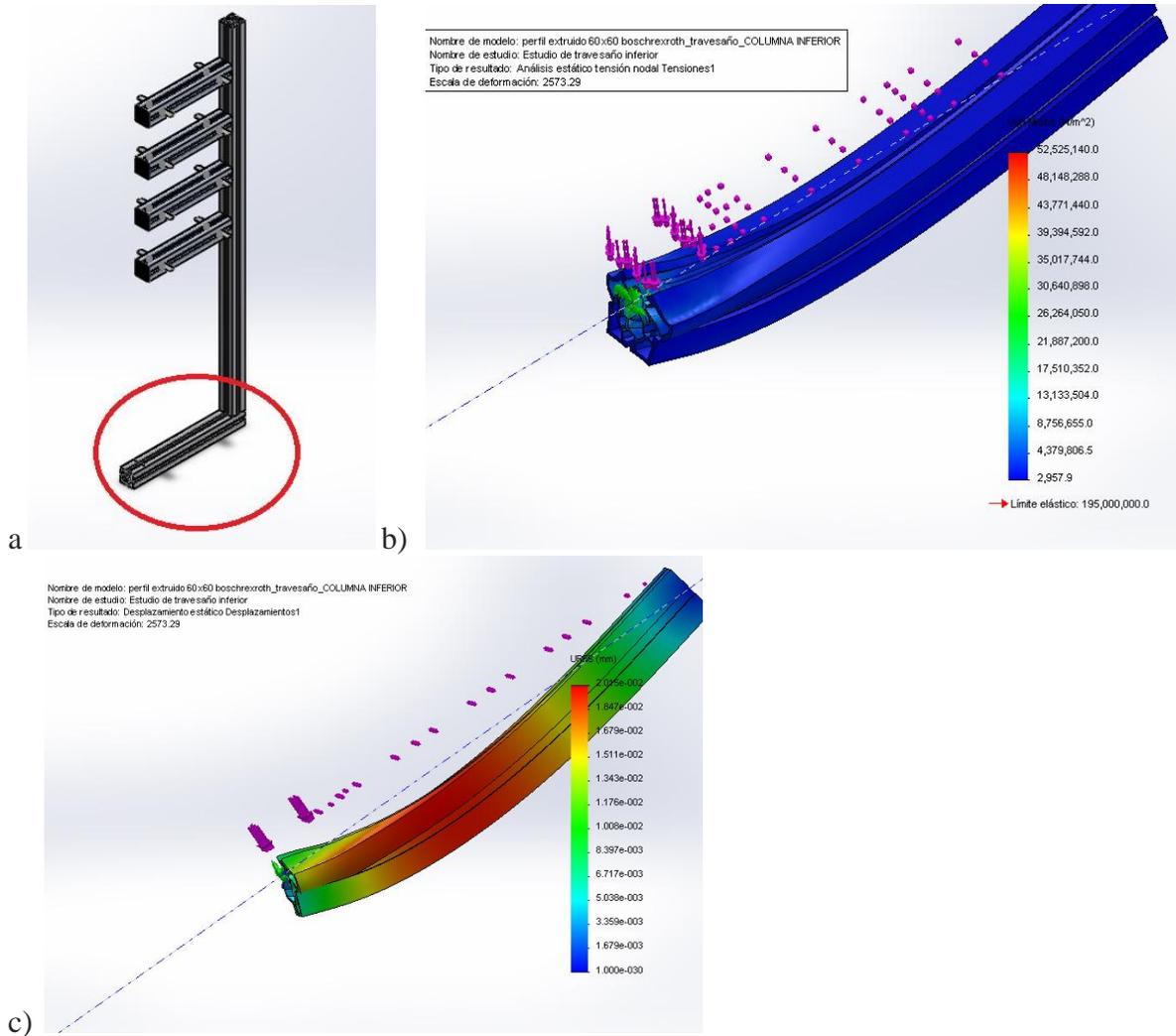


**Figura 29 Análisis estático de las columnas de apoyo**

Nota: a) Modelo de la columna con las cuatro travesaños para las bahías. b) Análisis estático con fuerzas generadas por los cuatro travesaños de las bahías. c) Desplazamientos generados por las fuerzas generadas por tener cargas en los travesaños de bahías. Fuente: Elaboración propia.

#### *4.1.1.4 Travesaño inferior de la estructura del anaquel*

La Figura 30 muestra los resultados de tensiones y deformaciones del estudio realizado. El material considerado es el mismo del perfil de Boschrexroth, de aluminio EN AW 6060. En este estudio se consideró la carga muerta de la columna, el peso de seis unidades de carga y el peso de las cubiertas superiores que ejercen 902 N sobre el travesaño inferior en la superficie de contacto entre el mismo travesaño y la columna. Se agregó un kilogramo por los cables de conexión de energía y de datos. Se consideró una unión fija en la arista circular interior donde de junta la base de la columna con el travesaño porque es ahí donde se hace unión con el travesaño inferior de unión.

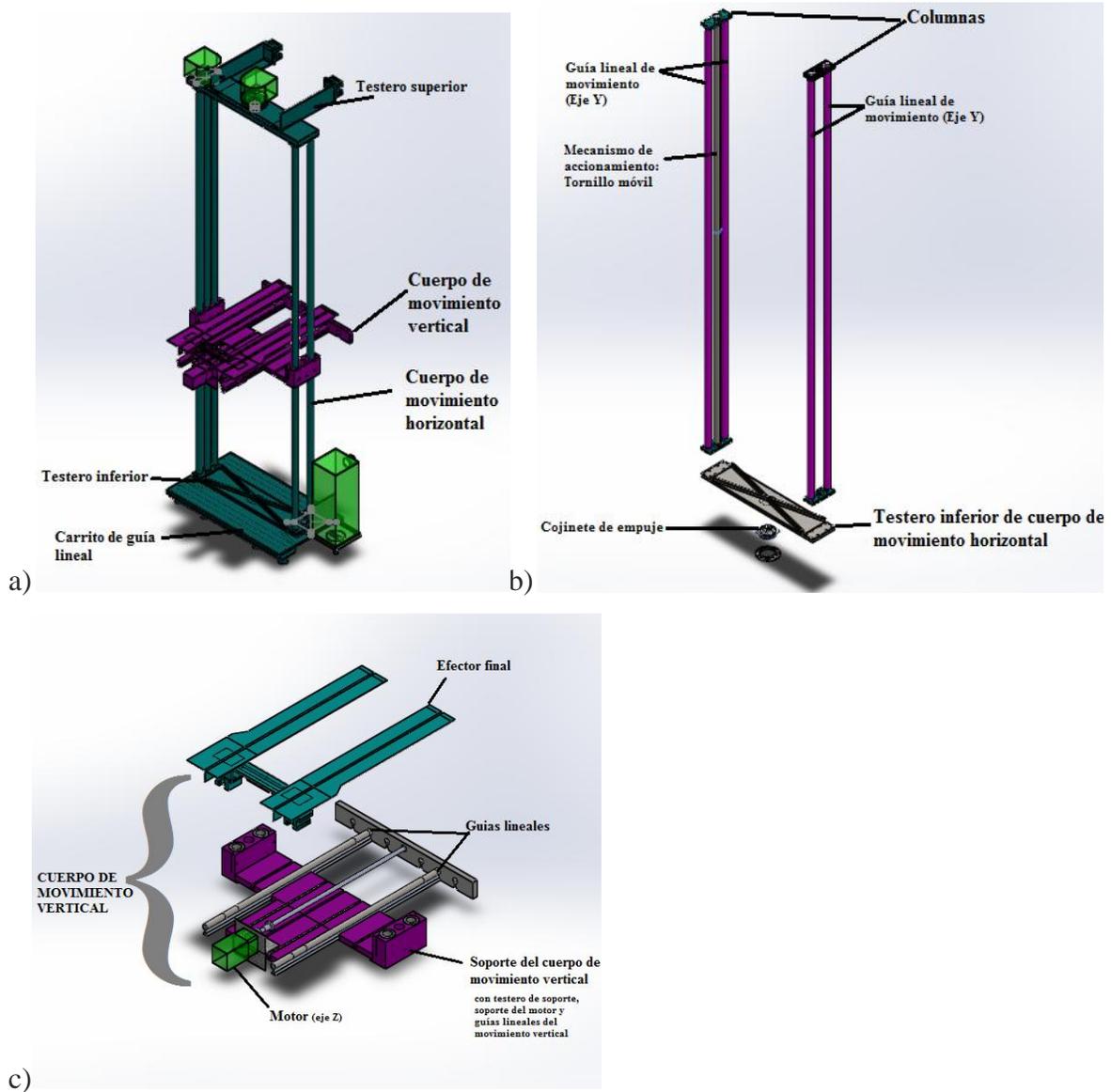


**Figura 30 análisis estático sobre la columna inferior**  
 Nota: a) Ubicación de la pieza a analizar. Se consideró la carga que transmite la columna sobre el travesaño inferior. b) Análisis de tensiones del travesaño inferior. c) Desplazamientos formados por la fuerza aplicada.

#### 4.1.1.5 Llantas de apoyo

Se propuso utilizar las ruedas giratorias con freno de TENTE de alta carga con freno total. Este modelo está diseñado para cargar 150 kg de peso. No se realizó el análisis estático por elemento finito pues se consideró que con el dato del productor era suficiente.

## 4.1.2 Máquina de almacenamiento y retiro



**Figura 31 Partes de la máquina de almacenamiento y retiro**

Nota: a) Localización de las partes de la máquina de almacenamiento y retiro. b) Localización de las partes del cuerpo de movimiento horizontal de la máquina de almacenamiento y retiro. c) Localización de las partes del cuerpo de movimiento vertical. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la máquina de almacenamiento y retiro también se efectuó por sus partes de manera individual ( Figura 31 ). Primero se analizó el efector final que está en el cuerpo de almacenamiento y retiro, que al mismo tiempo está contenido dentro del cuerpo de

movimiento vertical. Una vez determinado la forma y masa del efector, se prosiguió con el soporte y las guías de movimiento del cuerpo de almacenamiento y retiro. Se determinaron las uniones de las partes y después se analizó el testero inferior y el carrito de apoyo que se coloca sobre el riel de movimiento en x.

A continuación se muestran los análisis realizados, primero sobre el cuerpo de movimiento vertical y después sobre el cuerpo de movimiento horizontal.

#### *4.1.2.1 Efector final estilo montacargas*

Esta pieza se conceptualizó para que fuera producida a partir de una lámina metálica de acero al carbono. El material usado fue:

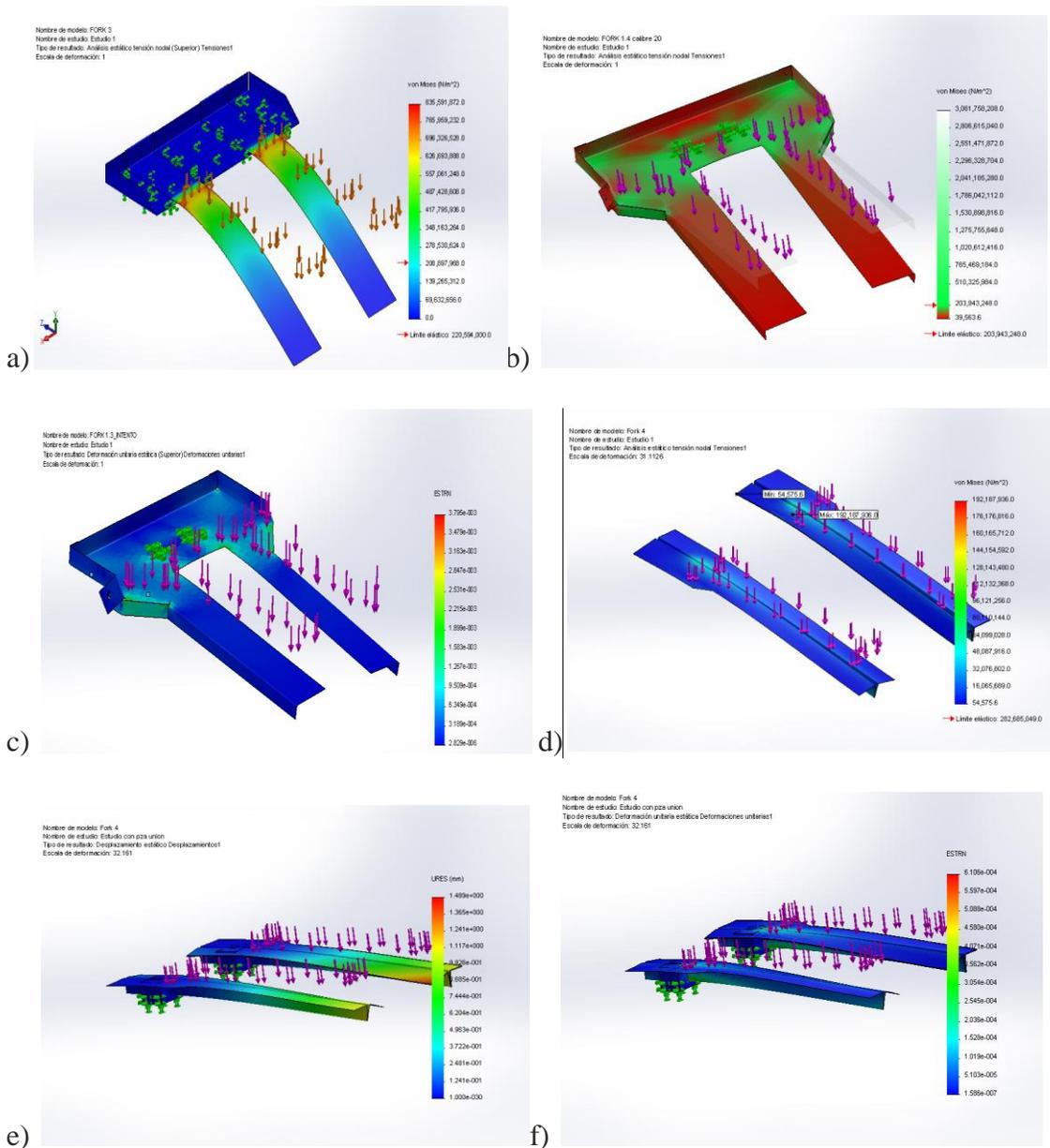
Chapa metálica de acero al carbono 1023.

Módulo elástico  $210000 \text{ N/mm}^2$

Módulo cortante de  $79,000 \text{ N/mm}^2$

Densidad de  $7800 \text{ kg/m}^3$

Su análisis fue factor principal para determinar la forma de esta pieza pues, como se puede apreciar en la Figura 32, los primeros modelos presentaban fallas. El último modelo, además de mejorar el funcionamiento del efector final utilizó menos material y por eso se eligió. Sin embargo, como en la última versión se hizo un efector final conformado por dos brazos, fue necesario hallar la manera de sostenerlos y unirlos.



**Figura 32 Análisis estáticos sobre distintas versiones del efector final y sus resultados.**

Nota: a) Tensiones generadas en el primer diseño del efector final. Se generó un esfuerzo máximo de  $835,591,872 \text{ N/m}^2$  que es mayor a su límite elástico de  $220,594,000 \text{ N/m}^2$  (límite indicado en la leyenda) b) Análisis de tensiones de la segunda propuesta, la zona de verde indica donde sobrepasa el límite elástico c) Desplazamientos generados en la segunda propuesta. d) Cuarta propuesta de diseño que no supera el límite elástico. (Máximo esfuerzo generado es de  $192,187,936 \text{ N/m}^2$  que es menor que el límite elástico de  $282,685,049 \text{ N/m}^2$ ) e) Desplazamientos generados en el cuarto diseño. f) Deformaciones unitarias presentadas en el cuarto diseño.

#### 4.1.2.2 Cuerpo de almacenamiento y retiro

##### Guía lineal

Después de analizar el efector final, se analizó la guía lineal en el cual se apoya el efector final y la carga. Se consideró una carga de 92.61 N en la zona en el cuál se transmite la carga, donde hace unión con la barra de guía. Las guías lineales generalmente están hechos con acero inoxidable. En el caso del modelo considerado para usarse como guía de movimiento en z, se usó un:

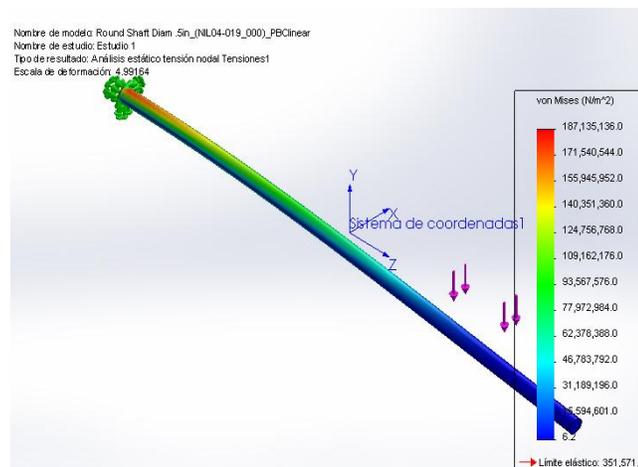
Acero inoxidable 440

Módulo elástico 215000 N/mm<sup>2</sup>

Módulo cortante de 79,000 N/mm<sup>2</sup>

Densidad de 7700 kg/m<sup>3</sup>

El análisis se realizó como si estuviera la pieza en su “estado abierto” pues en esta posición la pieza experimentará las mayores tensiones generadas. La Figura 33 muestra el análisis estático sobre la guía lineal de movimiento elegida.



**Figura 33 Análisis estático sobre la guía lineal redonda en Z.**

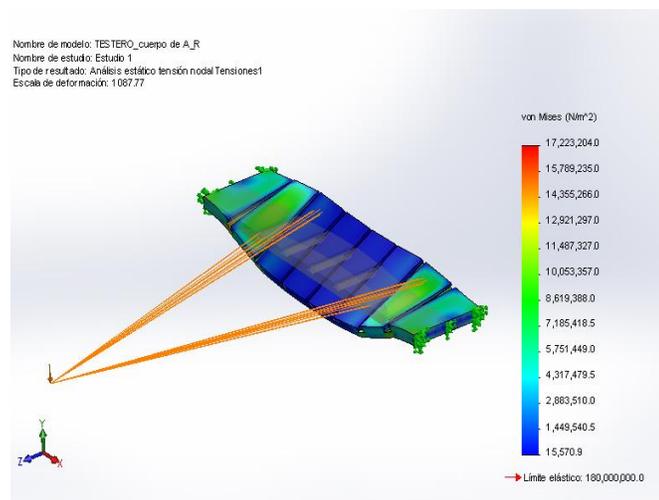
Nota: La guía lineal no supera su límite elástico de 351,571,000 N/m<sup>2</sup>, pues su esfuerzo máximo generado es de 187,135,136 N/m<sup>2</sup>. El análisis se realizó considerando su punto crítico soportando el peso total de la unidad de carga (9.44 kg) que genera una fuerza de 93N en el punto indicado por las flechas moradas. En realidad la carga es soportada entre dos guías lineales. Fuente: elaboración propia

### *Testero del cuerpo de movimiento vertical*

Se analizó el soporte de las guías lineales y del efector final. El testero del cuerpo de movimiento vertical se analizó como si estuviera en su estado abierto, considerando el peso de las guías lineales, del efector final estilo montacargas y de la unidad de carga. El material usado para analizar la pieza fue de:

Acero AISI 1010, de una barra de acero laminada en caliente  
Módulo elástico  $200000/\text{mm}^2$   
Módulo cortante  $80000 \text{ N}/\text{mm}^2$   
Densidad de  $7870 \text{ kg}/\text{m}^3$

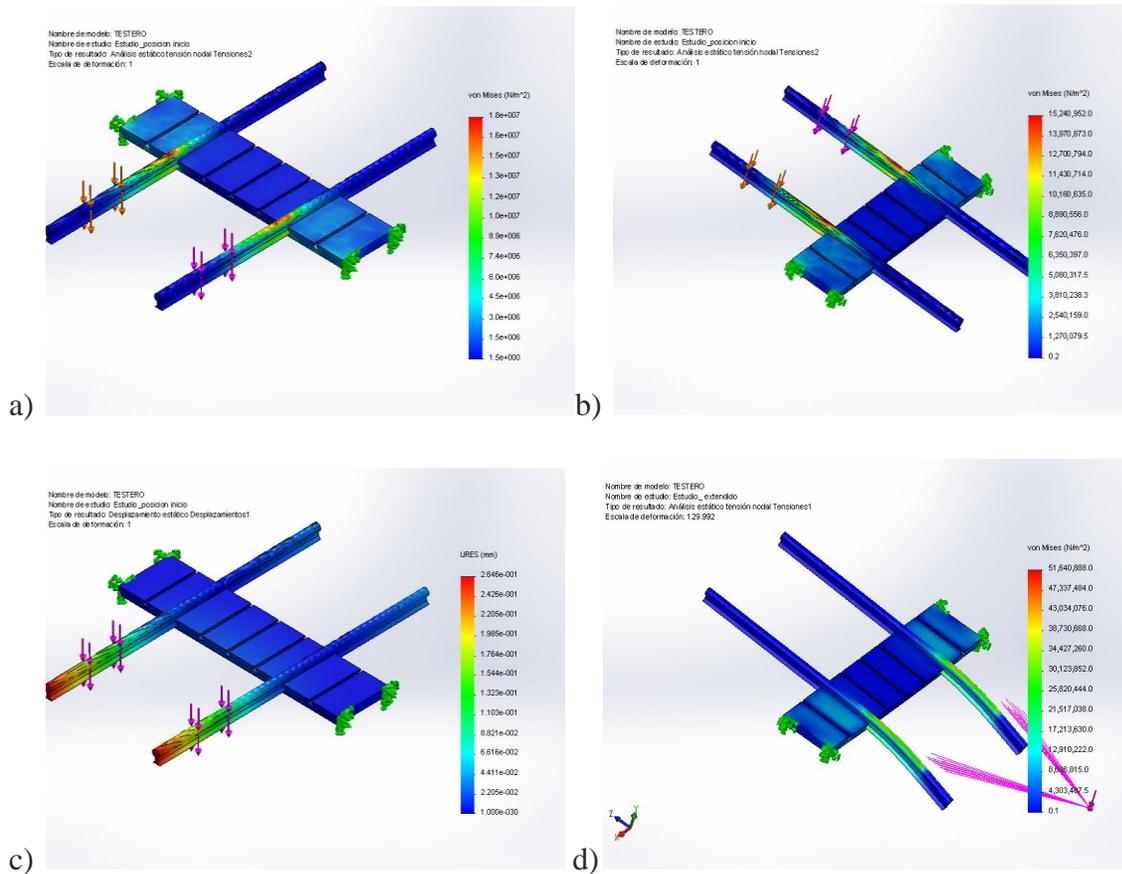
La Figura 34 muestra el análisis realizado sobre el soporte individual, mientras que la Figura 35 muestra el análisis realizado con las guías lineales.



### **Figura 34 Análisis estático sobre el testero del cuerpo de movimiento vertical, aislado.**

Nota: Tensiones generadas en el testero del cuerpo de movimiento vertical no alcanza su límite elástico de  $180,000,000 \text{ N}/\text{m}^2$ . Su tensión máxima generada es de  $17,223,204 \text{ N}/\text{m}^2$ . El análisis se consideró en su estado crítico, cuando el efector final está extendido y la fuerza aplicada está desplazada 35.5 cm en el eje Z.

Fuente: elaboración propia



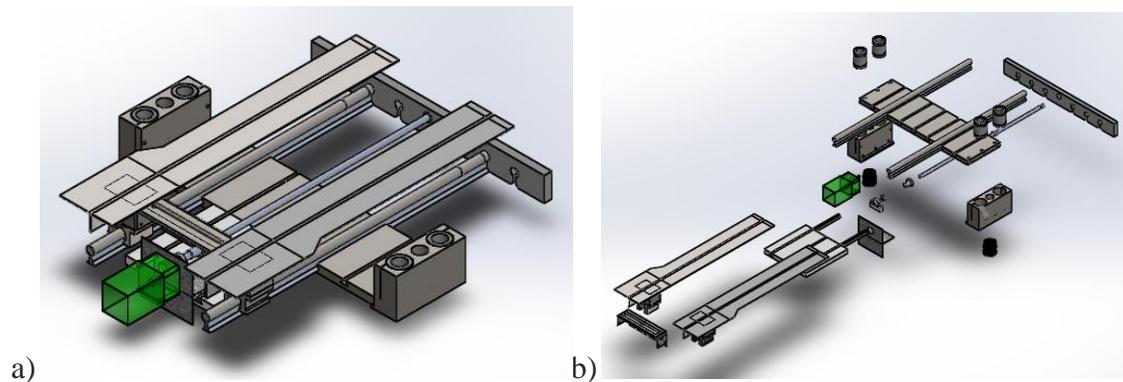
**Figura 35 Análisis estático sobre el testero del cuerpo de almacenamiento y retiro.**

Nota: a) Tensiones generadas en la posición inicial de carga en el subensamble del testero de cuerpo de almacenamiento y retiro. b) Tensiones generadas en la posición inicial de carga en el subensamble del testero de cuerpo de almacenamiento y retiro con el doble de carga c) Desplazamientos generados en la posición inicial de carga en el subensamble del testero de cuerpo de almacenamiento y retiro. d) Tensiones generadas cuando el cuerpo de almacenamiento y retiro se encuentra en su estado abierto. No rebasa el límite elástico de los materiales usados. Fuente: elaboración propia

#### 4.1.2.3 Cuerpo de movimiento vertical

La Figura 36 muestra el ensamble completo del cuerpo de movimiento vertical después de realizar los análisis sobre los elementos de soporte. El testero de soporte se une a unos

bloques de guía de movimiento que contienen rodamientos para facilitar el movimiento a lo largo de las columnas. En los bloques también se inserta el husillo para el accionador.



**Figura 36 Cuerpo de movimiento vertical con los accionadores, guías lineales y el efector final.**

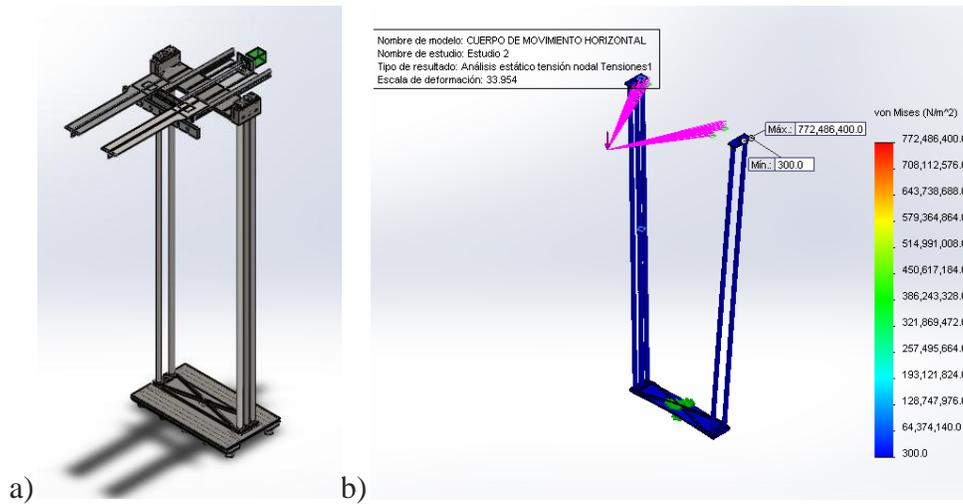
Nota: a) Ensamble completo del cuerpo de movimiento vertical b) Despiece del cuerpo de movimiento vertical Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2.4 Columnas de la máquina de almacenamiento y retiro

Las columnas cumplen una doble función; de guía de movimiento y de soporte. El análisis se realizó considerando el punto de funcionamiento crítico, cuando el cuerpo de movimiento vertical se encuentra hasta la parte superior y de forma extendida. La Figura 37 muestra el análisis realizado sobre las columnas de apoyo y el testero inferior del cuerpo de movimiento horizontal. Los materiales considerados para este análisis son los siguientes:

Columnas; Guía lineales de 20 mm diámetro  
 Acero inoxidable 440  
 Módulo elástico 215000 N/mm<sup>2</sup>  
 Módulo cortante de 79,000 N/mm<sup>2</sup>  
 Densidad de 7700 kg/m

Testero inferior del cuerpo de movimiento horizontal  
 Acero AISI 1010  
 Módulo elastico 200000/mm<sup>2</sup>  
 Módulo cortante 80000 N/mm<sup>2</sup>  
 Densidad de masa 7870 kg/m<sup>3</sup>

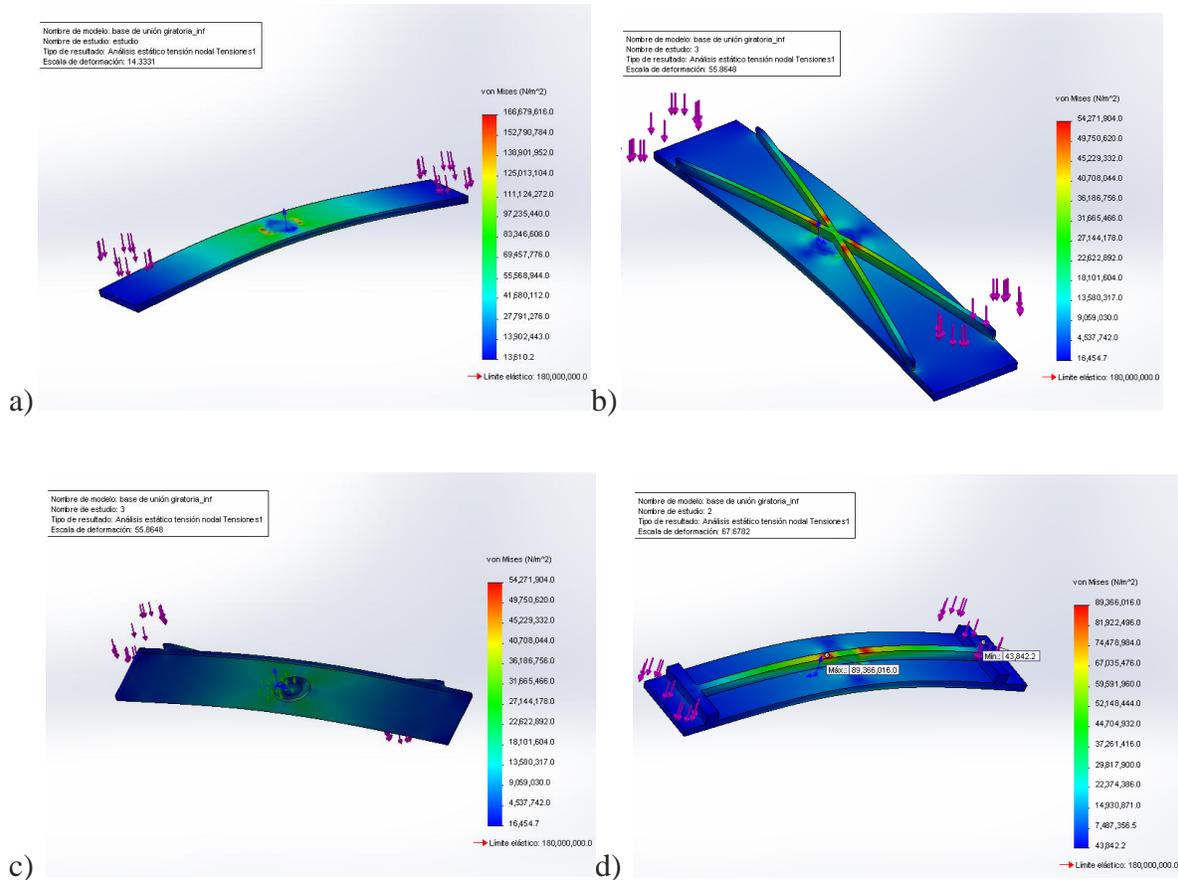


**Figura 37 Análisis de las columnas de apoyo**

Nota: a) Muestra la consideración que se hizo para el análisis. El estado crítico de funcionamiento es cuando el cuerpo de almacenamiento y retiro se encuentra hasta arriba, en su estado extendido. b) El análisis se efectuó considerando una carga desplazada, simulando que el cuerpo de almacenamiento y retiro se encuentra en su estado abierto. Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2.5 Testero inferior de la máquina de almacenamiento y retiro

El testero inferior está montado sobre un cojinete de empuje para poder posibilitar un grado de libertad extra y para que se pueda agregar un movimiento de rotación en caso de ser necesario. La Figura 38 muestra el proceso del análisis realizado. Está conceptualizado para manufacturarse de una barra de acero 1010.



**Figura 38 Análisis del testero inferior del cuerpo de movimiento horizontal.**

Nota. a) El primer diseño consta de una placa de acero sin refuerzos. No alcanza el límite elástico de  $180,000,000 N/m^2$ , pero no respeta el factor de seguridad de 1.5. b) El segundo diseño incluye refuerzos y reduce la tensión máxima generada en el primer diseño de  $166,679,616 N/m^2$  a  $54,271,904 N/m^2$ . c) Vista inferior del análisis realizado en el inciso b. d) Cuenta con otro diseño de nervio pero presenta una tensión máxima de  $89,366,016 N/m^2$  que representa un  $35,094,112 N/m^2$  más que el diseño del inciso b. Fuente: Elaboración propia

### 4.1.3 Pasillo

Para el análisis estático del pasillo, se consideró el peso total de la máquina de almacenamiento y retiro con una unidad de carga. Se analizó el pasillo en dos partes, primero se verificó que el riel de apoyo que se eligió como guía de movimiento de longitudinal (eje

x) soportara el total de 60 kg máximo. Este dato lo proporciona el proveedor. La segunda etapa del análisis fue el de analizar el soporte o cajón del pasillo.

#### 4.1.3.1 Carril de movimiento inferior

El carril que se eligió para el diseño es el “IVT ABK rail and carriage” de PBC Linear. Este carril se eligió porque permite la instalación de un accionador de tipo tornillo de 16 a 22 mm de diámetro, de un accionador tipo piñón y cremallera o una banda de transmisión. Su forma permite esconder el mecanismo de accionamiento dentro de el y dificulta el acceso de parte del usuario a entrar en contacto con estas partes móviles.

El análisis estático no se realizó en SolidWorks pues sólo se procuró que el peso a soportar fuera menor que el peso máximo permitido para la pieza que proporciona el proveedor. Se ha calculado que la máquina de almacenamiento y retiro pesará aproximadamente 33.54 kg de sólo la estructura. A esto se le añaden los pesos de los motores, en total 17.08 kg (Tabla 23). Esto da un total de 50.62kg. y ejerce sobre el riel una fuerza de 496.6 N. El carrito y el riel seleccionados, el “IVT abk Rail and carriage” de PBC linear, soportan una carga axial estática de 5, 560N (Pacific Bearing Company, 2014, p.23). Como 496.6 N es menor que 5, 560N, se supone que el carrito y el riel soportarán la máquina de almacenamiento y retiro.

Tabla 23.

#### Pesos de los motores seleccionados

Pesos de motores mas grandes

Eje	Marca	Modelo	Peso
x	Baldor	MT-4090-BLYCE	9.98
y	Bodine Electric company	N1679	6.8
Z	Panasonic	M4RA1G4L	0.3
		TOTAL	17.08

Nota. Fuente: Elaboración propia

El carril IVT –ABK de PBC linear está extruido de Aluminio 5052-H32. Módulo elástico Tiene un módulo elástico de de 70000 N/mm<sup>2</sup> y un módulo cortante: 25900 N/mm<sup>2</sup> y una densidad 2680 kg/m<sup>3</sup>.

#### *4.1.3.2 Cajón de pasillo*

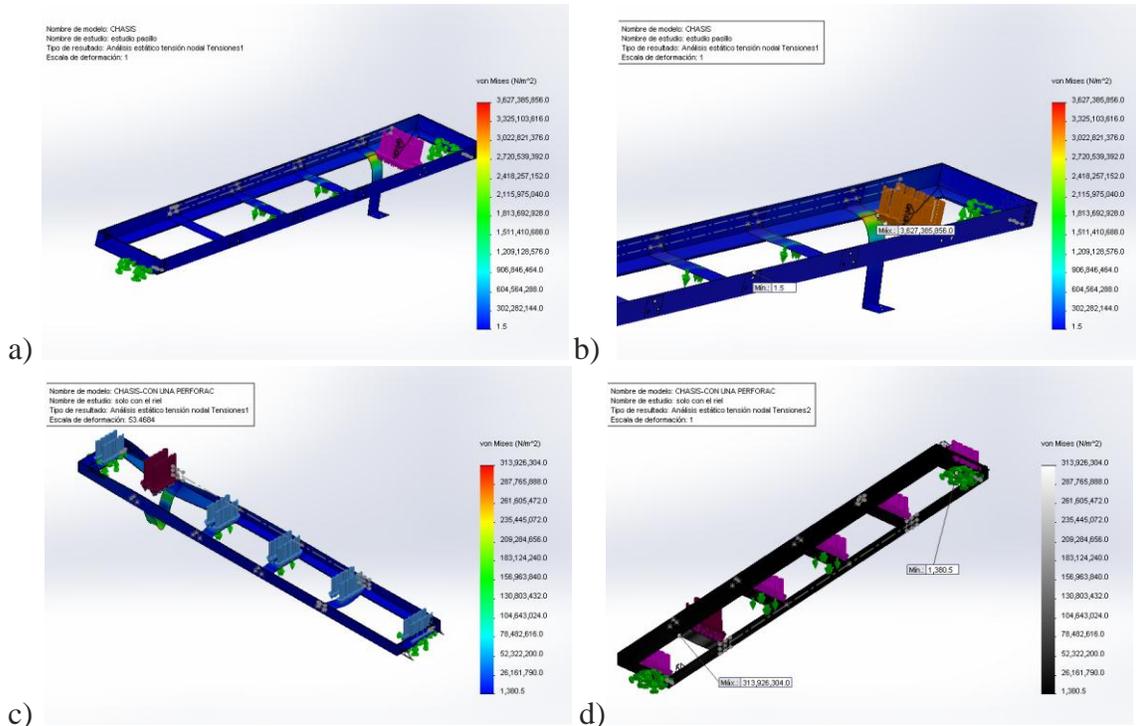
El cajón del pasillo carga la maquina de almacenamiento y retiro carga el peso de la guía lineal IVT Rail, (25 kg), la unidad de carga y el peso de la máquina de almacenamiento y retiro, lo que conforma una carga de 50 kg. La Figura 39 muestra el análisis realizado para el cajón del pasillo. Fue necesario hacer cambios al primer diseño. Se le agregó una solera soldada al marco de apoyo, detalle que mejoró el funcionamiento del chasis de apoyo del pasillo. Finalmente, el material que funcionó para el chasis de soporte fue el:

Perfil “L” de acero de AISI 1015 de 6mm de espesor

Módulo elástico 205000 N/mm<sup>2</sup>

Módulo cortante 80000 N/mm<sup>2</sup>

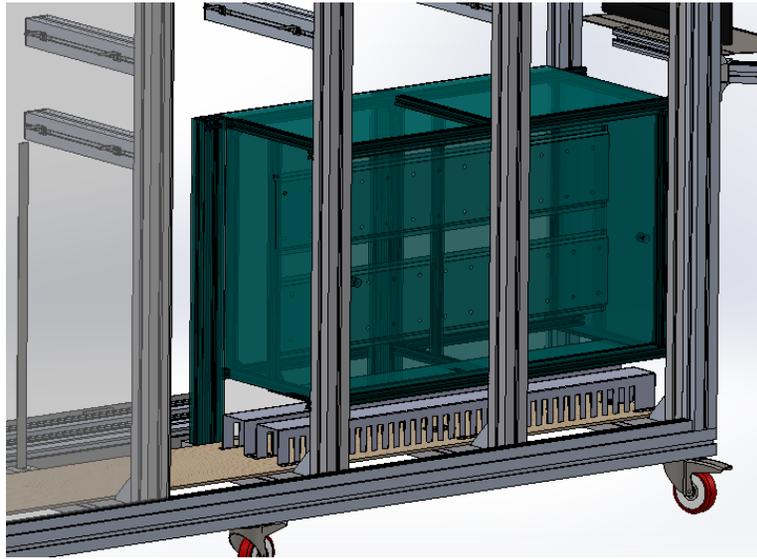
Densidad de masa 7870 kg/m<sup>3</sup>



**Figura 39 Análisis estático del cajón del pasillo**

Nota: a) Tensiones generadas por colocar una carga de 50 kg, sobre la placa de apoyo del pasillo. Se observa que la pieza se vence en el primer diseño. b) Acercamiento del inciso a. c) El segundo diseño colocó una solera de 6mm soldada al marco del cajón y aumentó el calibre del perfil L usado para la construcción. del mismo. Las tensiones representadas son las generadas por el peso de la máquina de almacenamiento y retiro y el peso del IVT Rail (24 kg aproximadamente distribuidos a lo largo del pasillo). De esta manera funciona correctamente la pieza, pues no sobrepasa su límite elástico. d) Vista inferior del análisis estático realizado en el inciso "c". Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4 Unidad de control



**Figura 40 Unidad de control analizado.**

Nota: Fuente: Elaboración propia.

La unidad de control está realizada con un una estructura de perfiles extruidos de aluminio 20 x 20 de Boschrexroth. La Figura 40 muestra la forma general de la unidad de control diseñada. Los materiales usados son las representadas en la Tabla 24.

Tabla 24.

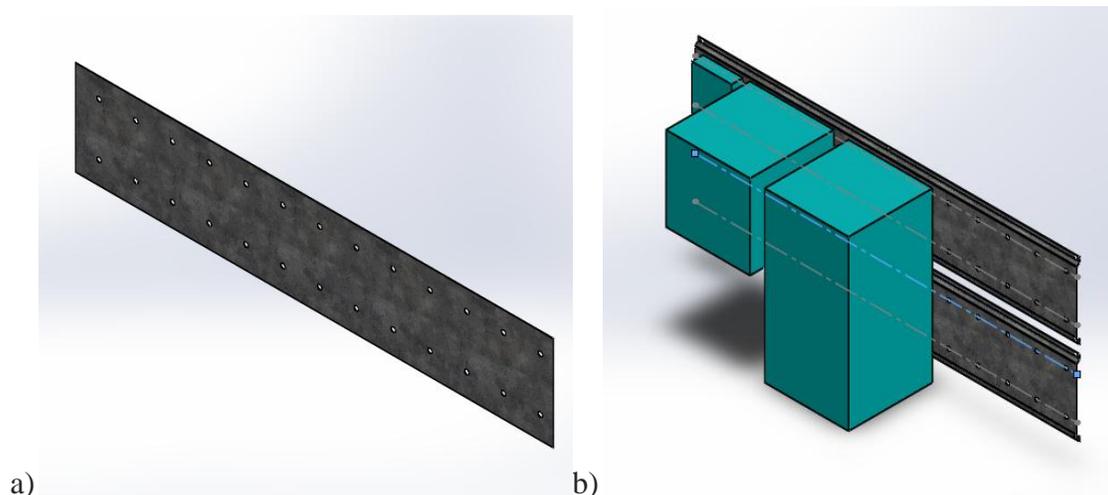
##### **Materiales usados en el gabinete de control**

Perfil extruido 20x20	Escuadras de unión	Tablero de soporte
Aluminio EN AW 6060	Aluminio aleación 2014.	Lámina de acero galvanizado
Módulo elástico de: 70000 N/mm <sup>2</sup>	Módulo elástico de 73000 N/mm <sup>2</sup>	Módulo elástico de 20000 N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico de: 195 N/mm <sup>2</sup>	Módulo cortante de 28000 N/mm <sup>2</sup>	Límite elástico de 203.94 N/mm <sup>2</sup>

##### **4.1.4.1 Tablero de control (interior)**

Al inicio, el soporte del tablero de control se había conceptualizado a ser realizado a partir de una chapa galvanizada de acero. Gracias a los análisis realizados, se cambió la

forma de una placa sencilla a una reforzada con un doblé a 45° longitudinal. La Figura 41 muestra el cambio realizado.



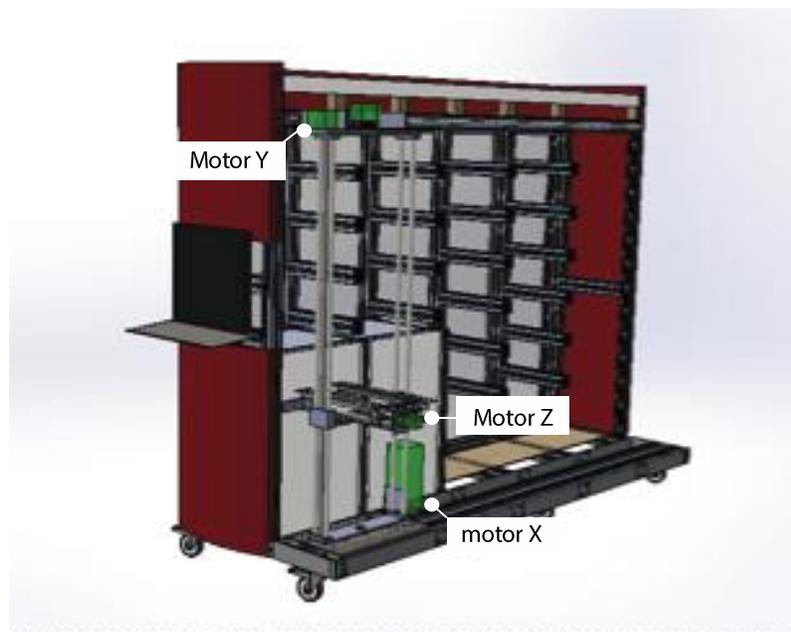
**Figura 41 Análisis del soporte del gabinete de control**

Nota. a) Primer diseño de la placas de soporte del gabinete de control. b) Consideraciones para el análisis estático del segundo diseño de las placas de soporte del gabinete de control. Los bloques colocados sobre las placas en la imagen derecha representan dimensiones diferentes de controladores.

Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Movimiento del AS/RS

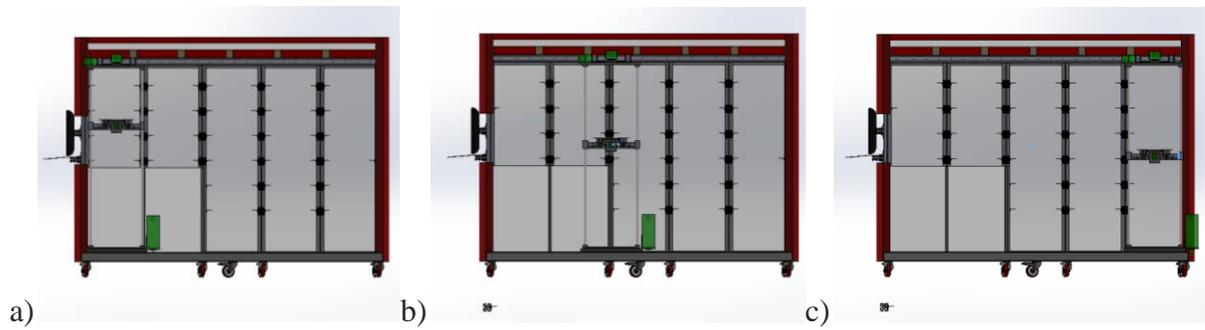
El diseño consideró también los movimientos que debería realizar el AS/RS respetando el sistema cartesiano con el que generalmente trabajan este tipo de sistemas. Los movimientos son generados por los motores elegidos previamente durante el proceso de conceptualización. Éstos motores se han colocado en un inicio de la manera demostrada en la Figura 42.



**Figura 42 Disposición de motores en el AS/RS diseñado**

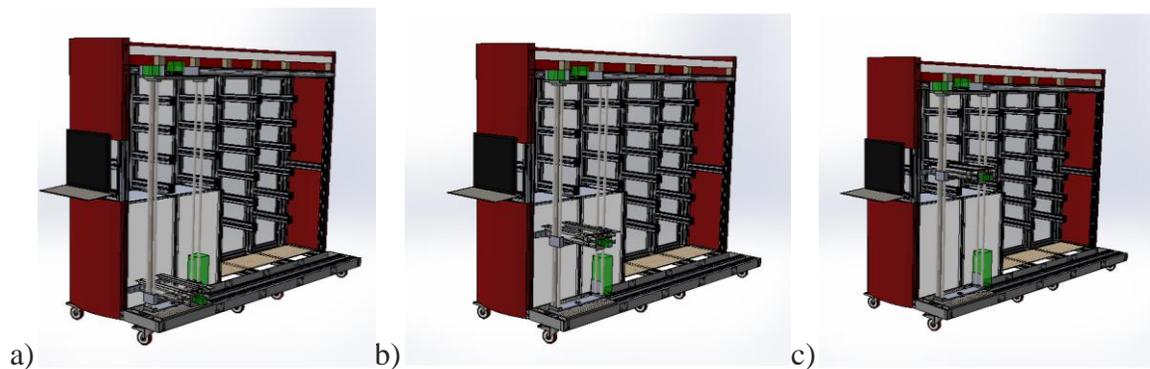
Fuente: Elaboración propia

De la Figura 43 a la Figura 46 se muestran el movimiento a lo largo de los ejes X, Y y Z, que corresponden al movimiento transversal, movimiento vertical y movimiento de inserción y retiro de artículos. El movimiento transversal se realiza a lo largo del pasillo, el movimiento vertical se realiza por las columnas de la máquina de almacenamiento y retiro mientras que el movimiento Z se realiza usando el efector final montado sobre el cuerpo de almacenamiento y retiro.



**Figura 43 Vista frontal del movimiento a lo largo del eje X y del eje Y**

Nota: a, b y c muestran la secuencia de movimientos del cuerpo de movimiento horizontal que se mueve a lo largo del eje X (movimiento horizontal) mientras que el cuerpo de almacenamiento y retiro se mueve a lo largo del eje Y, de manera vertical. Fuente: elaboración propia



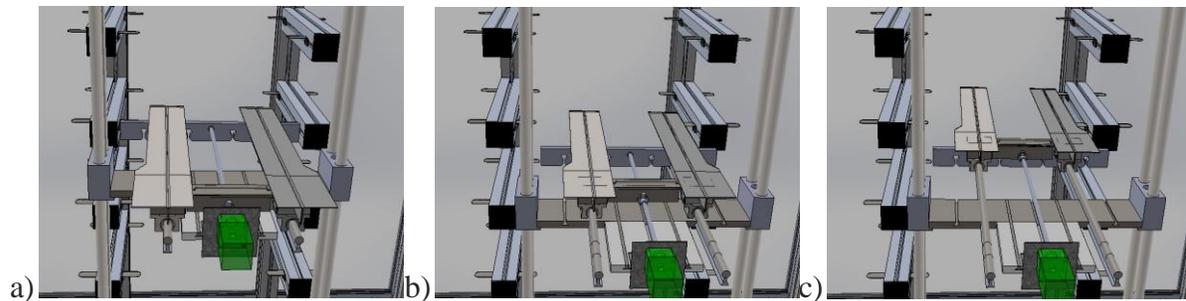
**Figura 44 Vista en perspectiva del movimiento en Y**

Nota: a, b y c muestran a secuencia de movimiento del cuerpo de movimiento vertical a lo largo del eje Y. Fuente: elaboración propia



**Figura 45 Vista lateral del movimiento en Z**

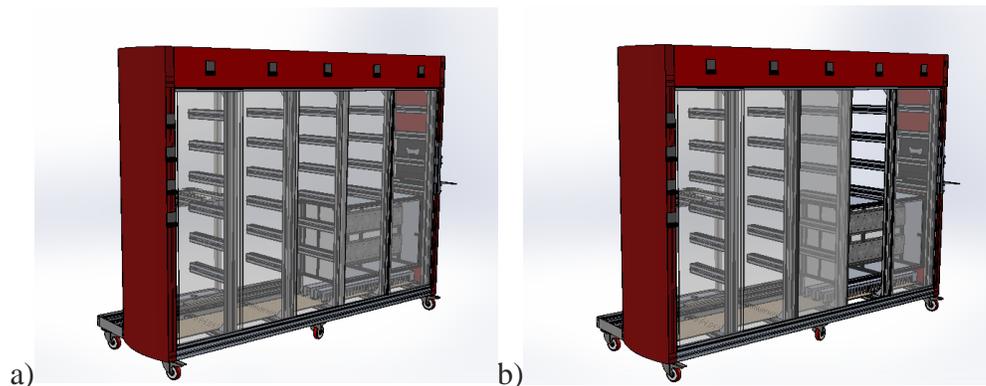
Nota: a, b y c muestran la secuencia de movimientos del cuerpo de almacenamiento y retiro a lo largo del eje Z para la operación de almacenado o retiro. Fuente: elaboración propia



**Figura 46 Vista en perspectiva al del movimiento en Z**

Nota: a, b y c muestran la secuencia de movimientos del cuerpo de almacenamiento y retiro a lo largo del eje Z para la operación de almacenado o retiro. Fuente: elaboración propia

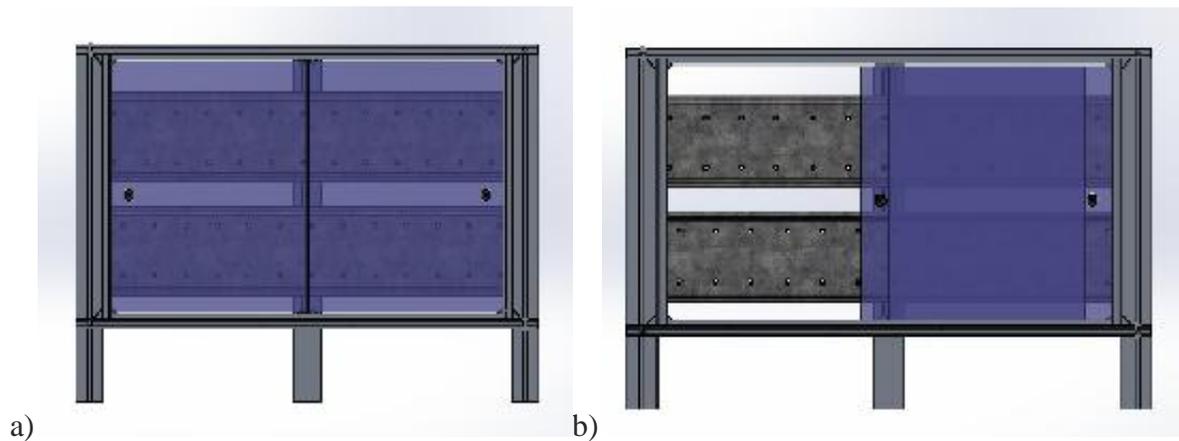
Del mismo modo, se consideraron movimiento de otros elementos, como ventanas de acceso tanto al anaquel como a la unidad de control. La Figura 47 muestra la apertura de la ventana de acceso al anaquel. La aplicación de ventanas en el anaquel cumplen una función de seguridad ya que se espera que la máquina opere únicamente cuando estén cerradas. Además se ha considerado que sería importante habilitar la inserción manual de unidades de carga. Para esto se requerirá que se instalen sensores que detengan momentáneamente el funcionamiento de la operación del AS/RS. Aunado a esto, las ventanas cumplen una función estética y comunicativa; su presencia y indica que este es el frente del anaquel.



**Figura 47 Movimiento de apertura de ventana de acceso al anaquel**

Nota: a) Ventanas del anaquel en posición cerrada b) Muestra una ventana del anaquel en posición abierta. Fuente: elaboración propia

Se ha considerado que el gabinete de control cuente con ventanas. Generalmente los gabinetes de control cuentan con puertas de acceso opacas, de aluminio. Sin embargo, en este diseño se ha considerado hacerlos de vidrio, para que la transparencia del material deje visible los elementos interiores y que funcionen así de apoyo visual para alguna dinámica didáctica. La Figura 48 muestra las ventanas corredizas que se han instalado. Se eligió esta ventana por cuestiones de ahorro de espacio.

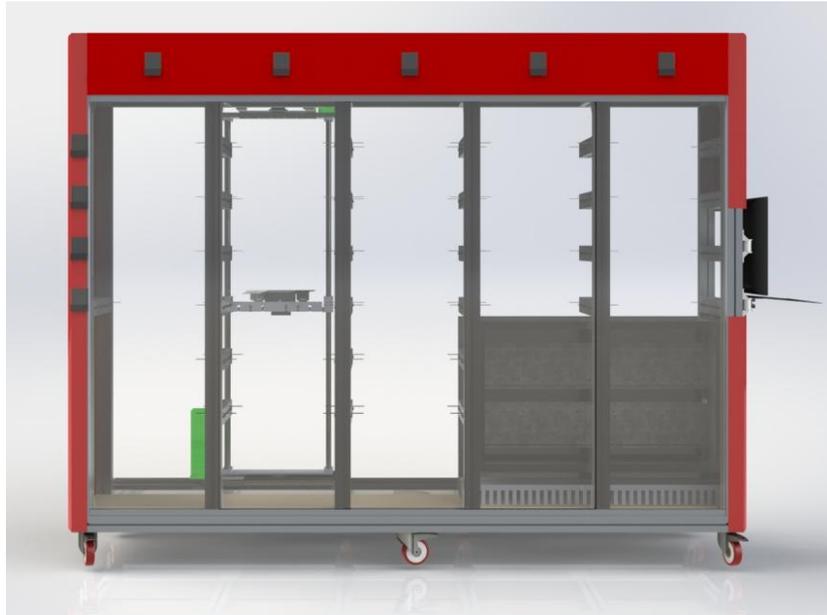


**Figura 48 Movimiento de ventana del gabinete de control**

Nota: a) Gabinete de control con la puerta de acceso en posición de cerrado. b) Gabinete de control con la puerta de acceso en posición abierta. (El color de la puerta de acceso fue modificada por cuestión de representación.) Fuente: Elaboración propia

## Capítulo 5. AS/RS final

A continuación se presenta el sistema AS/RS diseñado. La Figura 49, Figura 50 y la Figura 51 muestran vistas del producto final.



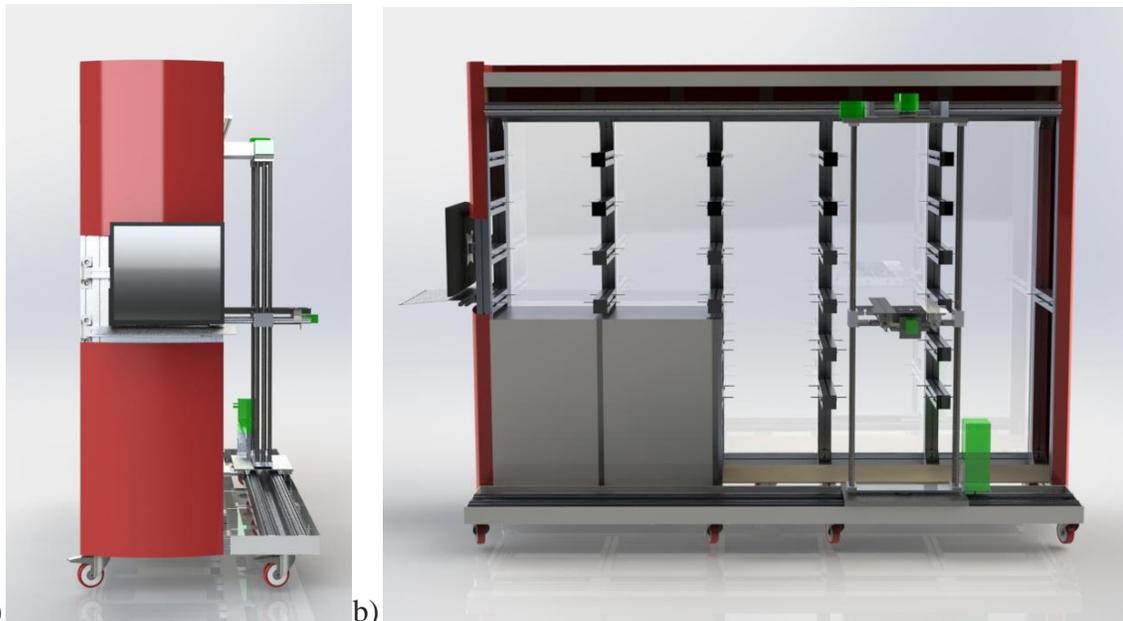
**Figura 49 Vista frontal del Sistema AS/RS diseñado**

Fuente: Elaboración propia

### 5.1 Características del AS/RS Diseñado

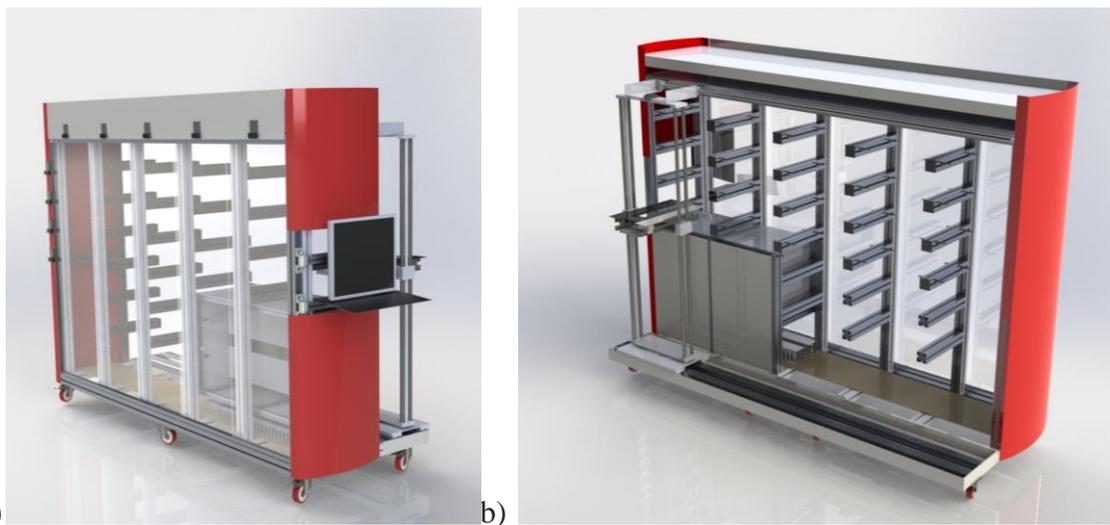
El concepto general formulado al inicio del proceso de diseño se basó en las siguientes nociones: Economía, sencillez, comodidad y flexibilidad.

Se procuró diseñar un sistema de almacenamiento con un anaquel estático de línea simple, con un transelevador sencillo. Consta de un pasillo único por donde transita la máquina de almacenamiento y retiro. Cuenta con un punto de entrada y salida. La unidad de control se divide en dos secciones; el gabinete de control y el monitor disponible al usuario.



a) b)  
**Figura 50 Vista lateral y posterior del Sistema AS/RS diseñado**

Nota: a) Vista lateral izquierda del sistema AS/RS diseñado. b) Vista posterior del sistema AS/RS diseñado.  
 Fuente: Elaboración propia



a) b)  
**Figura 51 vista isométrica de la propuesta final**

Nota: a) Vista isométrica uno sistema AS/RS diseñado. b) Vista en perspectiva del sistema AS/RS diseñado. Fuente: Elaboración propia

Se buscó que el sistema fuera flexible, por lo que permite las siguientes modificaciones:

1. El anaquel admite dos dimensiones de carga.

2. El anaquel puede ampliarse de 16 hasta 24 bahías de almacenamiento.
3. El gabinete de control puede constar de un único módulo, o puede ampliarse a contener dos.
4. El gabinete de control fijo puede colocarse dentro del anaquel o fuera.
5. El punto de entrada puede colocarse en la derecha o en la izquierda del anaquel, con o sin pantalla de cubierta.
6. Si es necesario, la máquina puede acoplarse a una banda transportadora. Ya sea a la izquierda o a la derecha.
7. La máquina de almacenamiento y retiro admite la instalación de un motor extra para habilitar un cuarto grado de libertad y permitiendo el giro hasta de 180°.

Estas modificaciones permiten que el anaquel pueda ampliarse para contener hasta un 50% más capacidad de almacenamiento. Sus diferentes configuraciones permiten una mayor flexibilidad y variabilidad de distribución de planta dentro de la celda de manufactura.

La división de la unidad de control permite que el usuario tenga acceso a un monitor con una interfaz gráfica con el usuario y que controle las operaciones mediante un teclado.

Si no se instala un monitor, también se posibilita la conexión con una computadora portátil que se puede colocar sobre el soporte del teclado.

El gabinete de control está cubierto por una ventana corrediza de vidrio. Esto es especial porque se ha considerado que se puedan observar los controladores, variadores, parada de emergencia, y demás partes de la unidad de control las partes del control desde afuera del anaquel y sin necesidad de interrumpir el funcionamiento de la máquina. El hecho que se puedan observar estos elementos es para reforzar el factor el apoyo visual dentro de una clase y hacer la máquina más didáctica. Otro elemento que se ha usado para reforzar la máquina para su uso didáctico son los letreros colocados para indicar las columnas y las hileras. Estos letreros se pueden iluminar con LED y programar de tal modo que la fila y la columna seleccionada desde la interfaz gráfica del usuario se encienda y funcione así como un apoyo visual para la clase.

Del mismo modo, y siguiendo las tendencias del mercado, se ha ideado que el anaquel cuente con ventanas corredizas. Éstas estarán instaladas con un sensor que pueda interrumpir la operación del AS/RS cuando estas se abran, de este modo se habilita una función extra: que se pueda meter o sacar manualmente una unidad de carga sin interrumpir la operación del AS/RS y sin riesgo para el usuario.

A continuación se describen las partes del AS/RS para que se pueda apreciar de manera individual.

## 5.2 Anaquel

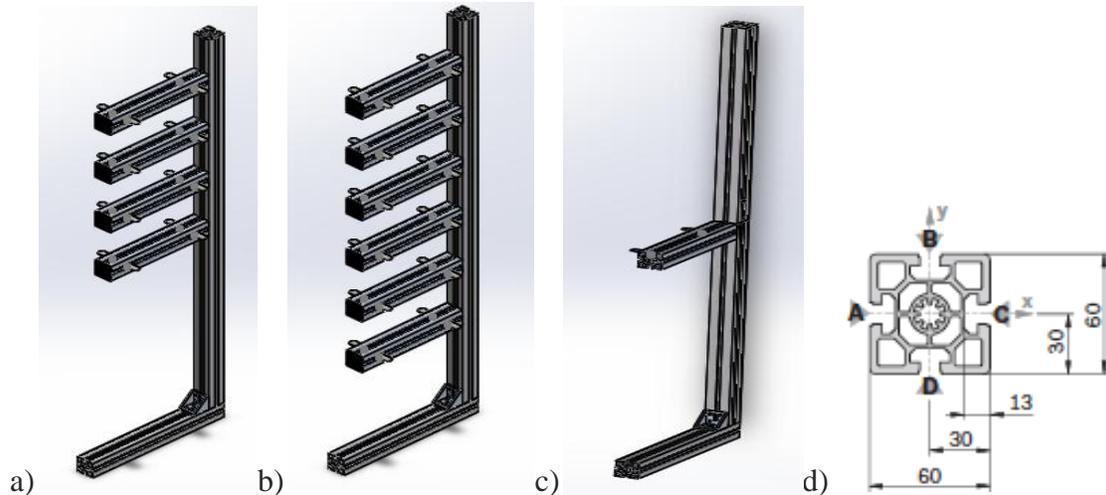


**Figura 52 Anaquel diseñado**

Fuente: Elaboración propia

El Anaquel diseñado se muestra en la Figura 52. En esta imagen, se pueden identificar varias partes: Las columnas, los travesaños y las cubiertas. La estructura del anaquel está conformado por perfiles extruidos de aluminio 60 x 60 de Boschrexroth. Y las columnas están realizadas de una medida estándar con cuatro travesaños para las bahías pero que pueden aumentar a contener de 6. La estructura usa cinco columnas de cuatro o de seis travesaños y una sola columna lateral especial para el punto de entrada y salida. ( Figura

53). De esta manera el anaquel puede usarse con 16 espacios estándar o hasta 20 máximo. Las cubiertas están realizadas con paneles de polipropileno y la cubierta superior es una pieza de conglomerado de madera que funciona únicamente como tapadera superior.

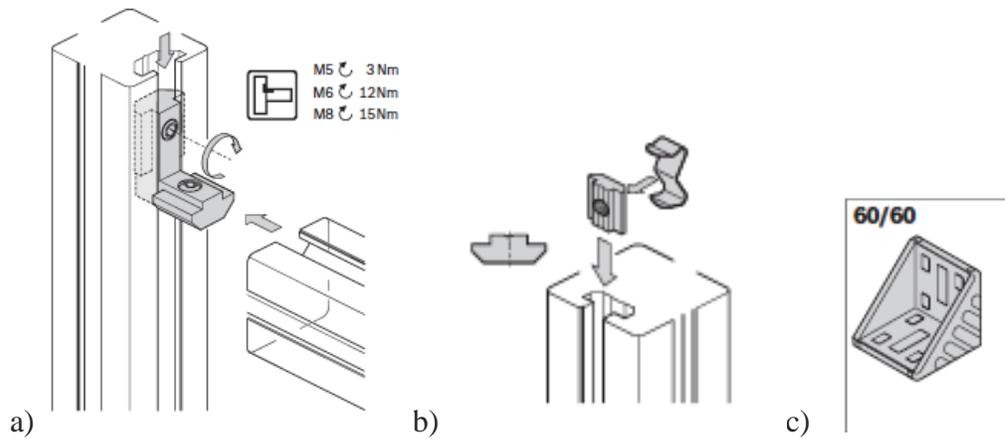


**Figura 53 Columnas del ASRS**

Nota: a) Módulo de columna con cuatro travesaños para bahías de almacenamiento. b) Módulo de columna con seis travesaños para bahías de almacenamiento. c) Módulo de columna con un travesaño para bahías de almacenamiento, para el el punto de entrada y salida. d) Perfil extruido de aluminio 60 x 60 Boschrexroth. usado para todos los travesaños y columnas.

Fuente: Incisos "a", "b" y "c" Elaboración propia. d) Boschrexroth (s.f) Catálogo de producto

Los travesaños y columnas están unidos mediante una escuadra interior proporcionada por la misma empresa. Para las uniones de las columnas con los travesaños inferiores se utilizó escuadras exteriores de 60 x 60. Las uniones de las cubiertas se realizan mediante el uso de tacos con tornillos M8. (Figura 54)



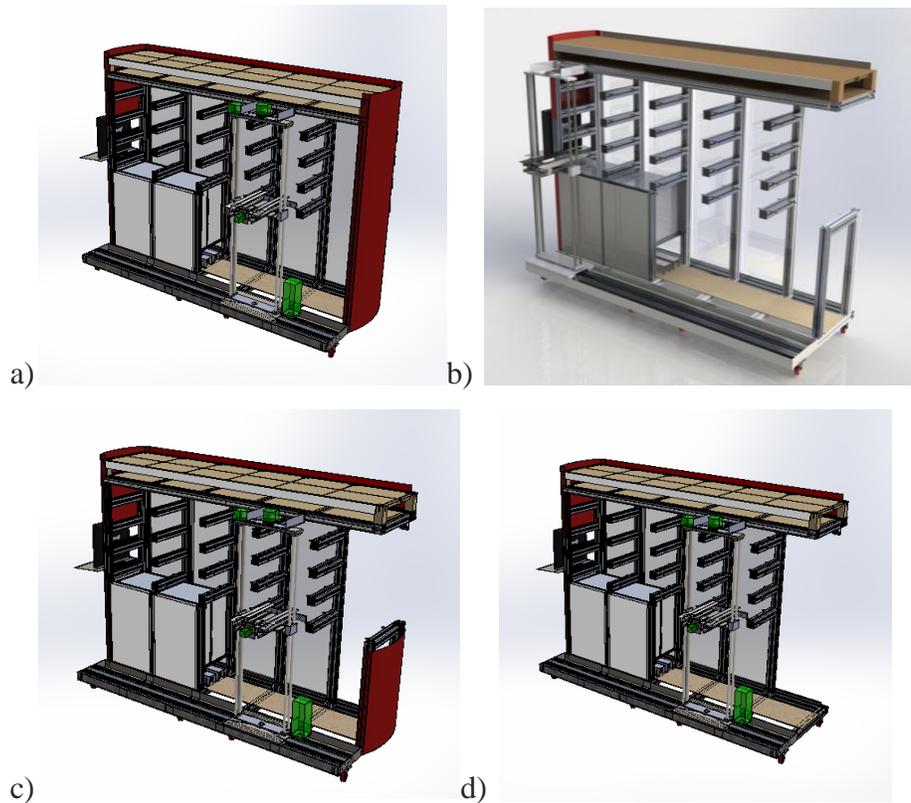
**Figura 54 Elementos de unión para la estructura del anaquel.**

Nota: a) escuadra interior. b) Taco guiado. c) Escuadra 60 x 60. Fuente: Catálogo de Boschrexroth

### 5.3 Puntos de entrada y salida

El punto de entrada y salida está integrado en el anaquel. Sin embargo, se consideraron las configuraciones de la Figura 55 para contar con una mayor flexibilidad dentro de la célula de manufactura. En su configuración normal, admite la entrada de objetos de manera directa, pero si se retira la cubierta, podría aceptar la unidad de carga desde una banda transportadora o un brazo robótico. También se consideró que se pudiera instalar del lazo izquierdo o el lado derecho del anaquel al cambiar la únicamente la columna lateral de

lugar.

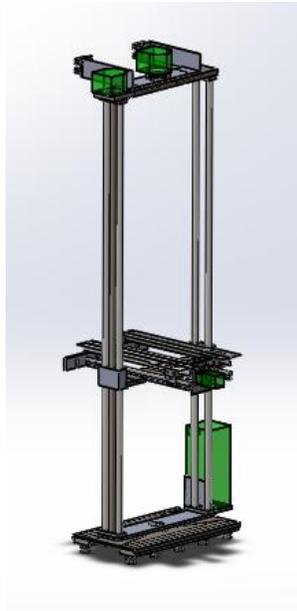


**Figura 55 Diferentes configuraciones para el punto de entrada y salida**

Nota: a) Sistema AS/RS con el punto de entrada y salida a la derecha del anaquel, con la cubierta lateral derecha cerrada. b) El punto de entrada y salida a la derecha del anaquel, sin la cubierta lateral derecha; posibilita la integración al FMS con un brazo robótico o una banda transportadora c) El punto de entrada y salida a la derecha del anaquel, con la cubierta lateral derecha a la mitad;. posibilita la integración al FMS con un brazo robótico o una banda transportadora. d) Sin un punto de entrada y salida integrado al anaquel mismo, para acoplarse a una banda transportadora. Esta opción es viable si se instala efectivamente el cuarto grado de libertad (giro de la máquina de almacenamiento y retiro) . Fuente: elaboración propia.

## 5.4 Máquina de almacenamiento y retiro

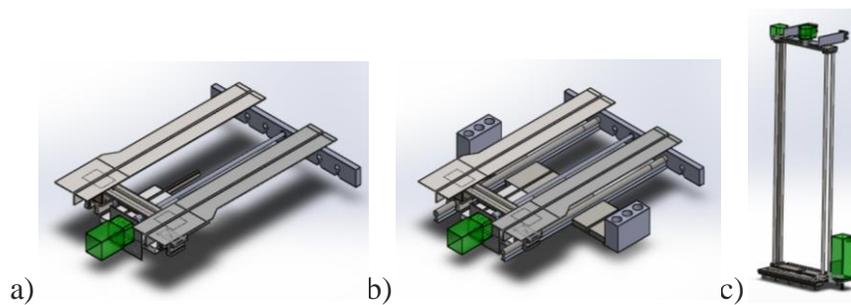
La máquina de almacenamiento y retiro (Figura 56) está instalado sobre un carrito de acero que se desliza sobre el riel del movimiento transversal.



**Figura 56 Máquina de almacenamiento y retiro diseñado**

Fuente: elaboración propia.

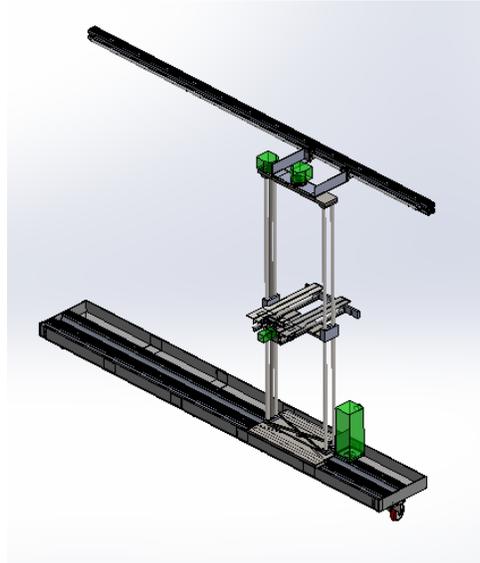
Esta conformado por tres cuerpos principales que están identificadas en la Figura 57: El cuerpo de movimiento horizontal, el cuerpo de movimiento vertical y el cuerpo de almacenamiento y retiro. El cuerpo de movimiento horizontal se instala sobre un carrito que se desliza sobre la guía de movimiento en X. Esta pieza también funciona como viga soportante de la estructura completa del la máquina de almacenamiento y retiro. El cuerpo de movimiento horizontal está conformado por un testero inferior y uno superior y dos columnas portantes. Este sub-ensamble carga el peso de todos los motores instalados.



**Figura 57 Partes de la máquina de almacenamiento y retiro**

Nota. a) Cuerpo de almacenamiento y retiro. b) Cuerpo de movimiento vertical con el cuerpo de almacenamiento y retiro . c). Cuerpo de movimiento horizontal. Fuente: elaboración propia.

## 5.5 Pasillo

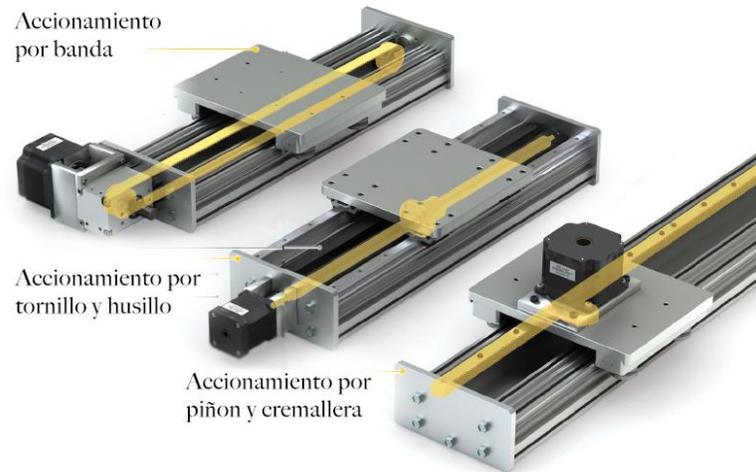
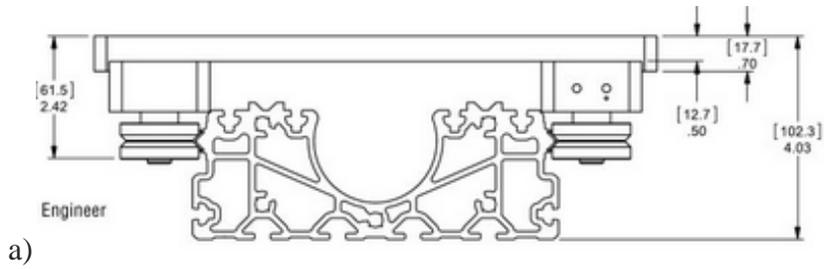


**Figura 58 Pasillo diseñado**

Fuente: elaboración propia.

El pasillo está conformado por tres partes: La guía superior, la guía inferior y el cajón de soporte del pasillo. La Figura 58 muestra el pasillo fuera del contexto del AS/RS.

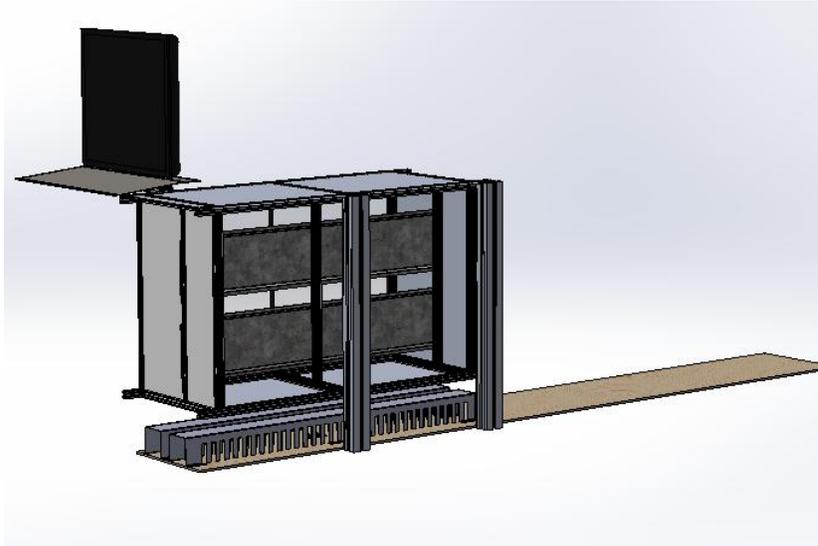
Es importante detallar que el riel de aluminio elegido, el IVT-ABK linear rail mostrado en la Figura 59 tiene la particularidad de aceptar varios mecanismos de accionamiento y permite la instalación del motor de dos maneras: una sobre el carrito guía (como está mostrado en la Figura 58) o a un costado del pasillo si es necesario para accionamientos de transmisión de banda o de tornillo móvil.



**Figura 59 IVT – ABK linear rail, de PBC linear elegido para el pasillo.**

Nota: Guía de movimiento seleccionado para el movimiento horizontal, a lo largo del eje "X". a) Vista frontal del IVT-ABK linear rail. de PBC Linear. b) Tres mecanismos de accionamiento que acepta el "IVT-ABK linear rail": Accionamiento por banda, accionamiento de tornillo móvil con husillo y accionamiento de piñón y cremallera. Fuente: Pacific Bearing Company. PBC Linear., 2014, p. 20 y 23.

## 5.6 Unidad de control



**Figura 60 Unidad de control diseñado**

Nota. Se aprecian las partes que conforman la unidad de control: El Gabinete de control, la pantalla y el teclado, y los organizadores de cables

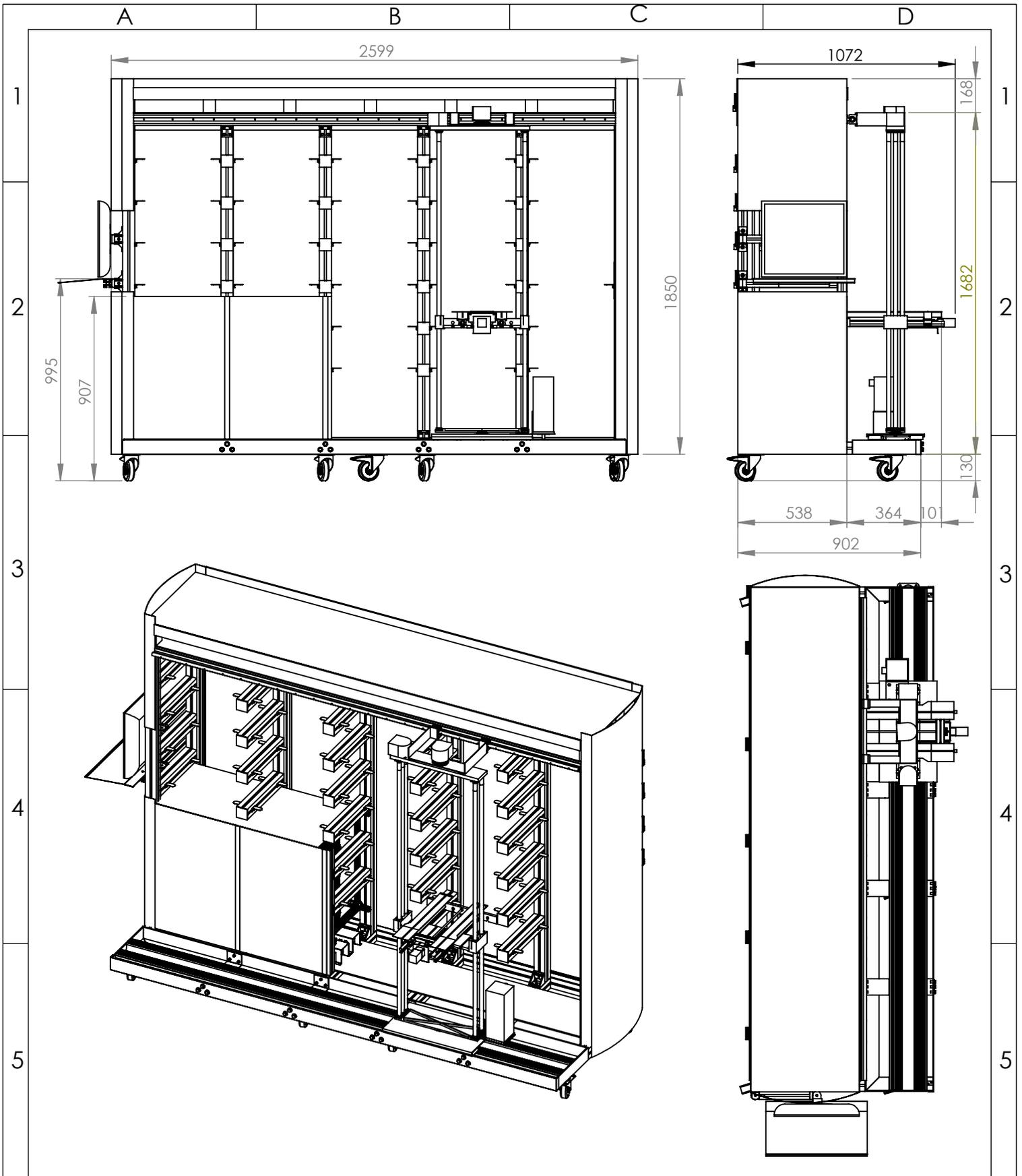
La unidad de control diseñada (Figura 60) está dividida en dos partes. La primera es el gabinete de control y queda ubicado dentro o fuera del anaquel. La segunda, ubicada en el exterior sobre la parte lateral del anaquel, es la pantalla de control y el teclado. Esta segunda parte queda en contacto directo con el usuario. El gabinete de control es diferente a otros gabinetes de control porque cuenta con una puerta de vidrio para permitir la apreciación de los controladores resguardados en el interior. En la Figura 61 se aprecia el movimiento que tiene la pantalla y el teclado, ajustable para mayor comodidad del usuario.



**Figura 61 Unidad de control disponible al usuario y ajustable**

Nota: La pantalla y el teclado, que son parte de la unidad de control, se encuentran al alcance inmediato del usuario y es ajustable. Esto permite una mayor flexibilidad del sistema. a) Pantalla y teclado posición cerrado, paralelo al lado del anaquel, b) Pantalla y teclado posición 2, abierto y perpendicular a la lateral del anaquel. c) Pantalla y teclado posición 3.

## 5.7 Planos generales



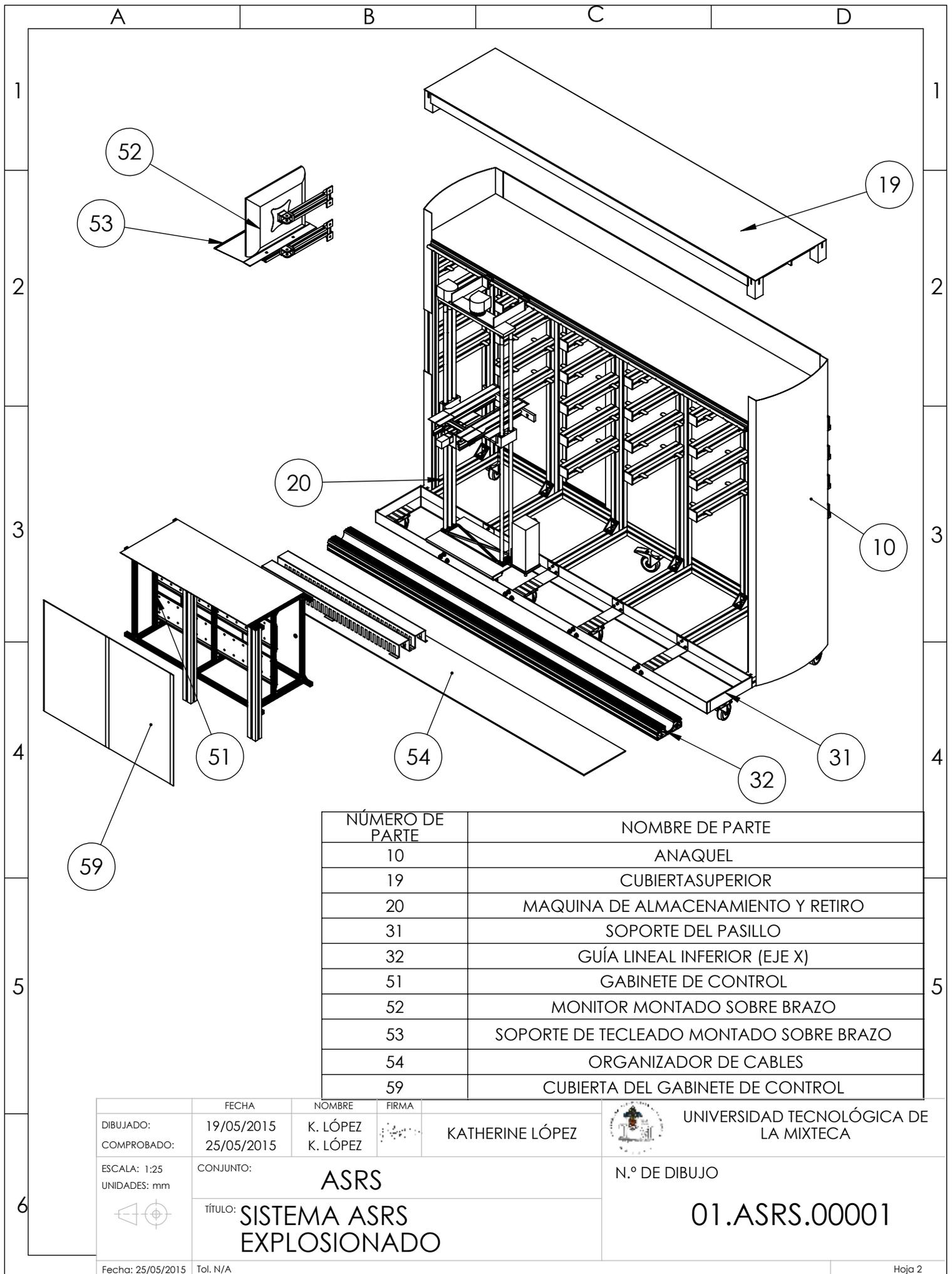
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	
DIBUJADO:	19/05/2015	K. LÓPEZ		KATHERINE LÓPEZ
COMPROBADO:	25/05/2015	K. LÓPEZ		
ESCALA: 1:25 UNIDADES: mm	CONJUNTO:			ASRS
	TÍTULO:			Sistema AS/RS



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE  
LA MIXTECA

N.º DE DIBUJO

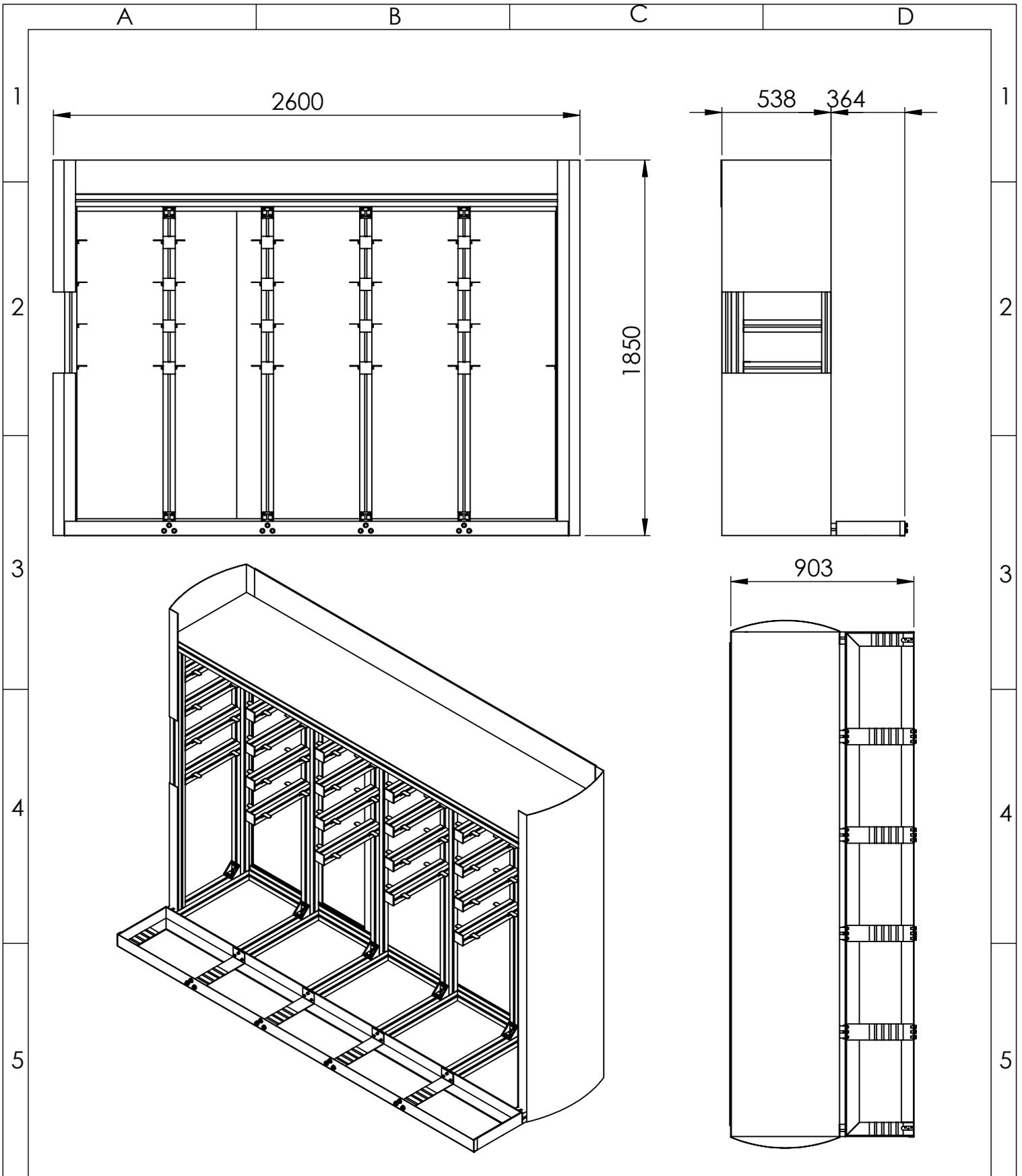
**01.ASRS.0000**



NÚMERO DE PARTE	NOMBRE DE PARTE
10	ANAQUEL
19	CUBIERTASUPERIOR
20	MAQUINA DE ALMACENAMIENTO Y RETIRO
31	SOPORTE DEL PASILLO
32	GUÍA LINEAL INFERIOR (EJE X)
51	GABINETE DE CONTROL
52	MONITOR MONTADO SOBRE BRAZO
53	SOPORTE DE TECLEADO MONTADO SOBRE BRAZO
54	ORGANIZADOR DE CABLES
59	CUBIERTA DEL GABINETE DE CONTROL

DIBUJADO:	FECHA	NOMBRE	FIRMA	KATHERINE LÓPEZ
COMPROBADO:	19/05/2015	K. LÓPEZ		
ESCALA: 1:25 UNIDADES: mm	CONJUNTO:			N.º DE DIBUJO
	TÍTULO: SISTEMA ASRS EXPLOSIONADO			

	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
01.ASRS.00001	



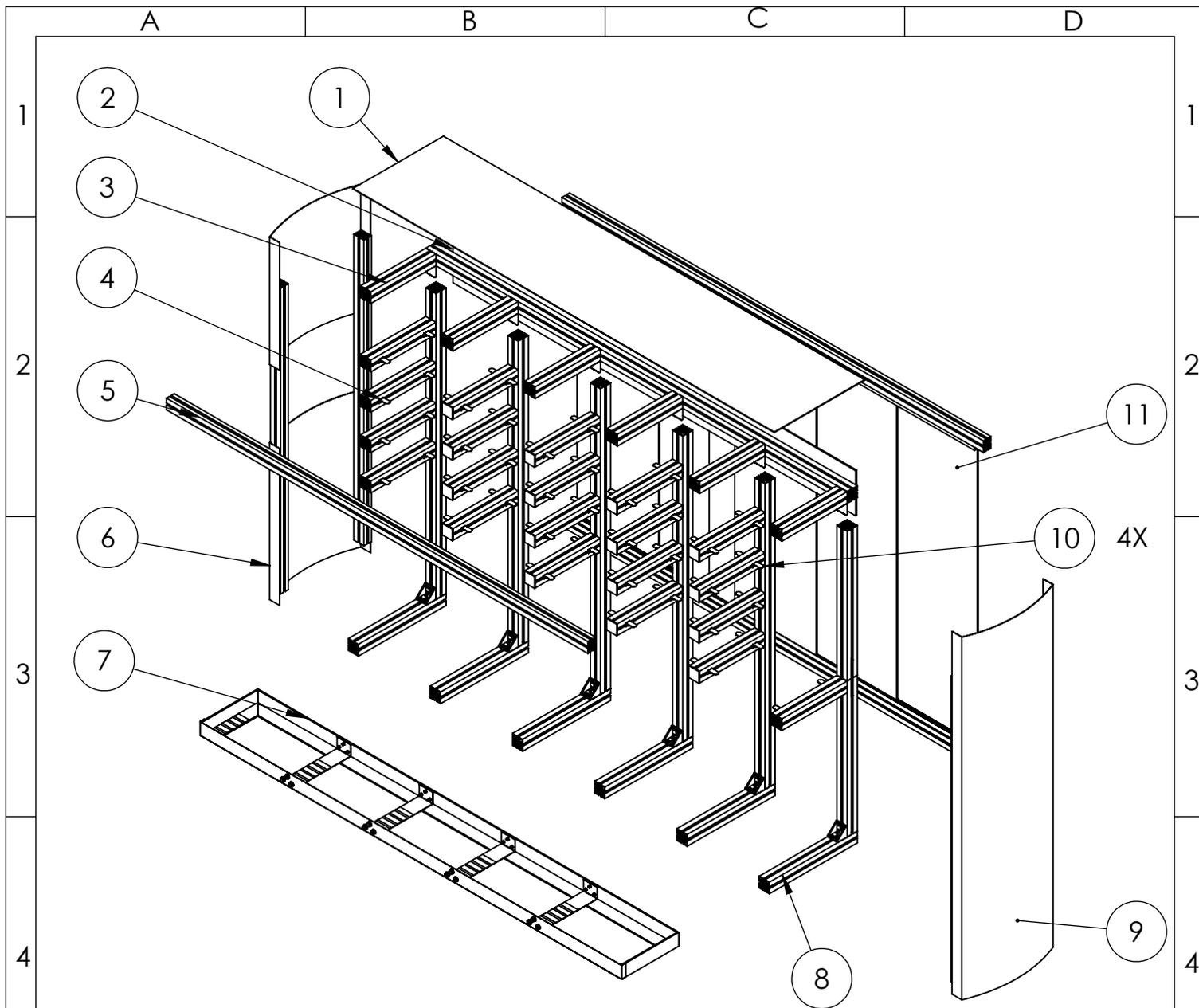
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	
DIBUJADO:	19/05/2015	K. LÓPEZ		KATHERINE LÓPEZ
COMPROBADO:	25/05/2015	K. LÓPEZ		
ESCALA: 1:25 UNIDADES: mm	CONJUNTO:			N.º DE DIBUJO
	TÍTULO: ANAQUEL			
	Fecha: 25/05/2015	Tol. N/A		



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE  
LA MIXTECA

01.A.1000

Hoja 3



N.º DE ELEMENTO	PARTE	CANTIDAD
1	CUBIERTA SUPERIOR DEL ANAQUEL	1
2	CUBIERTA SOBRE PUERTA	1
3	TRAVESAÑO ARMADO SUPERIOR	1
4	COLUMNA LATERAL	1
5	TRAVESAÑO DE UNION	1
6	CUBIERTA LATERAL DEL ANAQUEL	1
7	CHASIS DEL PASILLO	1
8	COLUMNA DE PUNTO DE ENTRADA Y SALIDA	1
9	CUBIERTA LATERAL	1
10	COLUMNA CENTRAL	4
11	PUERTA DE ACCESO	1

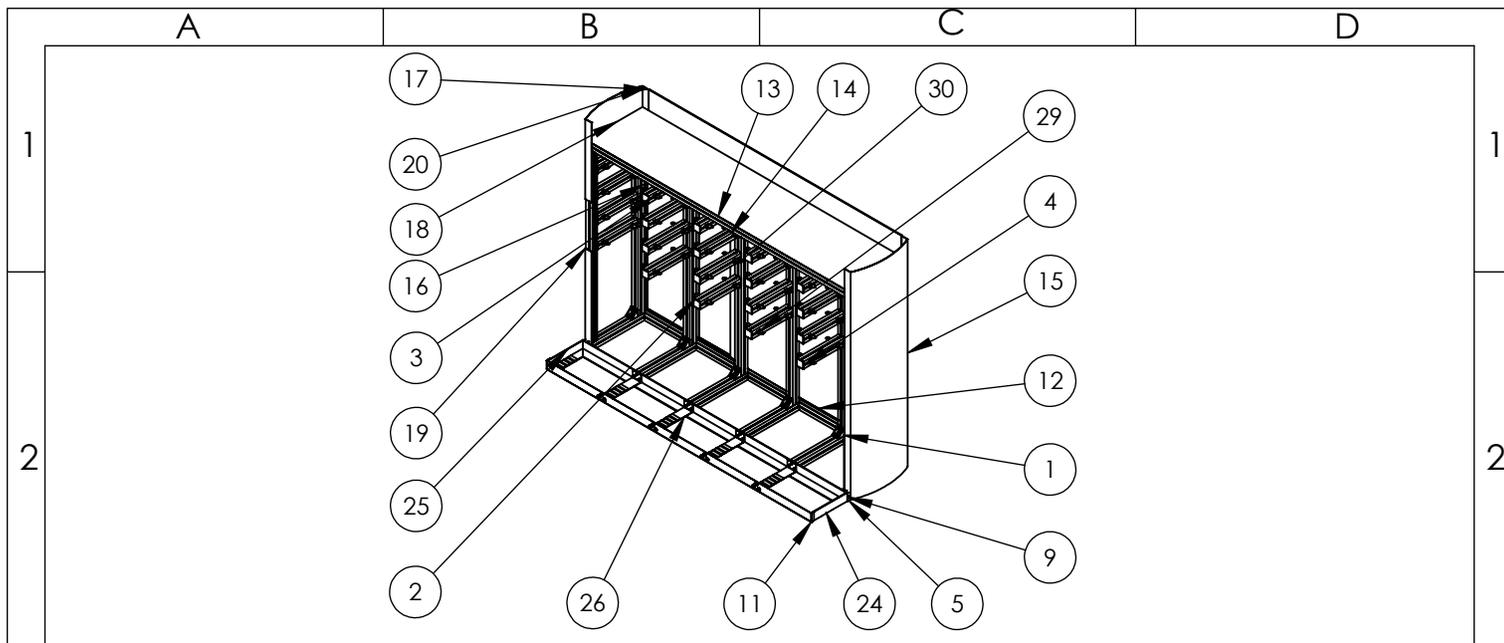
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	
DIBUJADO:	19/05/2015	K. LÓPEZ		KATHERINE LÓPEZ
COMPROBADO:	25/05/2015	K. LÓPEZ		
ESCALA: 1:25 UNIDADES: mm	CONJUNTO:			N.º DE DIBUJO
	TÍTULO: <b>ASRS</b> <b>ANAQUEL EXPLOSIONADO</b>			
Fecha: 25/05/2015	Tol. N/A			01.A.10001



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

N.º DE DIBUJO

01.A.10001



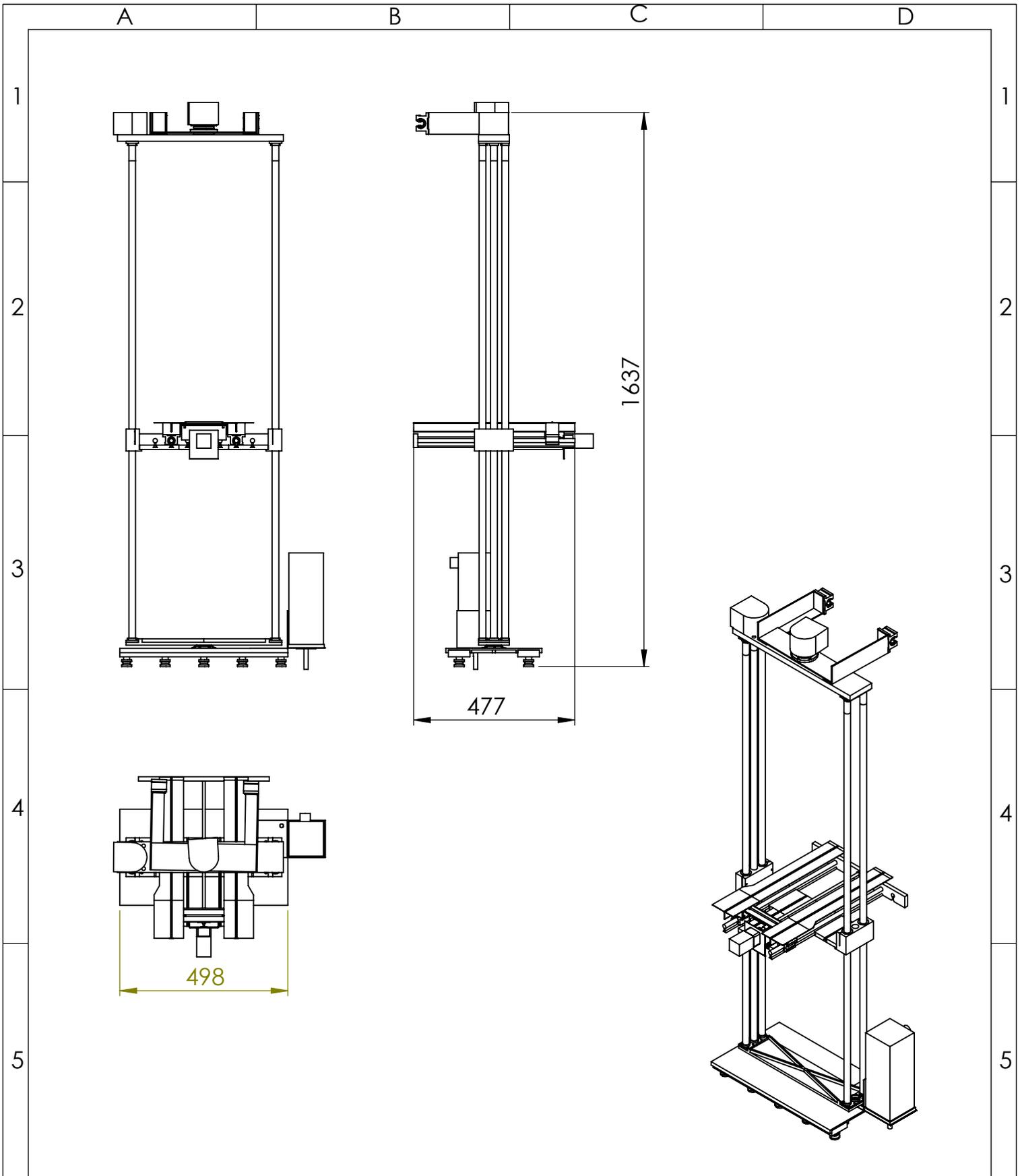
N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Perfil Boschrexroth 60x60	5
2	Perfil extruido de aluminio_Boschrexroth 60x60	27
3	Tuerca de martillo10 (M8)	74
4	Tapa de perfil de 60x60_Boschrexroth	16
5	Perfil extruido de aluminio_boschrexroth 60x60	6
6	Perfil extruido de aluminio_boschrexroth 60x60	1
7	Perfil extruido de aluminio_boschrexroth 60x60	1
8	Perfil extruido de aluminio_boschrexroth 60x60	1
9	Perfil "L" de acero 70x70 mm	1
10	Escuadra de acero inoxidable 60x60	2
11	Lamina de acero galvanizado calibre 24	1
12	Perfil para puertas corredizas Al Clip_Boschrexroth	2
13	Perfil extruido de aluminio - 45 x 60_Boschrexroth	3
14	Acrílico de 6mm	5
15	Polipropileno laminado brillante grueso (1.2 mm)- color rojo	1
16	Perfil extruido de aluminio_Boschrexroth 60x45	4
17	Lamina de Polipropileno de 1.2 mm de grosor	1
18	triplay de madera de pino 3mm	1
19	Polipropileno laminado brillante grueso (1.2 mm)- color rojo	1
20	Polipropileno laminado brillante grueso (1.2 mm)- color rojo	1
21	Escuadra interior boschrexroth. Ranura 10 / 10. Material acero dundido; galvanizado.	21
22	Escuadra de union 60/60. Ranura10. boschrexroth	12
23	empalador de perfiles 180 boschrexroth	2
24	Perfil "L" de acero 70x70 mm	1
25	Perfil "L" de acero 70x70 mm	1
26	Placa de acero	4
30	Lámina de acero, doblado	74

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	
DIBUJADO:	19/05/2015	K. LÓPEZ		KATHERINE LÓPEZ
COMPROBADO:	25/05/2015	K. LÓPEZ		
ESCALA: 1:50 UNIDADES: mm	CONJUNTO:			N.º DE DIBUJO
	TÍTULO:			
	ASRS			
	ANAQUEL LISTA DE PIEZAS			



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

01.A.10002



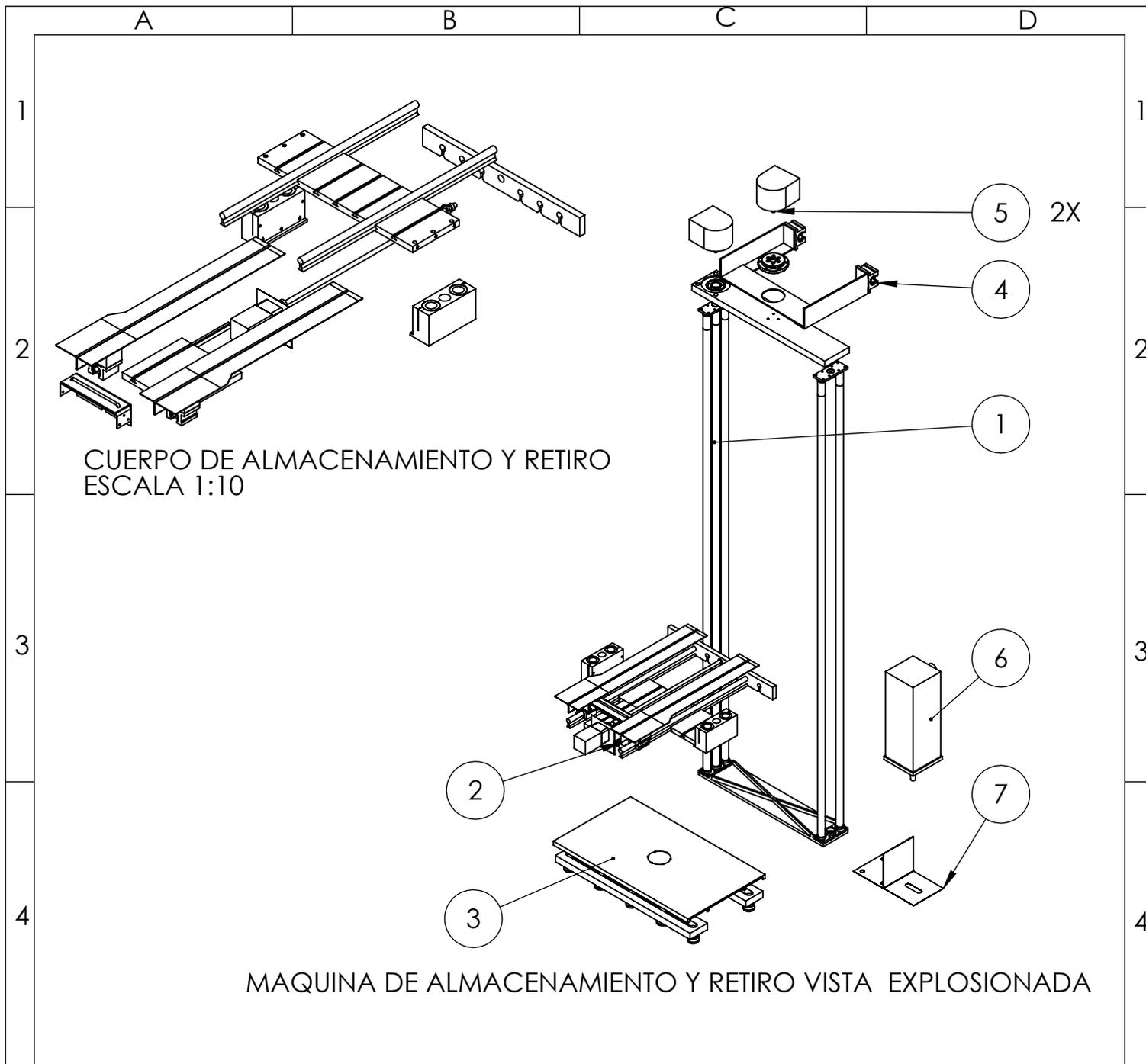
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	
DIBUJADO:	19/05/2015	K. LÓPEZ		KATHERINE LÓPEZ
COMPROBADO:	25/05/2015	K. LÓPEZ		
ESCALA: 1:15 UNIDADES: mm	CONJUNTO:			N.º DE DIBUJO
	TÍTULO: <b>ASRS</b> <b>MAQUINA DE ALMACENAMIENTO Y RETIRO</b>			
Fecha: 25/05/2015	Tol. N/A			



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

**01.MAR.2000**

Hoja 6



N.º DE ELEMENTO	PARTE	CANTIDAD
1	CUERPO DE MOVIMIENTO HORIZONTAL	1
2	CUERPO DE MOVIMIENTO VERTICAL	1
3	CARRITO DE GUÍA LINEAL (MOVIMIENTO X)	1
4	TESTERO SUPERIOR	1
5	MOTOR DE MOVIMIENTO EJE Y	2
6	MOTOR DE MOVIMIENTO EJE X	1
7	BRACKET DE MONTAJE DEL MOTOR X	1

DIBUJADO:	FECHA	NOMBRE	FIRMA	KATHERINE LÓPEZ
COMPROBADO:	19/05/2015	K. LÓPEZ		



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

ESCALA: 1:15  
UNIDADES: mm

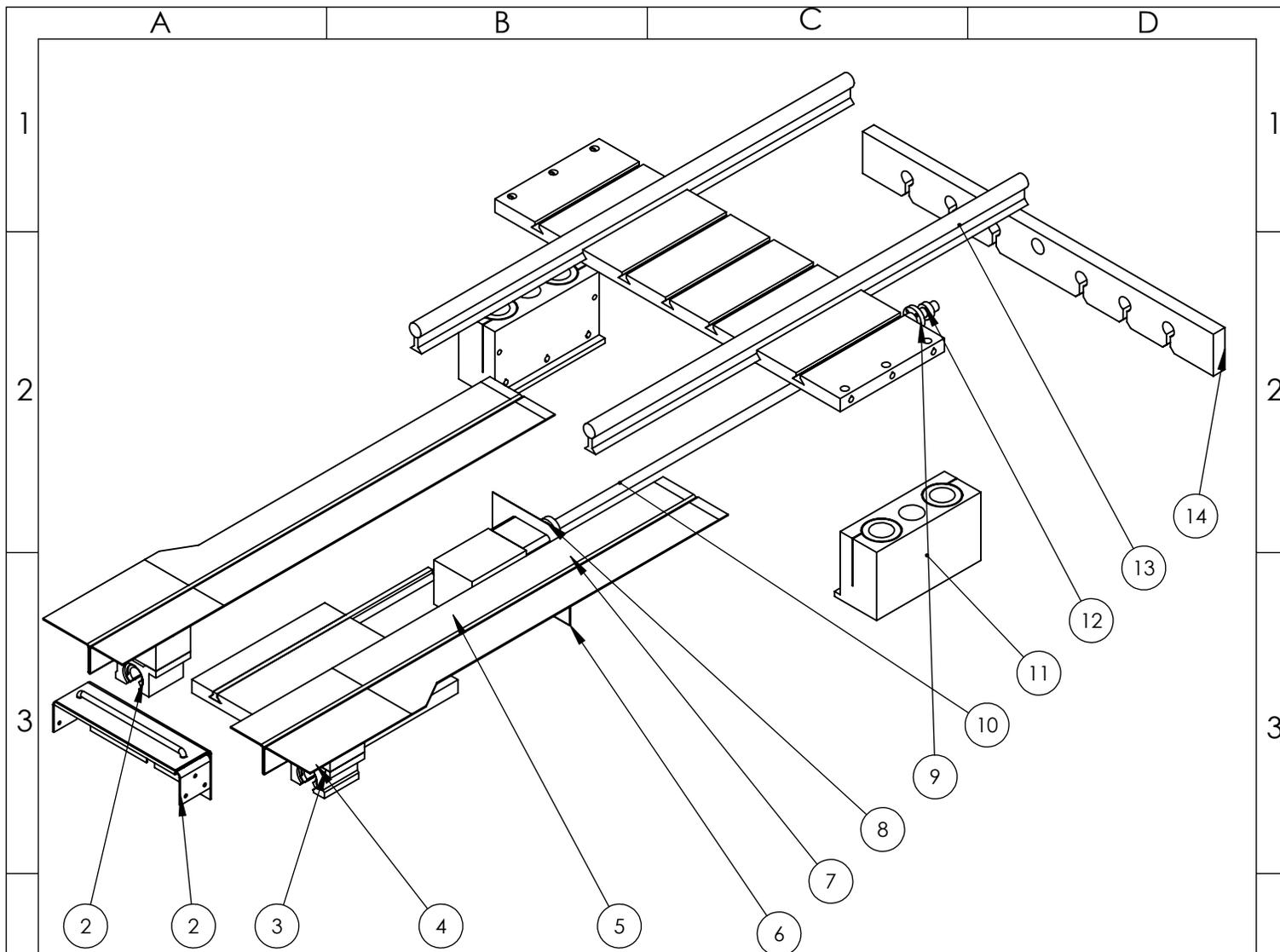
CONJUNTO:

**ASRS**

N.º DE DIBUJO

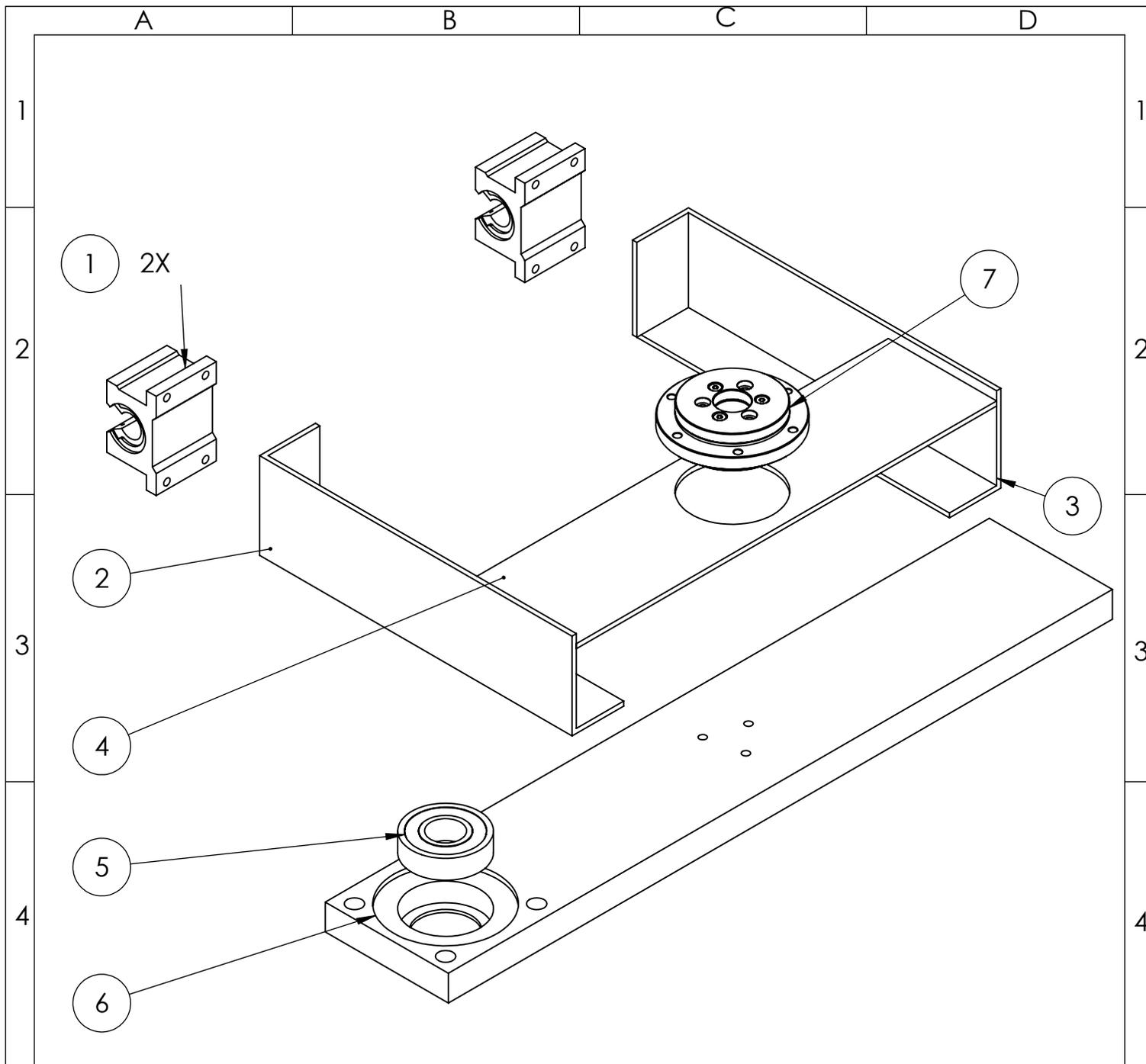
TÍTULO: MAQUINA DE ALMACENAMIENTO Y RETIRO\_EXPLOSIONADO

**01.MAR.2000**



N.º DE ELEMENTO	PARTE	CANTIDAD
2	SUBENSAMBLE DE HORQUILLA IZQUIERDA	1
2	ACOPLAMIENTO EXTENDIBLE ENTRE HORQUILLAS	1
3	SUBENSAMBLE DE HORQUILLA DERECHA	1
4	SOPORTE DE MOTOR	1
5	MOTOR DE MOVIMIENTO EJE Z	1
6	SUJETADOR DE MOTOR Z	1
7	CALZA DE ACOPLAMIENTO DE LA ALTURA DEL COJINETE	1
8	COJINETE DE SUJECIÓN DEL ACCIONADOR Z	1
9	HUSILLO DE BOLAS PARA ACCIONADOR EN EL EJE Z	1
10	MECANISMO DE ACCIONAMIENTO	1
11	BLOQUE DE DESLIZAMIENTO DEL MOVIMIENTO VERTICAL "eje y"	2
12	COJINETE PARA EL ACCIONADOR DEL MOVIMIENTO Z	1
13	TESTERO DE CUERPO DE MOVIMIENTO VERTICAL	1
14	BARRA DE FIJACION FRONTAL	1

DIBUJADO:	FECHA	NOMBRE	FIRMA	KATHERINE LÓPEZ	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
COMPROBADO:	19/05/2015	K. LÓPEZ			
ESCALA: 1:5 UNIDADES: mm	CONJUNTO:			N.º DE DIBUJO	01.MAR.2200
	TÍTULO: <b>ASRS</b> <b>CUERPO DE ALMACENAMIENTO Y RETIRO</b>				
Fecha: 25/05/2015	Tol. N/A				Hoja 8



N.º DE ELEMENTO	Parte	CANTIDAD
1	COJINETE DE MOVIMIENTO HORIZONTAL "X"	2
2	BRAZO DE SOPORTE IZQUIERDO	1
3	BRAZO DE SOPORTE DERECHO	1
4	SOLERA DE SOPORTE DE TESTERO SUPERIOR	1
5	RODAMIENTO GIRATORIO PARA EJE Y	1
6	BASE GIRATORIA SUPERIOR	1
7	RODAMIENTO DE GIRO: IGLIDE	1

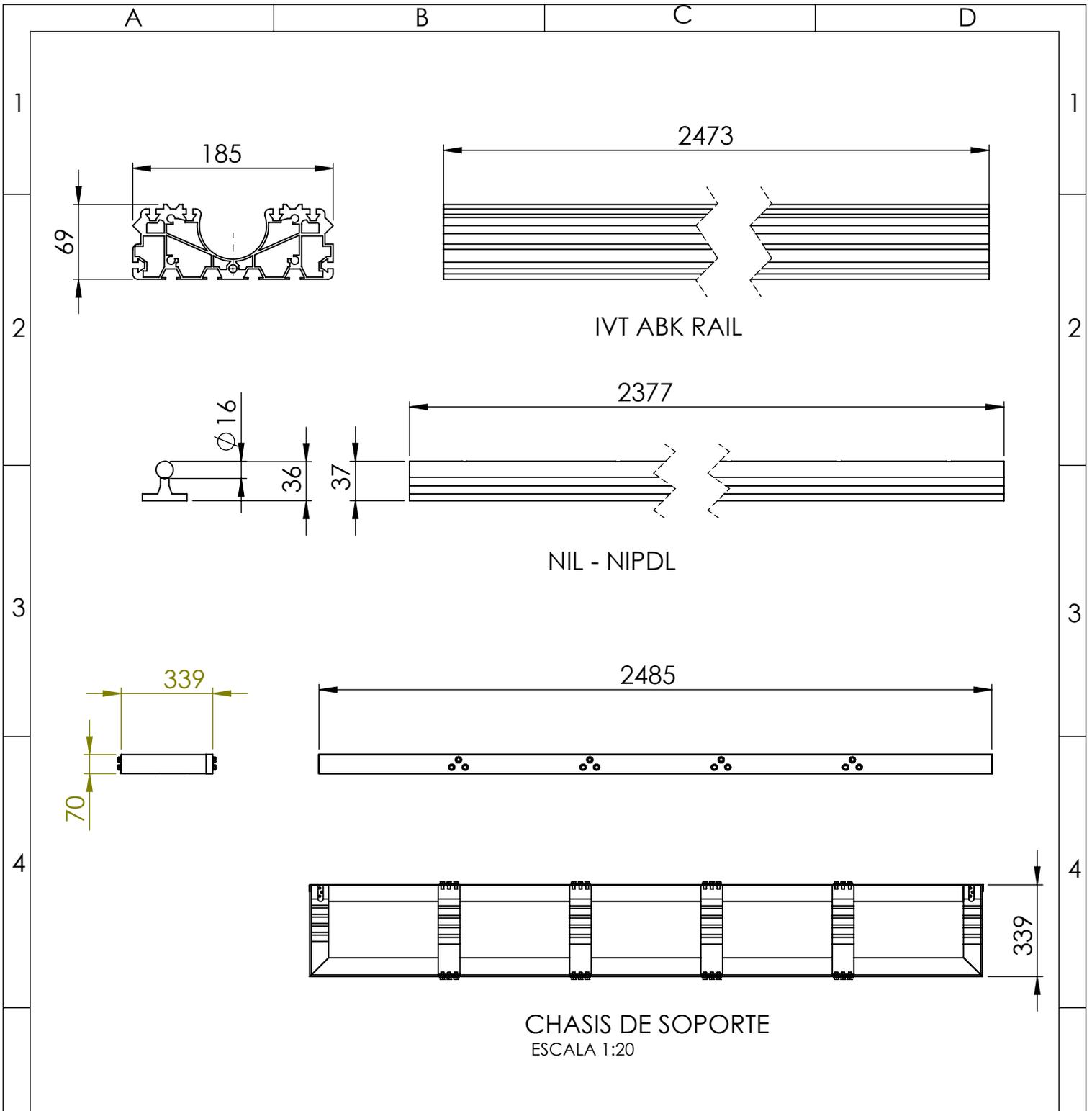
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	
DIBUJADO:	19/05/2015	K. LÓPEZ		KATHERINE LÓPEZ
COMPROBADO:	25/05/2015	K. LÓPEZ		
ESCALA: 1:3 UNIDADES: mm	CONJUNTO:			N.º DE DIBUJO
	TÍTULO: <b>ASRS</b> <b>TESTERO SUPERIOR</b> <b>EXPLOSIONADO</b>			<b>01.MAR.2400</b>
Fecha: 25/05/2015	Tol. N/A			Hoja 9



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

N.º DE DIBUJO

**01.MAR.2400**

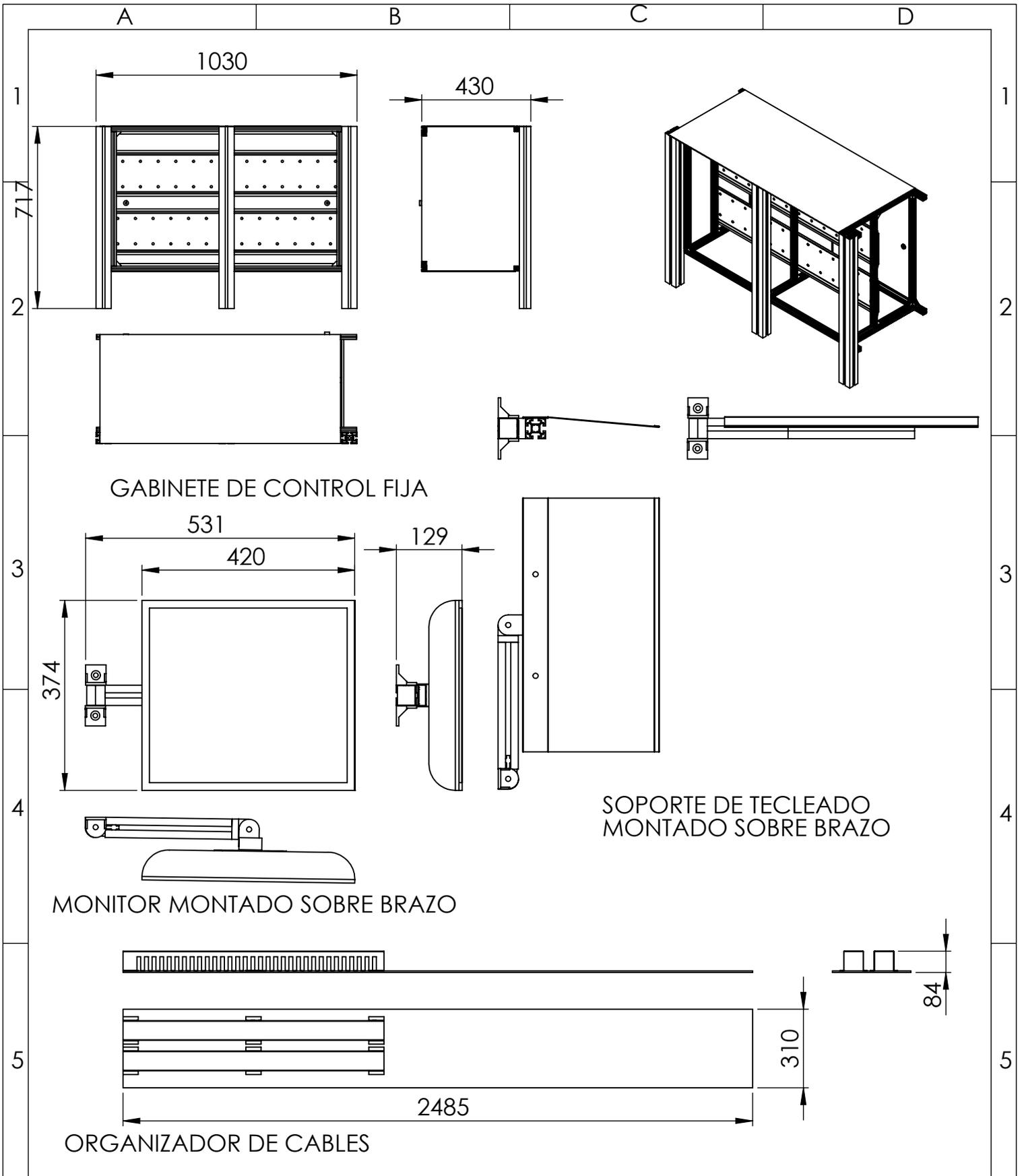


CHASIS DE SOPORTE  
ESCALA 1:20

PIEZA	PROVEEDOR	DESCRIPCIÓN
IVT ABK RAIL	PBC LINEAR	IVT - ABK LINEAR GUIDE RAIL. PBC LINEAR
NIL - NIPDL ROUND SHAFT	PBC LINEAR	NÚMERO DE PARTE: NIL04-019.000
CHASIS	CONSTRUCCIÓN PROPIA	CHASIS DE SOPORTE PARA EL MONTAJE DEL IVT-ABK LINEAR GUIDE RAIL

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	
DIBUJADO:	19/05/2015	K. LÓPEZ		KATHERINE LÓPEZ
COMPROBADO:	25/05/2015	K. LÓPEZ		
ESCALA: 1:5 UNIDADES: mm	CONJUNTO: <b>ASRS</b>			N.º DE DIBUJO <b>01.P.3300</b>
	TÍTULO: <b>PASILLO</b>			





	FECHA	NOMBRE	FIRMA	
DIBUJADO:	19/05/2015	K. LÓPEZ		KATHERINE LÓPEZ
COMPROBADO:	25/05/2015	K. LÓPEZ		
ESCALA: 1:20 UNIDADES: mm	CONJUNTO:			N.º DE DIBUJO
	TÍTULO: <b>ASRS</b> <b>UNIDAD DE CONTROL</b>			<b>01.UC.5100</b>
Fecha: 25/05/2015	Tol. N/A			



N.º DE DIBUJO

**01.UC.5100**

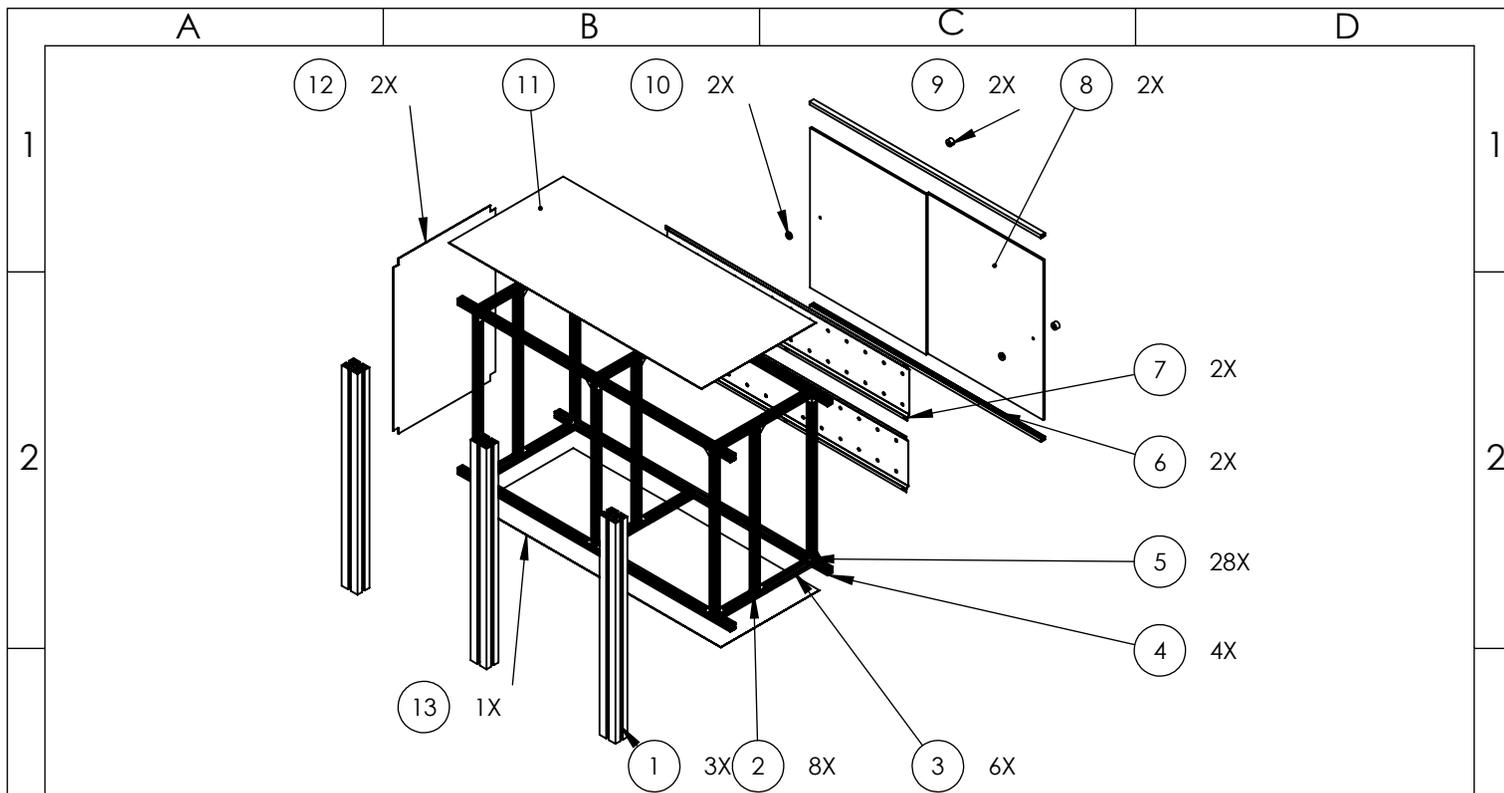


Tabla de LDM

N.º DE ELEMENTO	PARTE	DESCRIPCIÓN	Longitud	CANTIDAD
1	COLUMNA DE SOPORTE DEL LA UNIDAD DE CONTROL	Perfil extruido boschrexroth 45 x 60 mm	717	3
2	COLUMNA DE ESTRUCTURA DEL GABINETE DE CONTROL	perfil extruido 20x20 boschrexroth	530	8
3	VIGA TRANSVERSAL	perfil extruido 20x20 boschrexroth	345.15	6
4	TRAVESAÑO LONGITUDINAL	Perfil extruido de aluminio, boschrexroth 20x20	1027	4
5	ESCUADRA DE UNIÓN EXTERIOR 20X20	escuadra de union exterior 20 x 20		28
6	PERFIL DOBLE U	PERFIL" DOBLE U" DE ALUMINIO DIM. 10 X 16X 10X 1.3 MM	870	2
7	PLACA DE MONTAJE DE CONTROLADROES	Lámina de acero galvanizado calibre 24		2
8	PUERTA DEL GABINETE DE CONTROL	Vidrio de 3 mm espesor		2
9	MANIJA DE PUERTA DE VIDRIO	Manija de puerta, HDPE		2
10	MANIJA DE PUERTA	Manija de puerta de Polietileno de Alta Densidad(HDPE)		2
11	TAPA SUPERIOR	Lámina de aluminio calibre 24 recubierto de una lámina de pvc rígido de .02 pulg.		1
12	TAPA LATERAL DEL GABINETE DE CONTROL	Lámina de aluminio calibre 24 recubierto de una lámina de pvc rígido de .02 pulg.		2
13	TAPA INFERIOR DEL GABINETE DE CONTROL	Lámina de aluminio calibre 24		1

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	
DIBUJADO:	19/05/2015	K. LÓPEZ		KATHERINE LÓPEZ
COMPROBADO:	25/05/2015	K. LÓPEZ		
ESCALA: 1:20 UNIDADES: mm	CONJUNTO:			N.º DE DIBUJO
	TÍTULO:			
	<b>ASRS</b>			
	<b>GABINETE DE CONTROL EXPLOSIONADO (PIEZAS)</b>			<b>01.UC.51002</b>



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

N.º DE DIBUJO

**01.UC.51002**

## 5.8 Trabajo a futuro

El proyecto emprendido es muy amplio y multidisciplinar, consecuentemente aunque se haya concluido el diseño de la estructura física del sistema de almacenamiento y retiro automático para fines didácticos, todavía requiere importantes aportaciones de ingenieros de otras áreas.

En ingeniero en mecatrónica debería elegir e instalar los motores adecuados finales para posibilitar el funcionamiento del sistema. Para diseñar el AS/RS, se ha realizado una elección tentativa de la dimensión y potencia de motor a usar. De esta selección, se tomaron en cuenta medidas y pesos de motores posibles y posibles formas de montarse. Sin embargo, el verdadero motor a elegir, conjuntamente con su accionador final excede los límites de esta tesis y de la pericia del ingeniero en diseño.

Un ingeniero electrónico y un ingeniero industrial deben ser capaces de diseñar el hardware necesario para realizar el sistema de lectura y ejecución de órdenes, el sistema de transferencia entre puntos de entrada-salida y los anaqueles, el sistema de localización y recuperación de unidades, el sistema de registro y acomodo, y el sistema de empaque y envío.

Además es necesario el trabajo de un programador o ingeniero en computación para realizar un software adecuado, preferiblemente con una interfaz gráfica del usuario. Es importante considerar al estar diseñando el sistema de control, el software final de este proyecto y, cierto aspectos que permitan la flexibilidad del sistema:

- Su programación debe admita la incursión manual de materiales a través de la puerta de acceso.
- Que los letreros de indicación de columna y de fila se enciendan al elegir una celda destino.
- Los controladores deberán estar colocados de tal manera que al cambiar el sistema físico a cualquiera de las configuraciones, no se requiera de mucho esfuerzo para acomodar las conexiones.

- Deberán considerarse distintas secuencias de almacenado

En cuanto al diseño físico se puede buscar optimizar el diseño al cambiar el perfil usado para las columnas por uno más angosto. Esto con el objetivo de reducir el material usado para el armado de la estructura del anaquel. También se puede diseñar de manera más precisa el acoplamiento de la máquina con la banda transportadora.

Del mismo modo, Sería pertinente también realizar una evaluación sobre un prototipo del AS/RS. para evaluar de manera empírica cuestiones de ergonomía y de interacción humano máquina HMI.

## Capítulo 6. Conclusiones

La tesis tuvo objetivo diseñar la estructura física de un sistema de almacenamiento automático AS/RS para fines didácticos<sup>40</sup>, adecuado para la Universidad Tecnológica de la Mixteca, que sea física y funcionalmente parecido a los sistemas de almacenamiento automático que existen actualmente en las industrias.

Como resultado de la investigación de mercado, investigación documental y el estudio de campo realizados, se logró recopilar información necesaria para determinar los requerimientos de diseño. Esta indagación se obtuvo de AS/RS en distintos ámbitos: en la industria y en la educación. Después se asimiló, analizó, clasificó y jerarquizó toda la mirada de información y datos obtenidos mediante la aplicación metodológica del pensamiento sistémico. Utilizando este acercamiento, se definió al producto por diseñar como un sistema conformado por entradas, procesos y salidas. Este acercamiento enfocó la atención en las funciones que debía realizar el AS/RS para asegurarse que no hacía falta algún sistema y ayudó a delimitar con mayor precisión el AS/RS por diseñar.

Se realizó el despliegue de la función de calidad (QFD) para determinar y dar valor a las características más importantes del sistema y a las cuales era necesario prestar mayor atención. Durante este proceso, se define la interacción de cada uno de los requerimientos de diseño específicos con los requerimientos generales de diseño, y estos últimos con las necesidades del usuario y al mismo tiempo se determina la interdependencia entre requerimientos. Así se asegura que al cumplir con los requerimientos de diseño también se satisfacen las necesidades del usuario.

La definición del concepto del sistema de almacenamiento y retiro completo originó de la definición de cada una de las partes involucradas en el funcionamiento del AS/RS y de su

---

<sup>40</sup> El sistema se utilizaría para estudiar aspectos de su funcionamiento general, aplicaciones, control, procesamiento de datos, decisiones operacionales, estimaciones de tiempo de funcionamiento, diseño de estructuras y automatización de vehículos.

conceptualización individual. Al realizarlo así, se respetó una práctica común del acercamiento sistémico de dividir la unidad del problema en su problemas más pequeños. Los conceptos de las partes individuales se combinaron entre ellas para generar conceptos del sistema completo, generando varias configuraciones posibles tentativas del AS/RS por diseñar. Se eligieron cinco configuraciones que fueron evaluadas usando los criterios del QFD para determinar la configuración final del AS/RS por diseñar.

El proceso de diseño subsecuente se realizó considerando las características del concepto final elegido. Esto facilitó el diseño a detalle pues en esta fase de diseño se tiene una idea concisa de cómo debe funcionar y cómo deben relacionarse los sub-ensambles del sistema. En esta fase sólo es cuestión de determinar los componentes de los sub-ensambles. Durante este desarrollo se diseña considerando que el comportamiento mecánico de la pieza sea aceptable y que la pieza sea realizable con los procesos de manufactura determinadas en los requerimientos de diseño.

Como proceso de evaluación del diseño se realizaron los análisis estáticos de las partes sobre piezas clave del sistema. Por razones de efectividad y de capacidad del programa, se analizaron las piezas por separado, considerando las reacciones de fuerzas normal, cortante y de momento transmitidas de otros componentes o sub-ensambles. Las piezas prefabricadas por otros proveedores no fueron analizadas usando el programa Soldiworks, pero fueron seleccionadas dependiendo de sus características y si soportarían las fuerzas transmitidas.

Finalmente se obtuvo un sistema de almacenamiento AS/RS que sea económico, sencillo, cómodo y flexible. Es sencillo porque usa muchos componentes repetidos, reduciendo la variabilidad de las partes. Es cómodo porque se han considerado las dimensiones antropométricas y porque está diseñado para impartir una clase apoyado de elementos visuales. La flexibilidad del sistema es otorgado gracias a la gran variedad de expansiones y de configuraciones que puede adoptar el AS/RS.

Se ha calculado que el precio aproximado del proyecto final será de \$91,670 MXN . Las consideraciones se pueden consultar en el Anexo 17: Consideraciones para la aproximación

del presupuesto. El precio calculado considera ya el precio de los motores que se eligieron. A este precio faltaría considerar el hardware, los controladores y los accionadores finales seleccionados que podría elegir un ingeniero en mecatrónica. También falta por considerar el precio del desarrollo del software.

Para finalizar el proyecto es necesario la colaboración de otros ingenieros de diversas áreas. Sin embargo al finalizar este proyecto de tesis se cuenta ya con una idea sólida de una estructura versátil y flexible que admitirá variabilidad en su configuraciones que facilitará el trabajo de los futuros participantes del proyecto para ejecutar la producción de un sistema de almacenamiento y retiro automático para fines didácticos.

## Capítulo 7. Bibliografía

ActiveWave (s.f.) *Advantages of RFID*. Recuperado de:  
[http://www.activewaveinc.com/technology\\_rfid\\_advantage.php](http://www.activewaveinc.com/technology_rfid_advantage.php)

Aquilino, R.P. (2007) *Sistemas SCADA* (2ª. ed.) México. Marcombo, ediciones técnicas en coedición con alfaomega grupo editor.

Ashby, M. F. (2005). *Materials selection in mechanical design*. Oxford, United Kingdom; Elsevier.

Aslam M., Farrukh, Gardezi A. R. & Nasir Hayat. (2009) *Design, Development and Analysis of Automated Storage and Retrieval System with Single and Dual Command Dispatching using MATLAB*. World Academy of Science, Engineering and Technology.

Bahill, A. T. & Chapman, W.L. (1993). A tutorial on quality function deployment. *Engineering Management Journal*. Vol (5) No. 3. (pp. 24-35)

Cabrera, R.C. ( s.f. ). *Lean Six Sigma TOC. Simplificado. PYMES*. México.

Córdoba, E. (2006). Manufactura y automatización. *Ingeniería e investigación*, 26(3). 120-128

Dirección General de Educación Superior Universitaria : Subdirección de planeación y evaluación/Departamento de planeación. (2013). *Seguimiento de informe financiero de la Universidad Tecnológica de la Mixteca*. México: Subsecretaría de Educación Pública. Recuperado de: [http://www.utm.mx/pef/FADOES/2013/FADOES-4totrim\\_Seg\\_Inf%20Financiero.PDF](http://www.utm.mx/pef/FADOES/2013/FADOES-4totrim_Seg_Inf%20Financiero.PDF)

Enhancing asset management and profitability with automated material handling systems. (s.f) MHI: the industry that makes the supply chain work. Recuperado de <http://www.mhi.org/downloads/industrygroups/as-rs/technicalpapers/summary.pdf>

Ergomach. (2010). *Sheet human-machine interfaz*. Recuperado de: <https://ergomach.wordpress.com/machinery-directive/human-machine-interfaz/>

Festo Didactic GmbH & Co. KG. (2014). Research and teaching platform for integrated automation. [comunicado de prensa] obtenido de: [http://www.festo.com.cn/net/en-cn\\_cn/SupportPortal/press.aspx?cat=4198&tab=10&s=t](http://www.festo.com.cn/net/en-cn_cn/SupportPortal/press.aspx?cat=4198&tab=10&s=t)

Gu, J. Goetschalckx, M. & McGinnis, L. (2009). Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. *European journal of operational research*. 203. Doi: 10.1016/j.ejor.2009.07.031

Groover, M. P. (Eds). (1987) Automated Storage Systems. En *Automation production systems and computer integrated manufacturing*. (pp. 404-430). United States of America: Prentice-Hall.

Groover, M. P. (Eds). (2001) En *Automation production systems and computer integrated manufacturing*. United States of America: Prentice-Hall.

Groover, M. P. (Eds). (2008) Automated Storage Systems. En *Automation production systems and computer integrated manufacturing*. (pp. 313 - 325). United States of America: Prentice-Hall.

Hachemi K., Sari, Z. & Ghovali N. (2012) A step by step dual cycle sequencing method for unit-load automated storage and retrieval systems. *Elsiever*.

Hernández, U. (2010). Las barras harán estrella a tu Pyme. *CNN Expansión*. Recuperado el 23 de Febrero del 2015, <http://www.cnnexpansion.com/emprendedores/2010/05/27/codigo-barra-escaner-producto-expansion>

Hernández, S. & Hernández, M. (03 de Septiembre de 2013) Comunicación personal.

Hernández Samperi, R., Fernández Collado, F. & Baptista Lucio, M. (2010) *Metodología de la investigación* (5a. ed.). México: Mc Graw Hill.

Huchim, S. P. (2011). Inaugura La Costeña el almacén automatizado más grande de Latinoamérica. *Énfasis Logística*. Obtenido en: <http://www.logisticamx.enfasis.com/notas/19514-inaugura-la-costena-el-almacen-automatizado-mas-grande-latinoamerica>

IHS Global Spec (2014). Linear actuators information. New York: Autor.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México, INEGI. (2013). *Producto interno bruto en México durante el cuarto trimestre de 2012*. Aguascalientes, México: Autor

Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa. (2014). *Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones: habitabilidad y funcionamiento.3(III)*. México: Autor.

International Organization for Standardization. [ISO]. (2014). *Standards catalogue*. Recuperado de: [www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_ics.htm](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics.htm)

Jones Ch. (1978) *Métodos de Diseño*. Barcelona: Gustavo Gili.

Kalpakjian, S. & Schmid, S.R. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. (cuarta ed.) New Jersey. Prentice Hall.

Krasa, S.A & Pal, S. S. (1990). Flexibility in Manufacturing: A survey. *The international journal of flexible manufacturing.*, 2, 289-328.

King, R. L. (2012). Top 20 systems suppliers. *Modern Materials Handling*. (sin vol) p. 28-30 Obtenido en: [http://www.mmh.com/article/top\\_20\\_systems\\_suppliers\\_2014](http://www.mmh.com/article/top_20_systems_suppliers_2014)

Lerher, T. & Šraml, M. (2012). Designing unit load automated storage and retrieval systems. En Manzini, R. (Eds). *Warehousing in the global supply chain*. (pp. 211-231). London: Springer-Verlag. doi: 10.1007/978-1-4471-2274-6\_9

Material Handling Institute of America. (s.f.). Enhancing asset management and profitability with automated material handling systems. (p. 7) Charlotte: Autor.

- Mares, M.A. (2012). México, pivote de la industria automotriz. *El Economista*. 23(17). Recuperado de <http://eleconomista.com.mx/columnas/columna-especial-empresas/2012/11/14/mexico-pivote-industria-automotriz>
- Marin C. (s.f) Almacenamiento automático: soluciones ingeniosas para el manejo de materiales. *Metal Actual*, 17, 38-43. Recuperado de [http://www.metalactual.com/revista/17/productividad\\_almacenes.pdf](http://www.metalactual.com/revista/17/productividad_almacenes.pdf)
- Mavrikios, D. , Papakostas, N. , Mourtzis D. (2011) *On industrial learning and training for the factories of the future: a conceptual, cognitive and technology framework*. Springer Science+Business Media.
- Mecalux. (s.f.) Catálogo de producto: Rack Selectivo. Tijuana, México:Autor.
- Metcalf, J.S. (1998). *Evolutionary economics and creative destruction*. London: Routledge.
- Meyers, F.R. & Stephens, M.P. (2005). Material handling equipment. En *Manufacturing Facilities and Material Handling*. (pp. 375 – 385). New Jersey, United States: Pearson Prentice Hall.
- Michel, G. (1989) *Aprender a Aprender*. México: Trillas
- Míreles R. (2007) *Implementación del despliegue de la función de calidad (QFD)*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Recuperado el 28 de Enero del 2013. De: <http://avdiaz.files.wordpress.com/2012/06/implementacion.pdf>
- Moreira, M. (s.f) *Aprendizaje Significativo: Un Concepto Subyacente*. Recuperado de [http://www.arnaldomartinez.net/docencia\\_universitaria/ausubel03.pdf](http://www.arnaldomartinez.net/docencia_universitaria/ausubel03.pdf)
- Okuma. (s.f.) Catálogo de producto: AMPS. Charlotte, NC: Autor.
- Pacific Bearing Company. PBC Linear. (2014) Catálogo de producto: Integral V Technology. Roscoe, EUA: Autor.

- Pfeifer, M. (2009). *Materials Enabled Designs: the materials engineering perspective to product design and manufacturing*. United States: Elsevier
- Prada, M. S. (2011). *Estudio comparativo de las respuestas del usuario provenientes de la evaluación perceptiva unimodal y multimodal. Integración del análisis sensorial en el proceso de diseño de productos*. (Disertación de Doctorado.) Universidad Politécnica de Valencia; España.
- Quality Function Deployment Institute. QFDI. (2014) <http://www.qfdi.org/>
- Rashid M., Kasemi B., Rahman M. (2011) New Automated Storage and Retrieval System (AS/RS) using wireless communications. International Islamic University Malaysia, Malaysia, Department of Mechatronics Engineering.
- “RFID Tags & Readers” (2012) (*Texas Instruments*). Recuperado el: 23 de Enero 2013 de, <http://www.ti.com/rfid/faqs.shtml#Gone>
- Roselló, J. (23 de Agosto del 2013). Comunicación personal.
- Rockwell Automation, Inc. (2011). *Safebook 4: Sistemas de seguridad para maquinaria industrial*. Milwaukee, USA.
- Roodbergen, K.J., & Vis, I.F.A. (2009) A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *Science Direct*. European Journal of Operational Research. doi:10.1016/j.ejor.2008.01.038
- Scott, S. (s.f) What is a Blue-Collar Worker and a White Collar Worker. *Chron*. recuperado el 24 de Enero de <http://smallbusiness.chron.com/bluecollar-worker-whitecollar-worker-11074.html>
- SIEMENS.A.G. (2002). Simoreg DC master 6RM70 digital converter cabinet units. *Catalog D.A. 22-2002*. Alemania: Autor

- Sule, D.R. & Toledo, M.A. (2001). *Instalaciones de manufactura: ubicación, planeación y diseño*. (2da. Ed) México: Thompson Editores.
- System (AS/RS) using wireless communications. International Islamic University Malaysia, Malaysia, Department of Mechatronics Engineering.
- Tooling University (2013) *Class Vocabulary*. Recuperado de: <http://www.toolingu.com/definition-300130-12614-pallet.html>
- Ulrich, K. T. & Eppinger, S.D. (2004). *Diseño y desarrollo de producto: enfoque multidisciplinario*. (3<sup>a</sup> ed) México: Mc. Graw Hill.
- Universidad Tecnológica de la Mixteca. (s.f.) *Investigadores*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2013 de: <http://www.utm.mx/investigadores.html>
- Weinberg, G.M. (2011). *An introduction to general systems thinking*. Weinberg & Weinberg.
- Whitnery, D. E. (2004). *Mechanical Assemblies: their design, manufacture and role in product development*. New York: Oxford University press.
- Zollinger, H. (2001) *Application, benefits and justification in comparison to the storage methods: a White paper*. Automated Storage Retrieval Systems Production Section of the Material Handling Industry of America. Recuperado de <http://www.mhi.org/downloads/industrygroups/as-rs/technicalpapers/AS/RSwhitepaper2.pdf>
- Zupan, M., Asby, M.F. & Fleck, N. A. (2002). Actuator Classification and selection - The development of a database. *Advanced Engineering Materials*, 4(12), pg. 933-93.

## Capítulo 8. Anexos

### 8.1 Anexo 1: Entrevista a Mecalux

Empresa: **MECALUX**

Fecha: 23 de Agosto, 2013

Distribuidor: Logística de almacenes rosello, S.A, de C.V.

Giro: distribuidor autorizado de MECALUX

Gerente General: Jacinto Roselló de la Peña.

Ha trabajado los últimos 13 años para la empresa Mecalux haciendo también los diseños que ha vendido. Ha vivido en Tijuana, Chicago, Sao Paulo, Buenos Aires(Argenitna) y Alemania representando a esta empresa.

¿Cuenta con un sistema de almacenamiento AS/RS? SÍ

¿Me puede describir cómo funciona el modelo?

Tienen varios modelos, de los cuales, me ha proporcionado varios catálogos con información de su funcionamiento.

¿Qué tipo de materiales puede almacenar sus sistemas?

Tenemos para casi todos los materiales posibles. En México, existen varios, para cerveza, latas, bienes diversos, carrocerías. En piedras negras, (Coahuila) existe un almacén de 40 m que hizo la empresa MECALUX de la empresa Modelo, para cervezas. En Ecatepec (Edo. México) la costera tiene uno de 28 m de altura, para latas. En Huehuetoca (Edo. México) Liverpool cuenta con uno de 37 m de altura (con 10m subterráneo) que puede almacenar hasta salas enteras. Volks Wagen en Puebla cuenta con uno para carrocerías, (este lo realizó una empresa alemana que no tiene sucursal en México llamada, Shcaefer). DHL cuenta con uno de nuestros dispositivos llamado el radioshuttle.

¿El(los) sistemas de almacenamiento AS/RS son de una configuración fija o variable (se le pueden hacer cambios en su configuración)?

Se hacen cambios según la necesidad del cliente. No hay ningún almacén igual a otro, aunque sea del mismo tipo, los materiales con los que se realiza y los cálculos son diferentes para uno como para el otro. Difieren también según el terreno y las necesidades de almacén que tenga la empresa.

Si es fija, ¿qué características tiene? No es fija

¿si es variable, qué configuraciones pueden hacer? (según catálogos)

¿Cuál es el modelo o configuración más vendido?

El más vendido es el rack selectivo.

¿Como cuánto cuesta este modelo?

1 tarima de 40" x 48" de 1500 mm de altura para soportar 1000 kg cuesta aproximadamente \$800 pesos MXN por tarima.

Definiendo eficiencia como la óptima utilización de los recursos disponibles para la obtención de resultados deseados, ¿Qué tan eficiente es la máquina?

Es de suponer que son sistemas eficientes pues estudian el caso de casa empresa y las modifican según las necesidades. Todas los almacenes que han realizado tienen garantía de 5 años y ninguno han tenido reclamos o tampoco han tenido que ir a arreglarlos.

¿Venden accesorios complementarios del sistema para mejorarlos? AGVS, los palets, motores, grúas, piezas repuesto

Sólo racks y transelevadores. Sin embargo venden el diseño completo, pues tienen otras empresas que les proporcionan los palets, grúas, etc.

¿Generalmente qué características tiene su cliente?

Generalmente han llegado clientes de la industria automotriz, aparte de los ya mencionados, Liverpool, la costeña, VW, modelo. Son empresas grandes, generalmente multinacionales, como Proctel and Gambel Co.(P&G), Colgate, por mencionar a algunos. Tienen la mano de obra necesaria para manejar el sistema.

¿Cómo apoyan a sus clientes?<sup>41</sup>

Dando soluciones efectivas a precios atractivos y siempre garantizan el producto a 5 años. No capacitan a sus capital humano.

¿En cuanto al AS/RS que capacidades/aptitudes considera que necesita su capital humano?

Cuando busco a un ingeniero, busco que sea recién salido de la universidad y que no sepa nada. Así le podemos dar un curso intensivo para que aprenda lo necesario.

¿Tienen problemas para hallar ingenieros capaces de trabajar para ustedes?

Si

Sus ingenieros llegan capacitados o les tienen que dar un curso?

Dan un curso de capacitación intensivo, pero vale la pena pues al final son totalmente confiables. Les enseñan desde cómo tratar al cliente, cómo usar el programa (AutoCAD), a hacer los cálculos estructurales, etc.

Otra recomendación que me dio: Cuando hay que diseñar un sistema de almacén, se tiene que realizar las siguientes tres preguntas primordiales:

¿qué almacenar?, ¿dónde almacenar?¿Con qué almacenarlo?

También recomienda; cuando se está trabajando con el cliente, nunca hay que creer. Si hay datos que nos tienen que ofrecer, mejor vamos a revisarlo personalmente, porque generalmente lo toman mal y no dicen las cosas completas. Así que mejor verificamos con personal nuestro.

Dice que también siempre hay que buscar la mejor solución para el cliente, y ante todo, honestidad, aunque no vendamos nuestros productos. Es una política que siempre ha funcionado para la empresa.

## 8.2 Anexo 2: Entrevista a Stockin

Empresa: **STOCKLIN**

Fecha: 03 de Septiembre, 2013

Giro: soluciones de logística (especialmente transelevadores y software de control de almacenes)

---

<sup>41</sup> Los apoyan capacitando a sus empleados (el de cliente) o si mandan a un ingeniero que los pueda ayudar con averías, o si tienen un foro para dudas que los ayude con dudas..etc.

Entrevista e información obtenida de:

Director de Operaciones: Sergio Hernández

Ingeniería y servicios: Marco Hernández

¿Cuenta con un sistema de almacenamiento AS/RS? SÍ

¿Me puede describir cómo funciona el modelo?

En realidad lo que vendemos son equipos de transporte para cajas y tarimas, dispositivos de elevación (carretillas de interior y transelevadores) transportadores, grúas y el software de manejo de almacén.

Lo que hace la empresa es analizar la situación logística actual de su cliente, y propone una solución integral dependiendo de sus necesidades. Pueden “modernizar” un viejo almacén, automatizando únicamente las partes necesarias.

No hacemos el sistema completo de AS/RS

¿Qué tipo de materiales puede almacenar sus sistemas?

Puede almacenar de todo tipos, en Italia existe un AS/RS integrado con una sala de exposición que almacena salas completas. En volumen es el más grande. Almacena 10,000 salas de la empresa *manifattura italiana divani*.

También puede almacenar botellas de vidrio, como la elaborada en el Reino Unido para la empresa *Quinn Glass*. Es la más grande del Reino Unido y tiene capacidad de manejar 280,000 palets.

También se han realizado sistemas para empresas de elaboración de relojes, como por ejemplo la de Tissot. Es un almacén muy pequeño tipo miniload. A pesar de ser muy pequeño, es altamente rentable debido al costo y valor de los productos almacenados.

Se han realizado almacenes también para la empresa refresqueras, como CocaCola. O para proveedores de productos diversos, como la realizada para la empresa Jan Linders (es como SAMS club en Europa)

Se usa también para almacenar productos químicos, productos farmacéuticos, y productos ortopédicos.

¿El(los) sistemas de almacenamiento AS/RS son de una configuración fija o variable (se le pueden hacer cambios en su configuración)?

Los sistemas que vendemos se pueden aplicar de distintos modos, dependiendo de lo que requiera nuestro cliente.

Si es fija, ¿qué características tiene? No es fija

¿Si es variable, qué configuraciones pueden hacer? (según catálogos)

Se aplica equipo de grúas transelevadoras de tarimas o de cajas de hasta 45 m de alto y el sistema se puede adaptar al manejo de cajas o de tarimas. Se pueden añadir puestos de selección (picking) manuales de tipo pick by light o pick by voice.

¿Cuál es el modelo o configuración más vendido?

Todos los sistemas son adaptativos, sin embargo, la grúa transelevadora mas vendida al inicio era el modelo RBG-K, cuya capacidad de manejo de tarimas es de menor de 40 tarimas

¿Como cuánto cuesta este modelo?

Generalmente son rentables estos sistemas a partir de una capacidad para 3,000 tarimas (lo que equivale en espacio alrededor de 1200-1300 m<sup>2</sup> en superficie de uso). Un sistema estándar cuesta alrededor de 1 millón de USD, cuando se incluye la estantería autoportante y la obra civil (la losa de cimentación es muy importante) nuestros clientes terminan invirtiendo aproximadamente 2 millones USD.

Como se debe analizar la rentabilidad del proyecto, se calcula el TIR (tasa interna de retorno). Cuando se obtiene un retorno de la inversión por debajo de los 4 o 5 años, entonces quiere decir que el proyecto es rentable.

Definiendo eficiencia como la óptima utilización de los recursos disponibles para la obtención de resultados deseados, ¿Qué tan eficiente es la maquina?

Son altamente eficientes nuestros sistemas porque están hechas a la medida de los requerimientos de nuestros clientes. Vemos cuales son los procesos que valen la pena automatizar y proponemos un concepto de logística adecuada para cada cliente. Si no es necesario automatizar, entonces sugerimos que no se realice.

¿Venden accesorios complementarios del sistema para mejorarlos?

Vendemos también lo que son montacargas y de operación manual (montacargas de 6 m) transportadores estándares de caja o de tarimas, dispensadores de tarimas, carro transportadores de tarima, transportadores de banda dentada.

¿Generalmente qué características tiene su cliente?

Son empresas grandes, son las conocidas como empresas triple A. Con un gran manejo de unidades a almacenar y generalmente con gran flujo. En México, hemos hecho muchas empresas para empresas farmacéuticas reconocidas, como lo son Aventis, Bayer, Roche.

Para la industria química, firmenich (compañía multinacional suiza especializada en el desarrollo y fabricación de perfumes y sabores para el sector de la alimentación.)

También elaboramos el almacén para *La Costeña, LEGO*.

El almacén elaborado para la costeña tiene 4 o 5 grúas y cuenta con áreas de picking.

El almacén de LEGO está hecho para guardar 630,000 contenedores.

En la industria automotriz, hemos trabajado para la compañía LuK empresa que produce piezas de intercambio de automoción.

¿Cómo apoyan a sus clientes?<sup>42</sup>

Se les da un servicio post venta. Esto cuenta con mantenimiento estándar de 2 a 3 veces por año, dependiendo de las horas de trabajo del sistema. Unos sistemas las trabajan durante dos turnos de trabajo, otras que hasta tres.

También se les proporciona capacitación a su personal de trabajo quien se encargará de la operación del sistema. Tenemos también ayuda de preguntas y asistencia técnica 24/7, dependiendo de lo acordado en el contrato.

¿En cuanto al AS/RS que capacidades/aptitudes considera que necesita su capital humano?

Deben tener conocimientos sobre logística mecánica y electrónica. Que tengan conocimiento mecánico, eléctrico, de PLC.

¿Tienen problemas para hallar ingenieros capaces de trabajar para ustedes?

NO,

Sus ingenieros llegan capacitados o les tienen que dar un curso?

---

<sup>42</sup> Los apoyan capacitando a sus empleados (el de cliente) o si mandan a un ingeniero que los pueda ayudar con averías, o si tienen un foro para dudas que los ayude con dudas..etc.

Si damos un curso de capacitación a nuestros nuevos ingenieros. La capacitación de nuestro personal es en Suiza, donde está la sede principal.

*Otros:*

*También se me proporcionó el cuestionario para el desarrollo de conceptos intralogísticos que aplican a sus clientes para conocer sus requerimientos para el sistema. Este cuestionario recoge información sobre las unidades de transporte y almacenaje que utilizan. Generalmente los clientes manejan el EUROPALET o Chep. Esto es importante, porque el Chep sale más caro, dado que tiene como otra "tapa" que aumenta la altura.*

*También pregunta cuántas de cada tarima utilizan y cual es el porcentaje que representa en el almacén.*

*Preguntan sobre las características del producto, pesos máximos, mínimos y promedio, si usan o no cajas de cartón o contenedores. Que capacidades de tarimas de cajas y contenedores necesitas, los flujos de entrada y salida, cuantos números de artículos que manejan (SKU`s) de producto manejan, preguntan por las funcionalidades u operaciones que realizan, cuantos artículos requieren picking, que turnos de trabajo manejan, la estructura representativa de los pedidos de producción, cuantas rutas por día y órdenes hacen para embarques, cuantos pedidos, y finalmente con que sistema ERP cuentan.*

*Nota:*

*Es muy importante el tipo de tarimas y cajas que usan, la calidad y las condiciones de estas. Si una tarima está en mala condición, presenta clavos salidos y pandeos, entonces se corre el riesgo de un accidente en planta, pérdida de unidades y tiempo de paro de trabajo en la planta.*

*Se necesitan 2 o 3 operarios para manejar el sistema, sin contar las zonas de picking.*

*La losa de cimentación también es muy importante porque es la estructura que soportará el sistema y las unidades almacenadas. Es importante también cuidar la superficie de la misma. Tiene que quedar perfectamente plana y lisa. Deben manejar un error de  $\pm 3\text{mm}$  (o era  $.3\text{mm}$  ??)*

**SOFTWARE DE STOKLIN:**

*Ellos desarrollan su propio software hecho a la medida de los requerimientos del cliente. Lo diseñan desde suiza. Sus software puede ser de tipo WCS o WMS. (warehouse control system ó warehouse management system) y siempre toman en cuenta el HMI. Su software generalmente tiene empatía con el manejo integral de la planta de desarrollo. Utilizan SIEMENS.*

*Metodología:*

*También aclararon la metodología que lleva la empresa para trabajar:*

*El diseño conceptual: los ingenieros en México se encargan de esta parte. Obtienen los requerimientos del sistema, hacen el contacto con el cliente, y desarrollan y planifican un primer esbozo de lo que podría manejar el sistema. Cuantas cajas o tarimas al día, si tiene o no estaciones de picking, que número de tarimas o cajas deberá manejar, cuáles son los procesos a automatizar, determinan flujos, puntos de entrada y salida, etc. Esta parte es gratuita.*

*Ingeniería Básica: Si al cliente le agrada la posible propuesta, entonces se desarrolla un concepto mas específico. Específicamente donde está la entrada y salida de artículos, de personas, la zona de embarque. Diagramas de flujo cercanas a la propuesta final, el numero de grúas a usar, numero y tipo de transportadores de caja o de tarima, el tipo de grúa, altura de almacén, espacio previsto para desarrollo futuro, recorridos, si tiene*

plataformas de elevación, plataformas giratorias, etc. En esta fase si se proporciona un pago por el servicio. Generalmente cuando se realiza esta parte el cliente decide por si llevar a cabo el proyecto, sin embargo no es forzoso. Aquí vienen los diseñadores de Suiza a evaluar el proyecto.

*Ingeniería a detalle: se lleva a cabo cuando ya está contratado el proyecto. El contrato depende del cliente, pueden contratar también otras empresas para realizar por ejemplo los estantes y la obra civil, aunque Stoklin ya tiene una carpeta de colaboradores con los que han trabajado. En esta etapa se realiza todo el plano a detalle y la obra se construye en un lapso de 6 meses y 1 año.*

### **8.3 Anexo 3 Entrevista a Okuma**

Empresa: **OKUMA**

Distribuidor en México: HEMAQ

Giro: proveedor de soluciones integrales en máquinas herramienta CNC

Entrevista e información obtenida de:

Director de Ventas: Ing. Alfredo Cruz

¿Cuenta con un sistema de almacenamiento AS/RS? No

OKUMA Cuenta con un AMPS. (Automated Modular Pallet System) Que lo que hace es cargar máquinas CNC con la siguiente pieza para fabricar.

*Nota: a pesar de que su sistema de almacenamiento no es un sistema AS/RS como tal, he decidido entrevistar a la empresa ya que mi solución dará un servicio parecido.*

¿Me puede describir cómo funciona el modelo?

Generalmente el proceso de montar la pieza sobre la máquina fresadora o torno podría tardar hasta 8 horas. Con esta máquina se aprovecha el tiempo perdido del husillo. El concepto general es que se almacenan ahí piezas que están esperando todavía algún proceso de maquinado (artículos WIP) y la máquina dispone de estas piezas automáticamente y las monta sobre el CNC. Se monta la pieza sobre el punto de entrada/salida, y se programa el AMPS para almacenar el objeto en lo que espera el proceso de maquinado. Cuando la pieza que está en la máquina CNC termina su proceso, entonces el AMPS automáticamente saca la pieza del CNC, la almacena y monta la siguiente parte en el CNC.

*Nota: En el documento Palletace-C proporcionado, explican su flujo de trabajo:*

*Un artículo es colocado en un palet vacío, el palet se vuelve “cargado”*

El usuario manda el palet a la ruta usando los botones del MMS GUI<sup>43</sup>. La grúa apiladora (equivalente a un transelevador) recoge el palet. Entonces el sistema se encarga de realizar las tareas del ciclo automático definida en la ruta.

Cuando la máquina herramienta (el CNC) a usar se vuelve disponible, el palet es transportado a la máquina herramienta.

El palet al que ya se le hizo un proceso de maquinado sale de la maquina herramienta y la grúa apiladora la transfiere al siguiente paso de la ruta.

Cuando se termina la ruta, los artículos terminados son descargados del palet en una estación de carga.

¿Qué tipo de materiales puede almacenar sus sistemas?

Se puede almacenar cualquier material destinado a un proceso de arranque de viruta. Generalmente son materiales de aluminio, acero, plástico, madera.

¿El(los) sistemas de almacenamiento AS/RS son de una configuración fija o variable (se le pueden hacer cambios en su configuración)?

Configuración variable.

Si es fija, ¿qué características tiene? No es fija

¿Si es variable, qué configuraciones pueden hacer?

Se le puede agregar espacios de almacenamiento, máquinas transelevadoras y puntos de entrada y salida:

	AMPS-C (modelo 750, 1000, 1500, 3000)	AMP-M (modelo 750, 1000, 1500)
Espacio de almacenamiento	De 20 a 24 espacios	De 100 a 3900 espacios
Transelevadores	hasta 2	hasta 10
Puntos de entrada y/o	Hasta 2	Hasta 4

---

<sup>43</sup> GUI es la interfaz, y el MMS es el paquete de software.

salida		
--------	--	--

¿Cuál es el modelo o configuración más vendido?

AMPS-C

¿Como cuánto cuesta este modelo?

Una máquina CNC con el sistema de almacenamiento integrado, de tipo AMPS-C cuesta alrededor de \$ 500,000.

Definiendo eficiencia como la óptima utilización de los recursos disponibles para la obtención de resultados deseados, ¿Qué tan eficiente es la máquina?

Es altamente confiable y eficiente. Eso es porque aprovecha al máximo el tiempo y pueden maquinarse más piezas. Optimiza el proceso de maquinado.

¿Venden accesorios complementarios del sistema para mejorarlos?

Si. Vendemos sistemas integrales, así que también vendemos lo que son sistemas de sujeción, herramientas para las máquinas. Se entrega el sistema funcionando completamente.

Se puede hacer el palet a la medida del cliente. El AMPS viene con unos palets de la empresa OKUMA, pero si los necesitan personalizados, también se les puede fabricar.

¿Generalmente qué características tiene su cliente?

Son grandes, de nivel internacional. Pero nuestros clientes no pertenecen a la industria automotriz, más bien son de industria aeronáutica y petrolera.

Sus productos generalmente son de bajos volúmenes de producción, pero gran variedad.

¿Cómo apoyan a sus clientes?<sup>44</sup>

Tenemos un servicio único de presencia de servicio en menos de 24 hrs a cualquier lugar de la república, garantizado las 24 horas del día 7 días a la semana. Garantizamos que le apoye un ingeniero en la planta.

---

<sup>44</sup> Los apoyan capacitando a sus empleados (el de cliente) o si mandan a un ingeniero que los pueda ayudar con averías, o si tienen un foro para dudas que los ayude con dudas..etc.

Ofrecemos capacitación al personal de nuestros clientes. Depende si el cliente lo contrata o no. Muchas veces es cliente ya está familiarizado con nuestros productos, y piden únicamente la instalación.

¿En cuanto al AS/RS que capacidades/aptitudes considera que necesita su capital humano?

Les requerimos estudios técnicos. Que conozcan las máquinas, el funcionamiento de una planta. Programación para las máquinas CNC: códigos G y códigos M.

¿Tienen problemas para hallar ingenieros capaces de trabajar para ustedes?

Si. Se busca que tengan un conocimiento avanzado en software.

Que sepan usar máquinas de 4 y 5 ejes.

Sus ingenieros llegan capacitados o les tienen que dar un curso?

Deben llegar con conocimientos, pero también les damos un curso de capacitación, donde se envían a capacitar a EUA o a los lugares donde tienen sede las empresas de los productos que manejamos.

*Otros:*

*Durante la entrevista, se me fueron proporcionados documentos y fotografías de ambos modelos de almacenamiento de OKUMA que manejan. El AMPS-C y AMPS-M.*

## 8.4 Anexo 4 Entrevista a Bafar

Empresa: **BAFAR**

Quien organizó y permitió mi entrada a Bafar: Darling César Patrón Reyes

Puesto: Seguridad patrimonial

Nombre: Guillermo Bourjac

Fecha: 10 de Octubre 2013

Puesto: Jefe de Almacén

Género: Masculino

- Que tipo de almacén tienen?  
Es un almacén de unidad de carga, de anaqueles de doble profundidad, de tipo estático. Tiene 11 niveles de alto y 85 espacios de largo en cada pasillo. Transelevador sencillo, cautivo en pasillo, con una entrada y una salida de bienes, y con un área de picking. Se maneja en entorno SAP y con WMS. Usan tarimas tipo CHEP para entrega de pedidos, pero tienen unas tarima especiales para dentro del almacén (tarima sobre tarima). Soportan hasta 1250 kg por tarima.
- ¿Me puede describir cómo funciona el modelo?  
El almacén trabaja en entorno SAP<sup>45</sup>. Se recibe el producto, se hace el escaneo en SAP. SAP te genera un stock en almacén 9, que es un almacén de producción, y nosotros generamos una recepción, te genera una etiqueta máster, genera una orden de transporte, la etiqueta máster tiene un HU (hand in unit). Ésta hand in unit tiene un embalaje. El embalaje es el contenido de cada caja dentro de esa etiqueta máster. La etiqueta máster contiene:

---

<sup>45</sup> SAP es la mayor desarrolladora de software para aplicaciones de negocios del mundo y el cuarto mayor proveedor independiente de software, en términos absolutos. El objetivo de la empresa era desarrollar aplicaciones de software estándar para procesamiento de negocios en tiempo-real. Más de 7.500 empresas (más de 15 000 instalaciones), en más de 90 países escogieron los sistemas SAP para mainframe y cliente/servidor para controlar procesos de finanzas, manufactura, ventas, distribución y recursos humanos, esenciales para sus operaciones. Se utiliza en distintos procesos como contabilidad financiera, cadena de suministro, control, gestión de materiales, logística y ejecución, ventas y distribución, control de calidad, recursos humanos, proyecto de sistema, mantenimiento de planta, planificación de producción.

codigo de barra  
material  
descripción  
totalizado en KG (si pieza según unidad de medida del material)???  
contenido de peso de cada caja  
fecha HU- fecha el cual fué escaneada  
AN

El producto se escanea por segunda vez. Pasa a validación. Todas las tarimas que entran al centro de distribución tiene que pasar una serie de validaciones como peso, dimensión, tarima para verificar que no se vaya a colapsar la tarima dentro de la grúa. cada tarima debe pesar máximo 1250 Kg. En las grúas de congelados, debe medir máximo 2 m. en las grúas de embutidos y lácteos debe medir máximo 2.1 m. Se le da más holgura a lácteos porque el producto es menos pesado, y porque son rejas(cajas). 49 rejas por palet.

En la primera parte del almacén se almacena producto de planta, embutidos y terminados, se produce, sale de banda, se hecha en rejas, se pone una etiqueta a cada reja, pasa a palet completo. Cuando ya está el palet completo se notifica, se genera su stock en SAP y luego se recepciona. La recepción genera una orden de transporte, un embalaje, un HU en SAP tambien. Al generarse la orden de transporte es como generar la reserva en la grúa. Sin esa orden de transporte, la tarima simplemente no se puede almacenar aqui. Es como el click de interfaz entre SAP y ANT<sup>46</sup>.

Entonces cuando la tarima tiene todo eso, se pone en un conveyor, y la tarima se va solita. Todas las tarimas aqui se manejan por cadenas y rodillos. La única operación manual es la que hace el montacargas para poner todas las tarimas sobre la tarima naranja , que es una tarima de especificación para su almacenamiento. Esa tarima es más resistente en su base. Y es una tarima tipo CHEP.

La ubicación es lógica. La grúa tiene su material, un SKU, la ubicación.

Cada ubicación te soporta 2500 Kg. Y es el mismo valor en todo el estante.

En la zona de picking, que se hace manual, se mantiene una temperatura entre 4°C y 8°C. Se planea bajarlo mas, de 0 a -2°C. Las órdenes se revisan utilizando un

---

Capítulo 1. <sup>46</sup> Apache Ant es una biblioteca y herramienta de línea-de-comando de Java cuya misión es manejar los procesos descritos en archivos de construcción y tiene como objetivo puntos de extensión dependientes uno sobre otros. Es uso más común de Ant es el de crear aplicaciones en Java aunque también puede hacer aplicaciones en C o C++. Generalmente Ant es usado como pilotear cualquier proceso descrito en términos de objetivos y tareas.

jangel (son como pantallas que llevan e la muñeca controlados por el sistema ANT) y van armado asi lo palets de pedidos.

Despues del picking, la tarima pasa a la linea de embarque utilizando la banda principal.

El proceso de recepción es ese. Su punto final es una ubicación, se almacena y despues tiene dos modos de salida. La salida por palet completo, que es una salida de ubicación de un ARL que es una rampa de salida. Ò de su ubicación a un àrea de MO. El àrea de MO es donde llega la tarima y se desarma para generar varias tarimas de estiba. Entonces, en Mo, sale la tarima, la agarra un montacargas y la pone en el piso y llega un patin eléctrico y le dice, de esta tarima, de este material, vas a surtir tantas rejias aquí tantas tejas acá y te quedan tantas rejias en el palet de origen que se regresa a una ubicación de guardado. Cuando terminas un palet destino, el palet destino se va a una ubicación de staging 3, que es una ubicación de guardado mientras se embarga el producto. Ese es el picking de lácteos y embutidos.

El picking de congelados se hace manual.

- Qué tipo de bienes almacenan?

Almacenan alimentos congelados, lácteos, embutidos, carnes frías.

Tienen dos secciones. Una está a  $-4^{\circ}\text{C}$  a  $-2^{\circ}\text{C}$  y la otra esta de 0 a  $-2^{\circ}\text{C}$ . Se estiba el producto sobre una tarima natural estándar, de 1.20 m x 1.00m.

- Han tenido que cambiar la configuración de su sistema? (tipo de carga (unitload, multiloader) , tipo de transelevador, tipo de estante (sencillo, doble profundidad) etc.

No. Las características físicas no. Lo que modificamos es programación básicamente. Pero van a agregar un nuevo pasillo con su transelevador en año que viene.

- Definiendo eficiencia como la óptima utilización de los recursos disponibles para la obtención de resultados deseados, ¿Qué tan eficiente es la máquina?

Es altamente eficiente. También porque siempre están buscando adaptarlo a sus necesidades.

Mantenimiento: Se da mantenimiento preventivo los domingos. La frecuencia de los mantenimientos depende de la temporada de trabajo (alta o baja).

- Ha tenido que mejorar la efectividad de su sistema?

Se hacen cambios en la programación, en la velocidad de la grúa, ubicación de unidades. Los cambios que se hacen es conforme el sistema y la compañía lo requiere. Ahora tenemos 152 proveedores de productos bafar en toda la república, ahora cuando eso se incrementa, se genera mas tiendas para picking, mas tiempo de operación. Cuando la operación crece es cuando le tenemos que poner más velocidad a la grúa, o cambiar de ubicación a los productos. Ahorita lo que estamos haciendo es mover de ubicación los productos lácteos. Hace dos años se habían movido a un extremo cerca de la zona de entrada del producto y ahora hace un mes lo tenemos que llevar hasta el fondo porq se movio la salida a picking a ese extremo. Como se movio la zona de picking de lacteos al fondo, el tiempo de recorrido se duplica. (ahora con el cambio) El surtido a picking es más rápido.

- En qué institución aprendió a manejar el sistema de almacenamiento automático?

Lo ha aprendido en el trabajo. Estudió mercadotecnia, y el trabajo fué arrastrándolo a su puesto de hoy.

- Cuántas horas tardó en aprender a manejar el sistema?  
Dos semanas. Depende mucho de la habilidad de la persona. Un ingeniero tendría mas facilidad de aprender este tipo de cosas.
- Que método de aprendizaje que utilizaron?  
Aprendió en práctica. y utilizan simulaciones de entorno de calidad.  
Cuando se está trabajando en entorno de calidad, se busca encontrar las condiciones en las cuales el sistema quiebra.
- (si trabajó con un modelo a escala) En una escala del 0 al 5, cómo calificaría la importancia que tuvo el aprender utilizando el modelo? (siendo 0 nada importante y 5 indispensable)  
No trabajó con modelos a escala. Sin embargo piensa que la mejor forma de aprender es visitando a las empresas e involucrandose con verdadero AS/RS. Es que las condiciones de cada almacén cambia. Es mucho de tener que visualizar los flujos, las órdenes de pedidos, los shipping, los tiempos, etc. Para aprender a manejar el sistema, no hay nada mejor que estar en el y aprender así. Que un modelo a escala, no es lo mismo precisamente por los volúmenes manejados.
- ¿Qué observaciones podría hacer en cuanto al método de aprendizaje que llevó para aprender a utilizar el sistema?  
Que no hay nada mejor que aprender en la planta. Siempre se tiene que buscar mejorar la producción y ser altamente flexible a los cambios.
- Cree necesario el uso de modelos a escala para aprender a manejarlos?  
Tal vez para ingenieros si.

La formación del operador se dio mediante la práctica *in-situ*. Afirma que ésta y visitas a empresas es la mejor manera de adquirir los conocimientos para operar un almacén AS/RS. Sostiene que un modelo a escala no funcionaría adecuadamente para aprender lo necesario para manejar el sistema. A pesar de esta opinión, un modelo a escala puede funcionar para introducir los conceptos básicos de automatización, de manejo de materiales, y de sistemas de manufactura flexible.

## 8.5 Anexo 5: Entrevista al M.C. Milton Carlos Elías Espinoza

NOMBRE: Milton Carlos Elías Espinoza      EDAD: 36  
CORREO: mielias@itesm.mx

0. ¿A qué carrera(s) y qué clase(s) imparte utilizando la máquina de almacenamiento automático AS/RS?  
Ingeniería mecatrónica – con la clase de automatización de sistemas de manufactura  
Ingeniería industrial - con la clase de sistemas integrados de manufactura  
Ambas son prácticamente la misma clase sólo que con nombres distintos y los ingenieros industriales se dedican mas a la programación
1. ¿Aproximadamente cuántas horas de clase da?¿Cuántas de estas horas las imparte con apoyo de la máquina de almacenamiento automático AS/RS?  
8 horas al semestre
2. ¿Qué temas abarcan utilizado la máquina de almacenamiento automático AS/RS?  
Almacenamiento, integración con robots y bandas transportadoras
3. ¿Son suficientes las horas impartidas para alcanzar los objetivos de la clase?  
Si
4. ¿Los alumnos realizan prácticas en la máquina?¿De qué forma se apoya con la máquina AS/RS?  
Generalmente siguen una dinámica de clase de demostración-programar y actividad. En la parte de demostración es necesario hacer varios equipos para entrar al taller ya que es demasiado pequeño y para asegurar que todos vean la clase. Se hace una actividad de uso del sistema en sí y una de integración al resto del proceso de manufactura. Los equipos que se manejan para que realicen la actividad es de 3 personas
5. ¿Qué limitaciones cree que tiene la clase?  
El lugar es muy pequeño y se debe hacer con la supervisión del encargado del taller o el maestro.
6. ¿Sabe si esta institución permite realizar investigación utilizando la máquina?¿Cuántos lo hacen/están haciendo?  
NO
7. ¿Cree que sea importante reconfigurar el laboratorio y desplazar la máquina?  
Si creo que es importante desplazar las máquinas, pero en el taller están fijas las máquinas.
8. ¿Qué le cambiaría a la máquina para mejorarla?  
Que la programación sea mas amigable para los alumnos, ya que en la vida real y en las industrias, ya no es tan complicado. Lo dejaría únicamente con una configuración.

Nota:

El maestro además añadió que opinaba que la HMI de la máquina que se encontraba en la universidad era muy mala. El maestro da clases tanto en ITESM-CSF como ITESM-CCM (Campus Ciudad de México). Colaboró que los sistemas de almacenamiento mas

completos de ITESM se encuentran en ITESM-CCM y ITESM-CEM (Campus Estado de México).

Por lo que pude escuchar de otras opiniones, es que el maestro si conoce su tema y es un experto en el área. Tiene buena disponibilidad para ayudar a los alumnos

Reporte de visita:

Se hizo una visita al Tecnológico de Monterrey CSF el 8 de Marzo de 2013.

Se hizo una documentación fotográfica del sistema de almacenamiento que se encontraba en el campus. Y se apoyó con una entrevista al maestro Milton C. Elias.

Modelo: el modelo que se encontraba en la ITESM-CSF era un modelo pequeño de sistema AS/RS.

Configuración:

tamaño aproximado: 90 cm x 30 cm x 40 cm (aprox)

estética (formas):

(se ve en las fotos) colores rojos y negros.

Material predominante: plástico y las columnas largos estructurales de aluminio

Formas rectas horizontales y verticales predominantes

La máquina tiene estantes 50 anaqueles estáticos(10 columnas y 5 hileras) Con un espacio máximo aproximado de 6\*6.5\*6 cm cada uno.

Cuenta con un punto de entrada y uno de salida, asignable. (no es fijo, el alumno lo asigna).

Cuenta con una pequeña grúa que actúa como la máquina S/R. Se mueve sobre un riel de aluminio y se mueve por la acción de una cadena con un motor pequeño ubicado en la parte inferior de la pequeña grúa. Los “brazos” de la grúa se mueven en eje XY y la grúa en si se mueve XZ.

Configuración de sistema AS/RS Didáctico:

Trabaja únicamente como un sistema AS/RS de tipo unidad de carga con línea simple, con un transportador sencillo, y cuenta con un punto de entrada y uno de salida.

HMI:

Para poder manejarlo, usa un D-SUB Conector de la marca CONEC

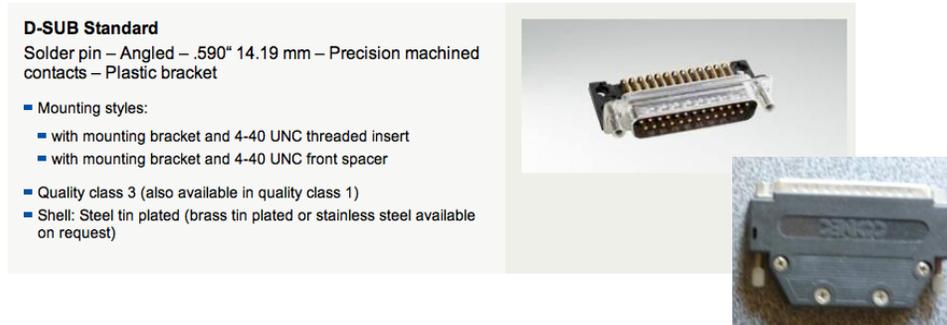
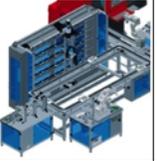
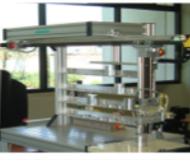


Imagen obtenida de CONEC Technology in connectors de [http://www.conec.com/catalogs/c1/ioconnector/ip67-filter-d-sub-connectors/ip67-c-filter-d-sub-standard.html?\\_\\_SID=U](http://www.conec.com/catalogs/c1/ioconnector/ip67-filter-d-sub-connectors/ip67-c-filter-d-sub-standard.html?__SID=U)

## 8.6 Anexo 6: Tabla de características de productos competencia

imagen						
Modelo		5940-storage unit	AFB Automatic Warehouse Station	ASRS-36U	ASRS-72U	Mechatronics Inventory Storage Station – 87-MS7
Empresa	ITESM-CSF	Labvolt- (ahora festo)	FESTO	intelek	intelek	Amatrol
Características						
Número de bahías	40	16	16	36	72	20
Número de tipo de carga a	1	1				1
Ancho máximo de carga (mm)	50	70				40
Largo máximo de carga(mm)	50	70				50
alto máximo de carga(mm)	40	50				40
peso máximo de unidad de caga (g)		1922.025		1500	1500	< 100
Número de columnas	10	4	4	6	6	1
número de hileras	4	4	4	6	6	4
SKU s	1	2	1	1	1	1
Peso máximo a soportar (total)				54	108	
Número de espacios de profundidad de anaquel		1	1	1	1	5
Número de filas	1	1	1	1	2	1
Número de pasillos	1	1	1	1	1	1
número de transelevadores	1	1	1	1	1	1
Número de cargas a manejar por el	1	1	1	1	1	1
Número de puntos de entrada y	2	1	1	1	1	1
Dimensiones totales						
Largo total	900 mm	670mm	-	1330mm	1310mm	600 mm
Ancho total	350 mm	420mm	-	630mm	880mm	550 mm
Altura total	400 mm	940mm	-	1200mm	1550mm	1500 mm
Peso del sistema	-	-	-	7kg	113 kg	-
Estructura mecánica						
Forma de montar	Montado sobre una base sólida de un conglomerado con cubierta de melamina.	montado sobre la celda de manufactura flexible.		Montado de forma fija en el suelo	Montado de forma fija en el suelo	estación de trabajo que se conecta a otras estaciones de trabajo
		Atornillada a placa perforada de superficie de trabajo de la mesa. Sistema push-lock		Cuenta con una cabina de plexiglass transparente	Cuenta con una cabina de plexiglass transparente	Cuenta con llantas
		Robot cartesiano sin eje de rotación		Robot cartesiano con ejes de rotacion	Robot cartesiano con ejes de rotacion	Robot cartesiano de dos grados de libertad
Robot transelevador						
Grados de libertad	3	3	3	4	4	2
End Effector	banda de cadena, accionada por un motor eléctrico	bandeja apoyada por un sistema de vacío		gripper estilo montacargas	gripper estilo montacargas	gripper neumático de dos dedos
Carga a soportar por transelevador				1.5kg	1.5kg	100 gr
Retroalimentación	Sensores sobre la maquina de almacenamiento y retiro en cada nivel de almacenamiento y sensores por columnas. 14 sensores	16 Switches de limite están instalados en cada casilla para retroalimentación y monitoreo PLC y 1 switch para la bandeja		encoder óptico en cada eje	encoder óptico en cada eje	
Actuador	motores electricos	ejes X y Y impulsados por servomotores. El eje Z es controlado por controles neumáticos.	ejes X y Y timing belt impulsados por servomotores. El eje Z es controlado por controles neumáticos.	24 VDC and 30 VDC servo motors	3 motores 12 VDC, 1 motor 24 VDC	motores neumáticos. eje x: accionador linear neumático, eje y: accionador neumático sin vástago
Transmisión	para z, se usa una cadena de transmission. Para e ejeX y Y se usa una banda dentada	tornillo móvil (ball screw lead 5mm(0.196in))	x y Y Timing-belt drive. Eje Z rodless linear actuator	Timing-belt drive	Timing-belt drive	neumático
Controlador			servomotores inteligentes con servoamplificador, controlador y CAN Bus interface	Tiempo real;PID;PWM	Tiempo real;PID;PWM	
Comunicación	2 puertos (buscar puertos)	2 DeviceNet Compact block I/O modules	CAN bus interface (CAN–Controller Area Network)	USB tipo A cable conector a PC	USB tipo A cable conector a PC	
inputs				Conectar y ejecutar sin necesidad de reiniciar el sistema	Conectar y ejecutar sin necesidad de reiniciar el sistema	
Outputs				2 canales RS232 integrados. 8 digital inputs:24V max., high/low configurable 4 analog inputs: 8-bit; input voltage 0-10V	3 canales RS232 integrados. 9 digital inputs:24V max., high/low configurable 5 analog inputs: 8-bit; input voltage 0-10V	
User power supply				8 digital outputs:24V max; 4 relays, 4 open collectors, sink/source configurable 2 analog outputs: 8-bit; output voltage 0-10V	9 digital outputs:24V max; 4 relays, 4 open collectors, sink/source configurable 2 analog outputs: 8-bit; output voltage 0-10V	
Programación/Software		controlado y monitoreado por DeviceNet network	EduTrainer® Universal with CAN master	Two +12VDC terminals, for connection of remote switches, sensors, etc.	Two +12VDC terminals, for connection of remote switches, sensors, etc.	
				OpenCIM software. SCORBASE for Controller-USB software	OpenCIM software. SCORBASE for Controller-USB software	
				RoboCell for controller.USB 3D simulation software (optional)	RoboCell for controller.USB 3D simulation software (optional)	
				Tech pendant for controller USB (optional)	Tech pendant for controller USB (optional)	
Definición de posición		Coordenadas XYZ	Coodenadas XYZ	Coordenadas XYZ	Coordenadas XYZ	

						
FESTO	FESTO	FESTO	Imotec	FESTO	FESTO	FESTO
16	50 - 88	40/50	32	50	32	18
			1	+	1	1
						35mm
						35mm
						17mm
						-
4	10+	10	8	5	4	6
4	5+	4 o 5	4	5	4	3
1	1	1	1	1	-	1
						-
1	1	1		1	1	1
1	1	1		2	2	1
1	1	1		1	1	1
1	1	1		1	1	1
1	1	1		1	1	1
1	1	-		1	1	1
		2380 mm				350 mm
		1300 mm				700 mm
		1800 mm				1000mm
						-
				Está montado sobre un marco de acero y con cuatro apoyos fijos para el piso	Montado sobre una mesa de trabajo, puede ser reconfigurado para formar diferentes líneas de montaje/o producción sin necesidad de reconectar o reprogramar.	Sobre una mesa rodante que lo convierte en una unidad móvil. También se instala sobre una placa de paro de emergencia
4	4	4		3	3	3
gripper estilo montacargas	gripper estilo montacargas			estilo montacargas	Gripper de dos dedos	gripper de dos dedos
						-
				etiquetas RFID	Presicion end-positioning adjustment	Sensores de color y retroalimentacion de fin de carrera
		3 servomotores de corriente directa			X: Cilindro sin Vástago. Z:Cilindro sin Vástago.	pinza neumática, el movimiento lineal "Y" se hace con un cilindro y el movimiento giratorio con un servoactuador eléctrico con controlador integrado
					pneumática para z y x.	Y: Cilindro sin vástago., Giro: transmisión directa sobre un servoactuador eléctrico
				Profibus y profinet		PLC: Activación por E/S de controladores de accionamiento
						8 entradas digitales
						8 salidas digitales
						Alimentación de tensión 24 V.DC. Presión de funcionamiento 600 kPa (6 bar)
				SCADA	SCADA	
				ambiente SAP		Programa de diseño y simu

## 8.7 Anexo 7: Tabla comparativa de AS/RS en la industria y en la educación

Aplicación	Empresa	Modelo	CARGA			Anaquel						
			Unidad de carga	Conjunto de carga	Con pallet o sin carga	Línea simple	Doble profundidad	Línea con profundidad	Estático	Móvil	Capacidad. Longitud de anaqueles	Capacidad. Altura de anaquel
ASRS en la industria: proveedores	HEMAQ-okuma	Palletace - C	si	no	piezas para procesos de arranque de viruta, sobre pallet	si	no	no	si	no	Variable pero máximo 12 espacios de largo	1 o 2 niveles
ASRS en la industria: proveedores	HEMAQ-okuma	Palletace - M	si	no	piezas para procesos de arranque de viruta, sobre pallet	si	no	no	si	no	Variable, máximo de 150 espacios de largo	2 a 3 niveles
ASRS en la industria: proveedores	Stöcklin	boxer	no	si	contenedores de plástico, de cartón o bandejas	si	si	si	si	estaciones elevadores	variable	Altura max. <22m
ASRS en la industria: proveedores	Stöcklin	MAST-er	si	no	tarimas varias: Euro I, EuroII, Chep	si	si	si	si	si	variable	Altura max. <45m
ASRS en la industria: proveedores	MECALUX	Monocolumna	si	no	Europaleta de 800 mm y 1.00 mm de ancho (EN 13382)	si	si	si	si	Si tienen: estaciones elevadores, radioshuttle, spinblock	variable	altura máxima: 45 m
ASRS en la industria: proveedores	MECALUX	Bicolumna	si	no	Europaleta de 800 mm y 1.00 mm de ancho (EN 13382)	si	si	si	si	no	variable	altura máxima: 45 m
ASRS en la industria: proveedores	MECALUX	transelevador para cajas	no	si	Eurobox. Cajas de cartón, plástico, metálicas y bandejas rígidas con altura de caja o carga variable	si	si	si	si	no	variable	Altura máxima de 12m
ASRS en la industria: Aplicado	BAFAR	Realizado por SSI-Schaefer	si	no	Tarimas tipo CHEP(.40" x 48" x 5 5/8" )	no	si: puede cargar hasta 2500 kg (2 tarimas)	no	si	no	45 espacios de largo	11 niveles de alto
ASRS en la educación	ITESM-CSF		si	no	Artículo sobre pallet de plástico	si	no	no	si	no	fijo : 10 espacios de anaquel	fijo: 4 espacios de anaquel
ASRS en la educación	Labvolt	5940-storage unit	si	no	objeto sin pallet	si	no	no	si	si	fijo: 4 espacios de anaquel	fijo: 4 espacios de anaquel
ASRS en la educación	FESTO	AFB Automatic Warehouse Station	si	no	Objeto sobre pallet de aluminio	si	no	no	si	no	fijo: 4 espacios de anaquel	fijo: 4 espacios de anaquel
ASRS en la educación	Intelitek	ASRS-36U	si	no	Artículo sobre pallet de plástico	si	no	no	si	no	fijo: 6 espacios de anaquel	fijo: 6 espacios de anaquel
ASRS en la educación	Intelitek	ASRS-72U	si	no	Artículo sobre pallet de plástico	si	no	no	si	no	fijo: 6 espacios de anaquel	fijo: 6 espacios de anaquel
ASRS en la educación	Amatrol	Mechatronics Inventory Storage	si	no	objeto sin pallet	no	no	si	si	no	fijo: 4 espacios de anaquel	fijo: 1 espacio de anaquel
ASRS en la educación	FESTO	iCIM 3000	si	no	Artículo sobre pallet de plástico	si	no	no	si	no	fijo: 4 espacios de anaquel	fijo: 4 espacios de anaquel
ASRS en la educación e industria	FESTO	iFactory-ASRS	si	no	Artículo sobre pallet de plástico	si	no	no	si	no	fijo: 5 espacios de anaquel	fijo: 5 espacios de anaquel
ASRS en la educación e industria	FESTO	MPS - Transfer Factory	si	no	Artículo sobre pallet de plástico	si	no	no	si	no	fijo: 4 espacios de anaquel	fijo: 4 espacios de anaquel
	Sistema a realizar	básico	si	no	en tarima o pallet	si	no	no	si	no	4	4
	Sistema a realizar	Optimizado	si	si	tarima, pallet o caja	si	si	tal vez	si	tal vez	4	4

	Máquinas de Almacenamiento y recuperación de unidades						Puntos de entrada y salida		
Dimensión de bahía (única o múltiple)	Grados de libertad	Transelevador sencillo	Transelevador doble	Transelevador múltiple	Cautivo en pasillo	Varias gruas por pasillo	Número de estaciones de entrada/salida	Interfaz/Software	Sistema de lectura
única	3	si	no	no	si	si	hasta 2		
única	4	si	no	no	si	si	hasta 4		
múltiple (pero una por fila)	3	si	si	1 grúa hasta máximo 4 cajas	si	hay sistemas de cambio de pasillo	max. 2	Adaptado necesidades del cliente. Integrado al WMS y una computadora de flujo de materiales (MFC)	RFID o Código de barras
múltiple (pero una por fila)	3	si	si	no	si	no	max. 3		RFID o Código de barras
múltiple, pero una por fila	3	si	si	no	opcional	N/A	max.2	Software de control: Galileo Software de gestión de almacenes:SGA	RFID o Código de barras
múltiple, pero una por fila	3	si	si	no	opcional	1 grúa que maneja 2 tarimas maximo	max.2		RFID o Código de barras
múltiple	3	si	Transelevador para cajas bicolumna MLB	no	si	tiene sistemas de cambio de pasillo	variable		RFID o Código de barras
única	3	si	no	no	si: únicamente transelevadores cautivos en pasillo	no	variable	Siempre tratan de modificar eficiencia. Trabajan con sistema SAP, y ANT para su WMS	Utilizan etiquetas Máster
única	3	si	no	no	si	no			
única	3	si	no	no	si	no	2	DeviceNet network	no tiene, usa switch de límite
única	3	si	no	no	si	no	1	EduTrainer® Universal with CAN master	
única	3	si	no	no	si	no	1	OpenCIM software.	RFID
única	3	si	no	no	si	no	2	OpenCIM software.	RFID
única	2	si	no	no	si	no	1		no tiene
única	4	si	no	no	si	no	hasta 2		
única	3	si	no	no	si	no	1 sobre banda transportadora	SCADA	RFID
única	3	si	no	no	si	no	2 sobre banda transportadora	SCADA	
única	3	si	no	no	si	N/A	1	WMS - software de manejo de materiales e integrado al SAP	RFID
múltiple	posibilidad de agregar 4	si	Considerar que se pueda modificar	no	si	N/A	variable	WMS - software de manejo de materiales e integrado al SAP	RFID

## 8.8 Anexo 8: Tabla de necesidades, requerimientos generales y requerimientos específicos

Tabla de Necesidades, requerimientos generales y requerimientos específicos

Necesidades	Requerimientos Generales			Requerimientos específicos					
	Requerimiento	Unidad	Valor	Requerimiento	Unidad	Valor			
<b>Desempeño</b>									
Debe tener suficientes bahías para una práctica de un salón	Número de bahías	unidad	16	Número de columnas	unidad	4			
				Número de hileras	unidad	4			
				Carga: Número de tipo de cargas a almacenar	unidad	< 2			
	Número de anaqueles	unidad	1						
<i>Anaqueles</i>									
	Número de bahías	unidad	16						
	Número de anaqueles	unidad	1	Número de pasillos	unidad	1			
				Transelevador cautivo en pasillo	binario	si			
<i>Máquinas de Almacenamiento y recuperación de unidades</i>									
Parecido a almacenes existentes	Número de transelevadores	unidad	1	Grados de libertad	unidad	3			
				Transelevador cautivo en pasillo	binario	si			
	Número de cargas a manejar por transelevador	unidad	1						
<i>puntos E/S</i>									
	Número de puntos E/S	unidad	1	Número de pasillos	unidades	1			
<i>Cargas</i>									
	Carga: colocadas sobre pallet	binario	si						
Debe soportar el material a almacenar	Carga: colocadas sobre pallet	binario	si	<i>Dimensiones totales</i>					
	Carga: Dimensiones de unidad de carga a soportar								
	Carga: Ancho máximo total de carga	cm	35.5				Dimensiones de anaquel: Profundidad total	cm	45.5
	Carga: Altura máxima total de carga	cm	16.905				Dimensiones de anaquel: Largo total	cm	170
	Carga: Profundidad total máxima de carga	cm	35.5				Dimensiones de anaquel: Altura total	cm	92.7
	Carga: Peso total máximo de unidad de carga	kg	9.44				Peso total máximo a soportar por anaquel	kg	151.0388
Que use el mínimo de energía	Watts requeridos	Watts	-	Consumo energético de motores	watts	-			
				Número de motores	unidades	3			
				Consumo de sensores	watts	-			
				Número de sensores	unidades	4 < x < 26			
				Consumo energético de focos	watts	-			

				Número de focos	unidades	maximo 6
Que se pueda integrar en una celda de manufactura flexible	Carga: colocadas sobre pallet	binario	si			
	Carga: Dimensiones de unidad de carga a soportar					
	Compatible con las siguientes máquinas que forman parte de un sistema de manufactura flexible	lista	brazo robótico, fresadora y torno CNC, banda transportadora	software de control	lista	WMS
	Carga: Peso total máximo de unidad de carga	kg	9.44	Peso total máximo a soportar por anaquel	kg	151.0388
				Peso máximo a soportar por transelevador	kg	9.44
<b>Usabilidad</b>						
Que el AS/RS se pueda cambiar ubicación fácilmente	Modular	Binario	si	Sistemas de asegurado (unión de partes modulares)	lista	Tornillos, prensas, surcos, snap and latch
				Tiempo de armado de módulos	min	<60
				Precisión de alineado entre piezas	%	0.5
				Fuerza necesaria aplicada para el armado de piezas	N	
				Número de módulos	unidades	3<x<15
	Método de reubicación	lista	ruedas, deslizamiento, con montacargas, cargado entre dos personas, etc..			
	Dimensiones netas del sistema completo: Peso neto del sistema	kg	113	Dimensiones de anaquel: Peso del anaquel	kg	37.66667
				Dimensión de transelevador: Peso	kg	56.5
				Dimensión de punto de entrada/salida: Peso	kg	2.354167
				Dimensión de Unidad de Control: Peso	kg	18.83333
Que el AS/RS tenga dimensiones adecuadas para insertarse en el taller de	<i>Dimensiones netas del sistema completo</i>			Dimensiones de anaquel: Profundidad total	cm	45.5
	Dimensiones netas del sistema completo: Profundidad aprox.	cm	98	Dimensiones de anaquel: Largo total	cm	39.5

manufactura avanzada	Dimensiones netas del sistema completo: Largo aprox.	cm	265	Dimensión pasillo de servicio: Profundidad del pasillo	cm	52.5
	Dimensiones netas del sistema completo: Altura aprox.	cm	190.7	Dimensión pasillo de servicio: Largo del pasillo	cm	265
Que tenga capacidad de expansión y futuras mejoras				Dimensión de punto de entrada y salida: Largo	cm	39.5
				Dimensión de punto de entrada y salida: Profundidad	cm	45.5
				Dimensión del Área de Control: Profundidad	cm	45.5
				Dimensión del Área de Control: Largo	cm	39.5
				Número de columnas	unidad	4
				Número de hileras	unidad	4
				Carga: Número de tipo de cargas a almacenar	unidad	< 2
Que tenga capacidad de expansión y futuras mejoras	Estandarización de piezas	Lista	ISO, ANSI (ASME)			
	Porcentaje del proyecto que pueda ser manufacturado en la Universidad Tecnológica de la Mixteca	porcentaje	≥60%			
	Accesibilidad de piezas	porcentaje	>70%			
	Modificabilidad (Grado de modificabilidad)	unidad	0.3	<i>Expansiones para:</i> Expansiones para: Número de bahías Expansiones para: Número de Anaqueles Expansiones para Número de transelevadores Expansiones para: Número de cargas a manejar por transelevador Expansiones para: Numero de puntos E/S Expansiones para: Dimensiones del pasillo <i>Dimensiones netas del sistema completo</i>	binario	si
Que evite riesgos de accidentes	Que sea estable	binario	si	No permita rebasamiento y oscilación	binario	si
	Cumpla con normativas	lista	NOM/ISO/ANSI	NOM-Z-6-1986, dibujo técnico NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo	binario	si

				Motores Eléctricos	lista	NEMA (National Electrical Manufacturers Asociation)
	Cuenta cubiertas y tapas	lista	motores, drivers, anaquel, sensores			
	Tiene sus fillos redondeados	mm	>2			
	Evitar esquinas y salientes	binario	si			
	Cuenta con un botón de paro de emergencia.	binario	si			
	Cuenta con funciones avanzadas de automatización para monitoreo, diagnóstico, detección de errores y/o recuperación del sistema	binario	si			
Sencillo de usar	Usa conceptos de Semiótica de los objetos	binario	si	Formas y colores facilita una lectura rápida y acertada (HMI)	binario	si
	HCI para una programación intuitiva (descripción de necesidades del software)	binario	si			
	Compatibilidad del sistema con la computadora y viceversa	binario	si	Bus de entrada y salida	unidades	minimo 1
Que facilite su exposición a grupos grandes	Espacio frente al sistema de control	m <sup>2</sup>	3.75	espacio frente al sistema de control: ancho	cm	250
				espacio frente al sistema de control: largo	cm	150
Que sea cómodo de usar	Que respete medidas antropométricas	binario	si	Altura mínima de trabajo del usuario	cm	(>25 cm)
				Altura máxima para alcanzar del usuario	cm	200
				Altura preferente de uso normal	cm	90
				Radio del área libre alrededor del giro del tronco	cm	72.5
				espacio frente al sistema de control: ancho	cm	250
	Que tenga una superficie de trabajo adecuada	binario	si	Rugosidad de mesa de trabajo (Rugosidad Ra )	µm	<25
				Conductividad térmica de la superficie de trabajo(λ)	Kcal/ m s °C	<1.7 x 10 <sup>-4</sup>
				Factor de reflexión de superficie de trabajo	factor	15<x<50
				Superficie de trabajo plana y firme	binario	si
Pueda ser utilizado cómodamente por un equipo de personas	Que respete medidas antropométricas	binario	si	Altura mínima de trabajo del usuario	cm	(>25 cm)
	Espacio frente al sistema de control	m <sup>2</sup>	3.75			

Que facilite su mantenimiento	Que respete medidas antropométricas	binario	si	Altura mínima de trabajo del usuario	cm	(>25 cm)
	Cumpla con normativas	lista	NOM/ISO/ANSI	NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo	binario	si
	Que su instalación no dañe a su entorno	binario	si	Protección en las patas	binario	si
<b>Durabilidad</b>						
Durable bajo condiciones de un espacio cerrado	"ciclos de vida" antes de que suceda una falla con la carga máxima permitida, considerando un mantenimiento de cada 6 meses (simulado en SolidWorks)	lifecycles	2.5			
	Humedad del ambiente media relativa anual	porcentaje	62			
	Temperatura promedio	°C	24			
Resistente a usos inadecuados	Factor de carga extra a soportar (como para simular un AST)	factor	>1.5			
	Factor de seguridad de resistencia de material	factor	>1.3			
<b>Estética</b>						
Que sea estético	Visualmente atractivo	subjetivo		Visualmente atractivo		
	Incite interés	subjetivo		Factor de reflexión de superficie de trabajo	factor	15<x<50
	Cuenta cubiertas y tapas	lista	motores, drivers, anaquel, sensores			
<b>Costo</b>						
Que sea económico	Costo	pesos	\$390,600±50,000			
<b>Manufactura</b>						
Que en su mayoría pueda ser construido en la UTM	Porcentaje del proyecto que pueda ser manufacturado en la Universidad Tecnológica de la Mixteca	porcentaje	≥60%	Maquinaria que se puede utilizar para su construcción	Lista	Fresadora CNC, torno CNC, sierra de cinta hidráulica, taladro vertical, cizalla cortadora, máquina plegadora
	Tiempo de producción	hrs	480	Tolerancia de fabricación	mm	3
<b>Regulaciones Gubernamentales</b>						

Cumple con las normas de INIFED	binario	si	No permita rebasamiento y oscilación	cm	0.6
			Factor de reflexión de superficie de trabajo	factor	15<x<50
			Rugosidad de mesa de trabajo (Rugosidad Ra )	µm	<25
			Superficie de trabajo plana y firme	binario	si
			Conductividad térmica de la superficie de trabajo(λ)	Kcal/ m s °C	<1.7 x 10 <sup>-4</sup>
			Protección en las patas	binario	si
			Tolerancia de fabricación	mm	3
Cumpla con normativas	Lista	ISO/ANSI	NOM-Z-6-1986, dibujo técnico	binario	si
			NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo	binario	si
			NOM-001-SEDE-2012. Artículo 408	binario	si
			Motores Eléctricos	lista	NEMA (National Electrical Manufacturers Asosiation)

## 8.9 Anexo 9: Normativa relacionada con el proyecto

### Normativa Relacionada con el Proyecto

Como una investigación superficial, las normativas que aplicarían para este proyecto pueden ser las dictaminadas por las siguientes organizaciones de estandarización.

- 01- NOM- Normas Oficiales Mexicanas
- 02- ISO- La Organización Internacional de Normalización
- 03- IEC - International Electrotechnical Commission
- 04- NEMA- National Electrical Manufacturers Association
- 05- NEC- Código Eléctrico Nacional (que en realidad es una rama de NFPA, national fire protection association)
- 06- OSHA (Occupational Safety and Health Administration)

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) relevantes que se encontraron fueron las siguientes:

- NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo
- NOM-001-SEDE-2012. Artículo 408, Tableros de distribución y tableros de alumbrado y control

### Normativa ISO relacionada

A continuación se enlistan las posibles normativas ISO que podrían reglamentar el proyecto de diseño de un sistema de almacenamiento automático para fines didácticos.

ICS- International Classification for Standards

Generalities terminology. Standardization. Documentation

- 03- Services. Company organization, management and quality. Administration. Transport. Sociology
- 13- Environment. Health protection. Safety.
- 21- Mechanical systems and components for general use
- 21.020 - Characteristics and design of machines, apparatus, equipment.
- 25- Manufacturing engineering
  - 25.040 – Industrial automation systems
- 29- Electrical engineering
  - 29.020 – Electrical engineering in general
- 53- Materials handling equipment
  - 53.080 – Storage equipment

TC- Technical Committees

- ISO/TC 96 – Cranes
- ISO/TC 98 – Bases for design of structures
- ISO/TC 100 – Chains & chain sprockets for power transmission
- ISO/TC 101 - Continuous mechanical handling equipment (standby)
- ISO/TC 108 – Mechanical vibration, shock and condition monitoring
- ISO/TC 136 – Furniture
- ISO 4211-2:2013
- Furniture -- Tests for surface finishes -- Part 2: Assessment of resistance to wet heat

ISO 4211-3:2013  
Furniture -- Tests for surface finishes -- Part 3: Assessment of resistance to dry heat  
ISO 4211-4:1988  
Furniture -- Tests for surfaces -- Part 4: Assessment of resistance to impact  
ISO 5970:1979  
Furniture -- Chairs and tables for educational institutions -- Functional sizes  
ISO 7170:2005  
Furniture -- Storage units -- Determination of strength and durability  
ISO 7171:1988  
Furniture -- Storage units -- Determination of stability  
ISO 7172:1988  
Furniture -- Tables -- Determination of stability

ISO/TC 159 - Ergonomics  
ISO/TC 159/SC 1 - General ergonomics principle  
ISO/TC 159/SC 4 - Ergonomics of human-system interaction  
ISO/TC 159/SC 5 - Ergonomics of the physical environment  
ISO/TC 184 Automation systems and integration  
ISO/TC 184/SC 1  
ISO/TC 184/SC 5  
ISO/TC 199 Safety of machinery  
ISO/TC 213 - Dimensional and geometrical product specifications and verification  
ISO 129 – Technical drawings- dimensioning- general principles, definitions, methods of execution and special indications

### **Ergonomía**

Con respecto a los aspectos de ergonomía, ERGOMACH (2010) recomienda la siguiente lista de normas europeas:

Para interfaz de tareas:

EN 614-2.

E interfaz de interacción EN 6385, EN 894, EN ISO 9241-110.

EN 614-1+A1 : 2009 Safety of machinery - Ergonomic design principles - Part 1: Terminology and general principles  
EN 614-2+A1 : 2008 - Safety of machinery - Ergonomic design principles - Part 2: Interactions between the design of machinery and work tasks  
EN 894-1+A1 : 2008 Safety of machinery - Ergonomics requirements for the design of displays and control actuators - Part 1: General principles for human interactions with displays and control actuators  
EN 894-2+A1 : 2008 Safety of machinery - Ergonomics requirements for the design of displays and control actuators - Part 2: Displays  
EN 894-3+A1 : 2008 Safety of machinery - Ergonomics requirements for the design of displays and control actuators - Part 3: Control actuators  
EN 1005-1+A1 : 2008 Safety of machinery - Human physical performance - Part 1: Terms and definitions  
EN 1005-2+A1 : 2008 Safety of machinery - Human physical performance - Part 2: Manual handling of machinery and component parts of machinery  
EN 1005-3+A1 : 2008 Safety of machinery - Human physical performance - Part 3: Recommended force limits for machinery operation  
EN 1005-4+A1 : 2008 Safety of machinery - Human physical performance - Part 4: Evaluation of working postures and movements in relation to machinery  
EN 1005-5 : 2007 Safety of machinery - Human physical performance - Part 5: Risk assessment for repetitive handling at high frequency  
EN ISO 6385 : 2004 Ergonomic principles in the design of work systems (ISO 6385:2004)  
EN ISO 9241-12 : 1998 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 12: Presentation of information (ISO 9241-12:1998)

- EN ISO 9241-110 : 2006 Ergonomics of human-system interaction - Part 110: Dialogue principles (ISO 9241-110:2006)
- EN ISO 10075-2 : 2000 Ergonomic principles related to mental workload - Part 2: Design principles (ISO 10075-2:1996)
- EN ISO 11064-1 : 2000 Ergonomic design of control centres - Part 1: Principles for the design of control centres (ISO 11064-1:2000)
- EN 13861 : 2002 Safety of machinery - Guidance for the application of ergonomics standards in the design of machinery
- EN 60447 : 2004 Basic and safety principles for man-machine interfaz - Marking and identification -Actuating principles (IEC 60447:2004)

#### Seguridad de máquinas

Con respecto a la seguridad de las máquinas, el Safebook – Sistemas de seguridad para maquinaria industrial indica que “Dos organizaciones rigen las normas globales de seguridad de maquinaria: ISO (international organization for standarization) e IEC (international eletrotechnical comisión).

Además, para regir la seguridad del diseño de las máquinas, se tienen las EN (Norma Europea). También están las normas de OSHA (Occupational Safety and Health Administration)

Con respecto a la seguridad de la máquina se tiene la ISO 12100:2010.

#### Norma Europea

##### Standard reference

- EN 1005-1:2001 + A1:2008 Safety of machinery – Human physical performance – Part 1: Terms and definitions.
- EN 1005-2:2003 + A1:2008. Safety of machinery – Human physical performance – Part 2: Manual handling of machinery and component parts of machinery
- EN 1005-3:2002 + A1:2008- Safety of machinery – Human physical performance – Part 3: Recommended force limits for machinery operation
- EN 1005-4:2005 + A1:2008 - Safety of machinery – Human physical performance – Part 4: Evaluation of working postures and movements in relation to machinery
- EN 547-1:1996 + A1:2008. Safety of machinery – Human body measurements – Part 1: Principles for determining the dimensions required for openings for whole body access into machinery
- EN 547-2:1996 + A1:2008- Safety of machinery – Human body measurements – Part 2: Principles for determining the dimensions required for access openings
- EN 547-3:1996 + A1:2008- Safety of machinery – Human body measurements – Part 3: Anthropometric data
- EN 614-1:2006 + A1:2009- Safety of machinery – Ergonomic design principles – Part 1: Terminology and general principles
- EN 614-2:2000 + A1:2008 - Safety of machinery – Ergonomic design principles – Part 2: Interactions between the design of machinery and work tasks
- EN 842:1996 + A1:2008- Safety of machinery – Visual danger signals – General requirements, design and testing
- EN 894-1:1997 + A1:2008- Safety of machinery – Ergonomics requirements for the design of displays and control actuators – Part 1: General principles for human interactions with displays and control actuators
- EN 894-2:1997 + A1:2008- Safety of machinery – Ergonomics requirements for the design of displays and control actuators – Part 2: Displays
- EN 894-3:2000 + A1:2008 - Safety of machinery – Ergonomics requirements for the design of displays and control actuators – Part 3: Control actuators
- EN 894-4:2012- Safety of machinery – Ergonomics requirements for the design of displays and control actuators – Part 4: Location and arrangement of displays and control actuators
- EN 981:1996 + A1:2008- Safety of machinery – System of auditory and visual danger and information signals
- EN ISO 13732-1:2008- Ergonomics of the thermal environment – Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces – Part 1: Hot surfaces (ISO 13732-1:2006)
- EN ISO 13732-3:2008- Ergonomics of the thermal environment – Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces – Part 3: Cold surfaces (ISO 13732-3:2005)
- EN ISO 14738:2008- Safety of machinery – Anthropometric requirements for the design of workstations at machinery (ISO 14738:2002, including Cor 1:2003 and Cor 2:2005)

EN ISO 15536-1:2008- Ergonomics – Computer manikins and body templates – Part 1: General requirements (ISO 15536-1:2005)

EN ISO 7731:2008- Ergonomics – Danger signals for public and work areas – Auditory danger signals (ISO 7731:2003)

Fuente:

International Organization for Standardization. [ISO]. (2014). *Standards catalogue*. Recuperado de: [www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_ics.htm](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics.htm)

Ergomach. (2010). *Sheet human-machine interfaz*. Recuperado de: <https://ergomach.wordpress.com/machinery-directive/human-machine-interfaz/>

Rockwell Automation, Inc. (2011). *Safebook 4: Sistemas de seguridad para maquinaria industrial*. Milwaukee, USA.

## 8.10 Anexo 10: Tablas para la determinación de dimensiones de unidad de carga

Tablas para determinación de dimensiones de unidad de carga.

**Dimensiones generalmente manejadas por los alumnos en fresadora (según encargado del taller)**

Material	Ancho (cm)	Largo (cm)	Alto (cm)	Volúmen cm <sup>3</sup>	Densidad de material (g/cm <sup>3</sup> )	Peso calculado (kg)
MDF	30	30	10	9000	0.8	7.2
Grafito	13	13	4	676		0
Aluminio	13	13	5	845	2.7	2.2815
Acero al carbono 1040	13	13	5	845	7.845	6.629025
					Peso máximo de carga	7.2

**Dimensiones máximas aceptadas por Máquinas Involucradas**

Máquina	ancho (cm)	largo (cm)	alto (cm)	volúmen cm <sup>3</sup>	Peso máximo soportado (kg)
Fresadora CNC. (cm)	40	30	15	18000	350
Torno CNC. (cm)	15	1200	N/A	-	
Brazo Robotico					60
Gripper					40
Dimensiones aceptada por banda transportadora					
Dimensiones máximas por manejar por el AS/RS(cm)	15	30	15	18000	350

**Dimensiones a manejar por AS/RS**

Máquina	ancho (cm)	largo (cm)	alto (cm)	volúmen cm <sup>3</sup>	Peso máximo soportado (kg)
Fresadora CNC. (cm)	30	30	15	13500	7.2
Torno CNC. (cm)	40	1200	N/A	-	
Brazo Robotico	-	-	-	-	10
Gripper	155		20		10000
Brazo robotico + Gripper	155	30	20	-	7.70
Dimensiones aceptada por banda transportadora					
Dimensiones máximas de artículo aceptadas por las máquina herramientas	30	30	15	13500	7.2
Dimensiones máximas de artículo aceptadas en la celda de manufactura	30	30	34	13500	-
Dimensión interior de bahía 1	37.5	37.5	18.175	-	
Dimensión interior de bahía 2	39.5	47.5	18.175	-	
Dimensión interior de bahía 3	37.5	37.5	36.35	-	
Dimensión interior de bahía 4	39.5	47.5	36.35	-	

## 8.11 Anexo 11: Tablas para la determinación de las dimensiones del sistema AS/RS

<b>Dimensión de bahía de almacenamiento</b>				
<b>Elemento</b>	<b>largo (cm)</b>	<b>profundidad (cm)</b>	<b>altura (cm)</b>	<b>Volumen(cm3)</b>
Palet o sistema de soporte	35.5	35.5	1.905	2400.77625
Holgura	2	2	1.27	5.08
Artículo a almacenar	0	0	15	0
Dimensiones de bahía	37.5	37.5	18.175	25558.59375
Palet 2	35.5	45.5	1.905	3077.05125
Artículo a almacenar 2	0	0	34	0
Dimensiones de bahía 2	39.5	47.5	36.35	68201.6875

### Dimensiones posibles de bahía

	<b>largo (cm)</b>	<b>profundidad (cm)</b>	<b>altura (cm)</b>
Dimensión 1	37.5	37.5	18.18
Dimensión 2	37.5	47.5	18.18
Dimensión 3	37.5	37.5	36.35
Dimensión 4	37.5	47.5	36.35

<b>Dimension total de anquel</b>		<i>Considerando un perfil cuadrado de 4cm</i>		
<b>Configuración</b>		<b>largo (cm)</b>	<b>profundidad (cm)</b>	<b>altura (cm)</b>
16 bahías de dimensión 1		170	45.5	92.7
16 bahías de dimensión 2		178	55.5	92.7
12 bahías de dimension 1	2 bahías de dimension 3	170.5	44.5	85.3
12 bahías de dimension 2	2 bahías dimension 4	170.5	54.5	85.3
12 bahías de dimensión 1	4 bahías de dimensión 3	211.5	44.5	85.3
12 bahías de dimensión 2	4 bahías de dimensión 4	221.5	54.5	85.3

<b>Dimensión de anaquel</b>	<b>largo (cm)</b>	<b>profundidad (cm)</b>	<b>altura (cm)</b>
Anaquel 1	170	45.5	92.7
Anaquel 2	221.5	54.5	85.3

### Dimensiones aproximadas del sistema completo

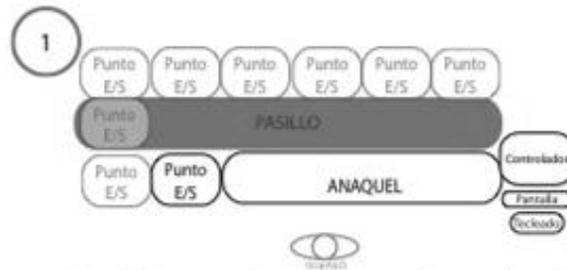
<b>Parte</b>	<b>Largo (cm)</b>	<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>
Pasillo	265	52.5	112.7
Unidad de control	39.5	45.5	72
Anaquel	170	45.5	92.7
Punto de Entrada/Salida	39.5	45.5	5
<b>Sistema Completo</b>	<b>265</b>	<b>98</b>	<b>190.7</b>

## 8.12 Anexo 12: Determinación de la distribución de los elementos del AS/RS

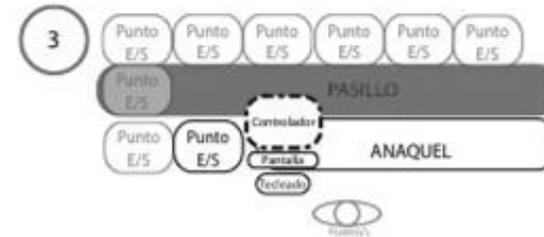
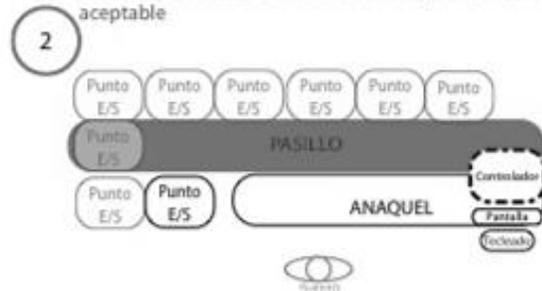
### Conclusión de distribución en planta de los elementos

Conclusión del análisis con apoyo gráfico

Después de analizar el aprovechamiento del espacio, interacción de la maquina con el usuario, y minimización de los materiales, se obtuvieron las siguientes las posibles distribuciones en planta óptimas para el sistema:



Todavía se pueden explorar variantes donde parte de la unidad de control quede colocado debajo del anaquel y/o del pasillo. (no puede ser toda la unidad de control porque al menos la pantalla, teclado y raton deberán estar en contacto directo con el usuario y colocado a una altura antropométricamente aceptable

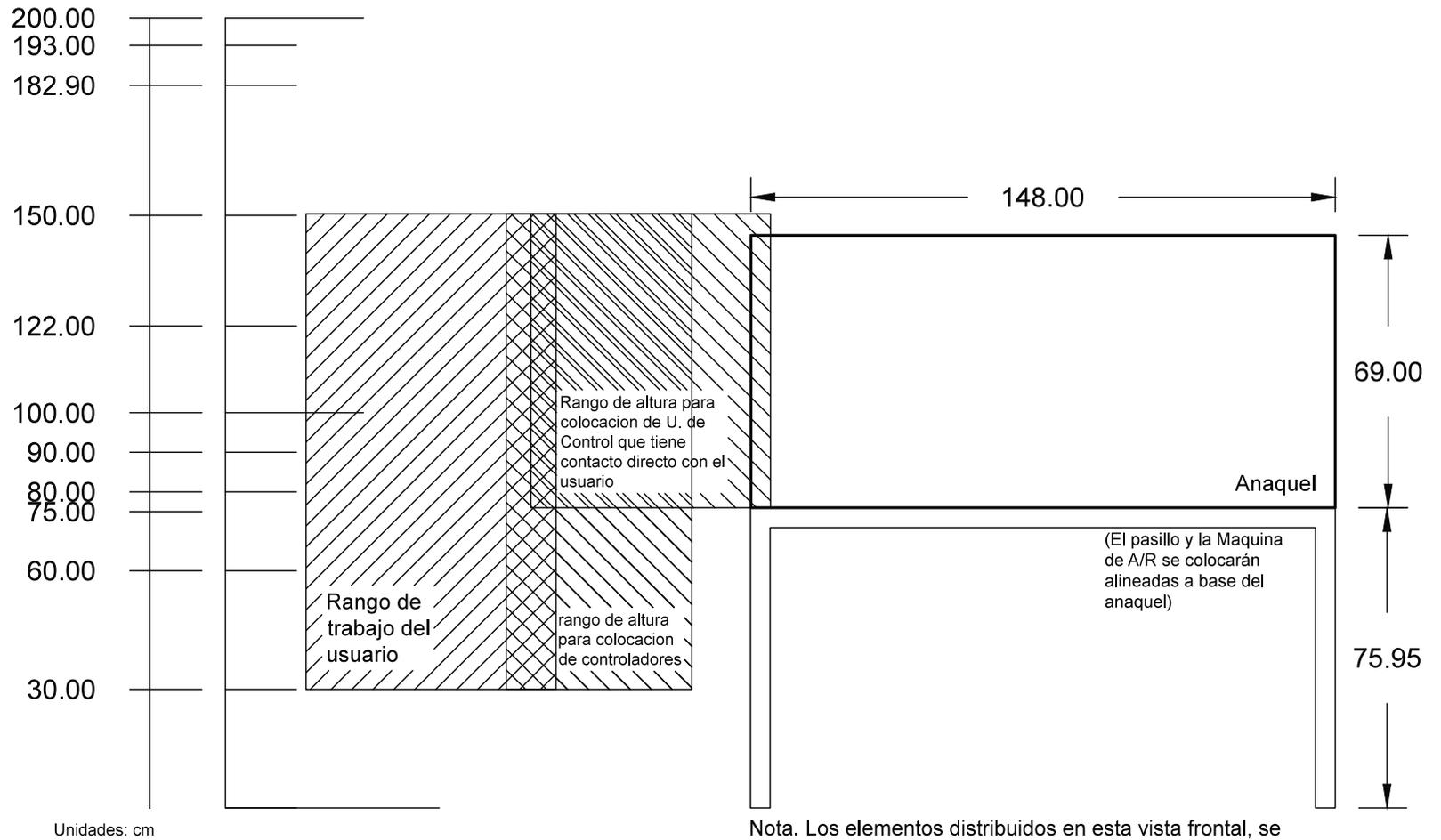


Estas distribuciones en planta cuentan con las siguientes características:

- El pasillo y anaquel están paralelos y con contacto directo
- El punto de entrada y salida puede cambiar de ubicación, para adaptarse mejor a los requerimientos de la celda de manufactura
- La unidad de control está libre de explorar ubicaciones en ambos lados del anaquel, de preferencia que sean móviles.
- El pasillo excederá como máximo hasta dos veces la longitud del punto de entrada/salida, esto considerando la posibilidad de colocar dos puntos de entrada, en algún futuro para finalidades )
- En controlador y la CPU están físicamente cercanas uno del otro

Se han respetado las proporciones aproximadas de las partes en los dibujos

## RANGO DE ALTURAS PARA COLOCAR LOS ELEMENTOS EN VISTA FRONTAL (BOCETAJE)

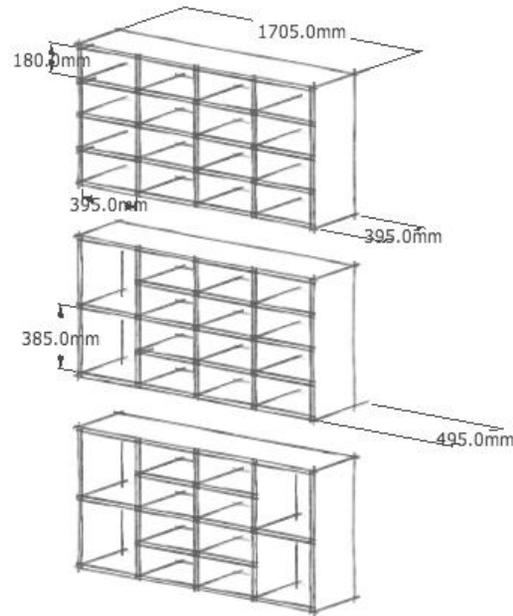


Nota. Los elementos distribuidos en esta vista frontal, se hicieron considerando los rangos de trabajo del usuario en diferentes posiciones

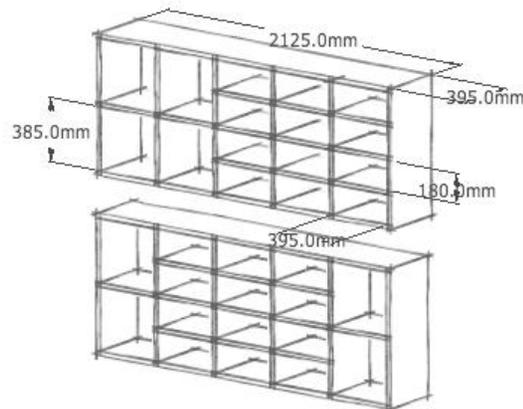
Tomando en cuenta medidas de:  
Ernst Neufert. "Arte de Proyectar en Arquitectura" Ed. Gustavo Gili S.A. 14ª edición. Barcelona:

# Distribución y dimensiones posibles del anaquel

1 SKU s



2 SKU s



Considerando que se podría aceptar un mayor número de SKU's, hallamos 4 dimensiones de bahías.

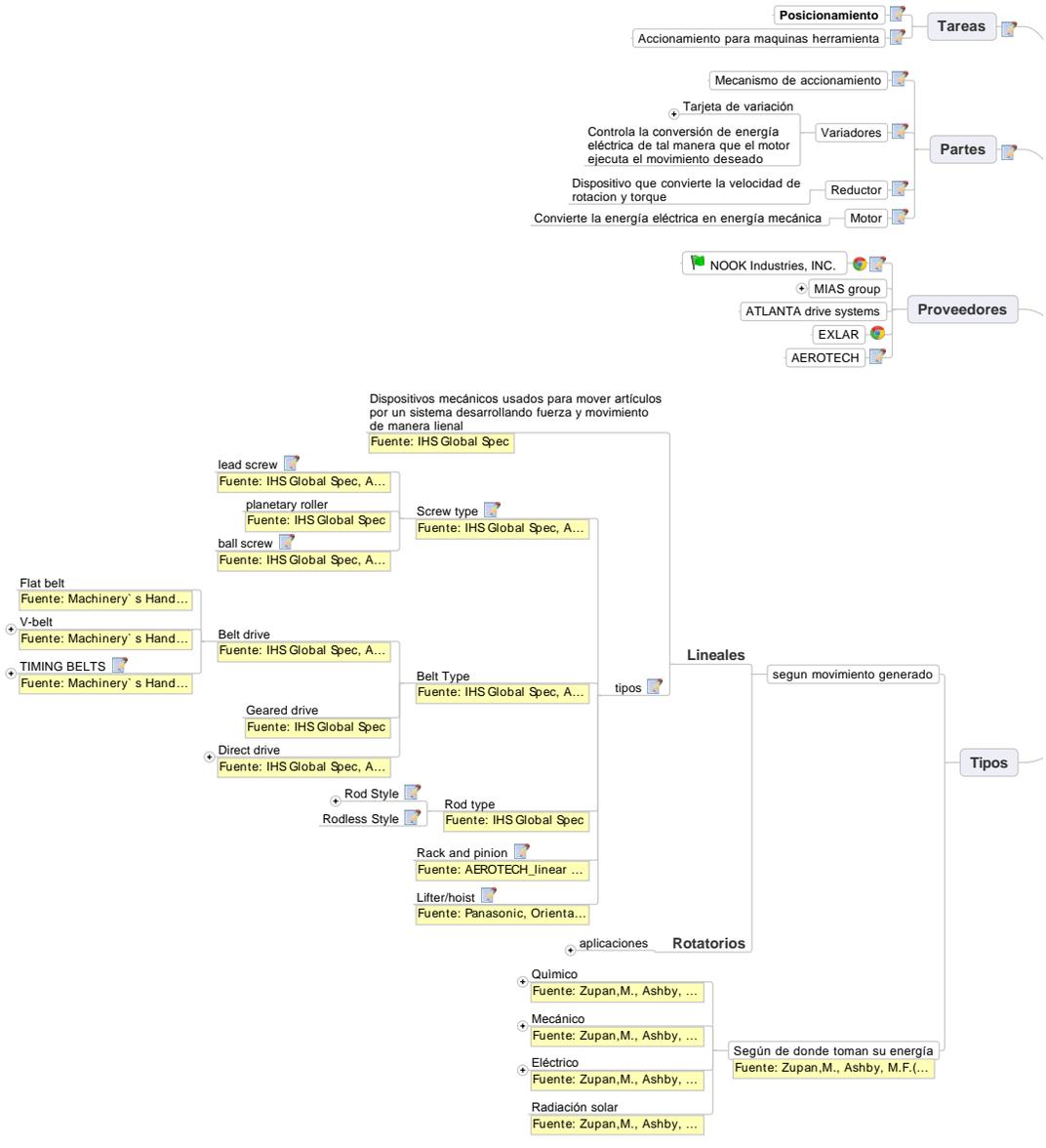
	largo (cm)	profundidad (cm)	altura (cm)
Dimensión 1	37.5	37.5	18.2
Dimensión 2	37.5	47.5	18.2
Dimensión 3	37.5	37.5	36.5
Dimensión 4	37.5	47.5	36.5

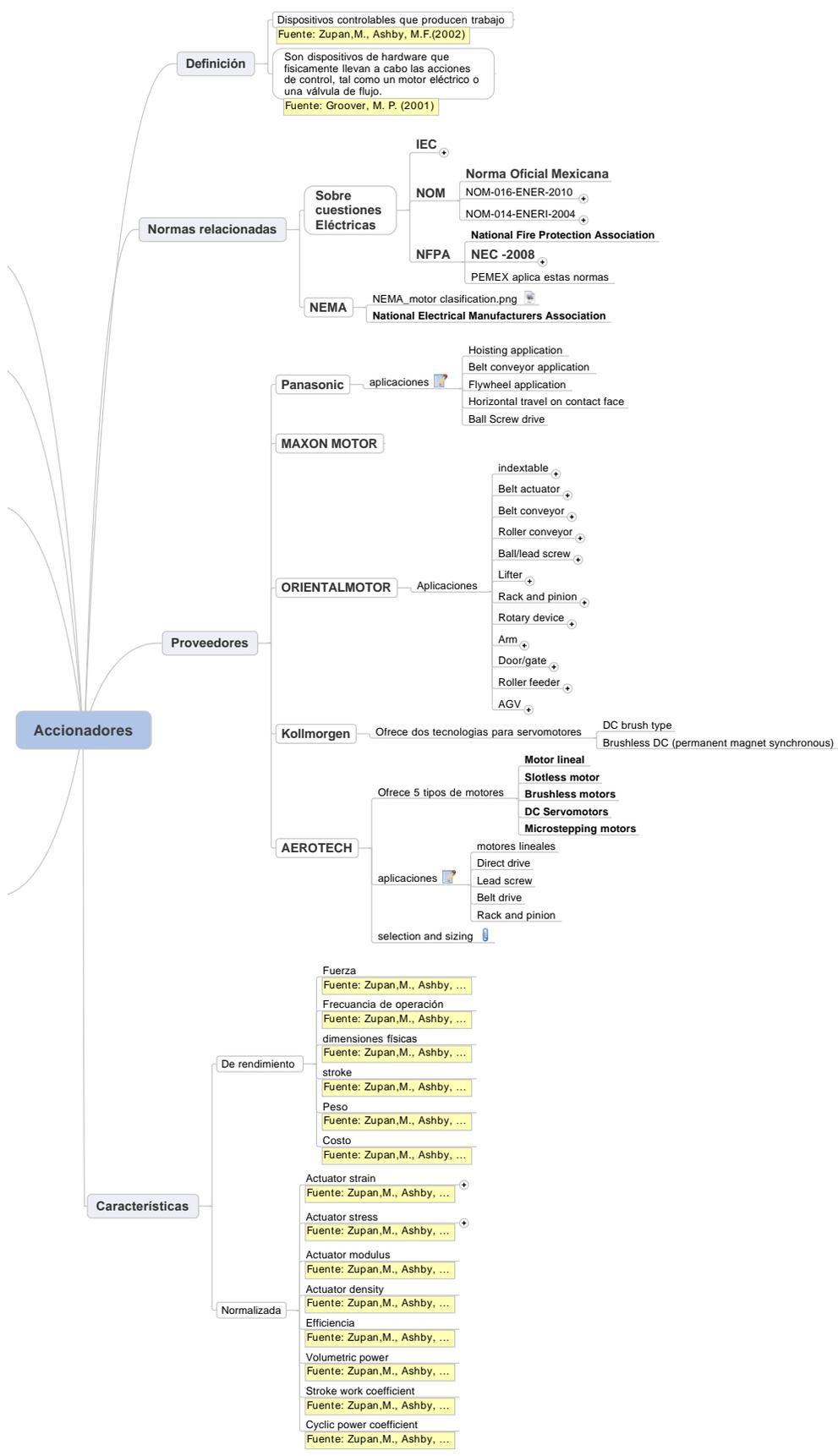
Estas lanzan 2 dimensiones máximas aceptables:

opción	largo (cm)	profundidad (cm)	altura (cm)
dimension de anaquel 1	170.5	54.5	85.3
dimension de anaquel 2	212.5	44.5	85.3

Por razones de costos, en primera instancia se optará por la dimensión de anaquel 1. En este momento de desarrollo del proyecto, se buscará que la máquina se pueda expandir a una dimensión 2 o más.

# 8.13 Anexo 13: Recopilación teórica sobre los accionadores: Mapa mental





## 8.14 Anexo 14: Tabla comparativa de ventajas, desventajas y características de mecanismos de accionamiento

Comparación de los mecanismos de accionamiento						
Tipo	Ventajas	Desventajas	Costo	Carga	Capacidad de torque	Estabilidad
Belt type	Belt and pulley	Belts have numerous advantages over other means of power transmission; overall economy, cleanliness, no need for lubrication, lower maintenance costs, easy installation, dampening of shock loads, and the ability to be used for clutching and variable speed power transmission between widely spaced shafts. Timing belts: high-torque applications with high and low speeds but belt drive system typically cost more initially than those of a comparable standard roller chain or V-belt drive.	Tipicamente su fuerza de empuje (thrust capability) está limitado al (Tensile strength) de la banda. Precisión y repetibilidad decrecen con el uso y tiempo. El problema de la precisión aumenta con la longitud de la banda. No es una buena opción para maquinas de velocidades y precisión alta.	overall inexpensive	thrust force capability limited to the tensile strength of the belt. Thrust limited to these type of drives have to be light. Flat belts offer high load capacity. But they slip under excessive loads	Driving belt load capacities can be calculated from torque $T = F(d/2)$ , where T is the torque in in-lb, F is the force transmitted in lb, and d is the pulley diameter in inches, and horsepower HP = $T \times \text{rpm}/396,000$ .
Screw type	Screw type					
	lead screw		is an inefficient way of producing linear motion, which is typically less than 50 % of the output. Not a choice for high-duty-cycle because screw suffers from wear due to friction. Produces heat and wear because of friction. Ball screw type and lead screw type cannot achieve high linear speeds without compromising system resolution.	inexpensive.		To high a rotational speed can cause instability and vibration. This problem is magnified by length
	ball screw	lower backlash	Acme screws with plastic nuts generally have an initial lower cost. Bronze-nut acme screws offer lowest lead screw cost.	Ball screws are more expensive	loading and travel rates are lower than ballscrews can handle higher loading with higher travels	Generally require lower-torque motors than similarly sized ACME screws (leadscrews)
	planetary roller					
Rod type	Rod style					
	Rodless style	If the application calls for just a short move, the pushing action of an electric rod actuator could work.	Rod-style actuators don't provide much support to a load, and this lack of support just gets worse as the rod extends. The weight of the load can actually deflect the rod, causing wear and tear on seals and bearings and even leading to major positioning problems.			
	Rack and pinion		They guide and support the load throughout their stroke length. Rodless linear actuators also have a size advantage. Their entire stroke length is contained in their body rather than having a piston that extends out from the body. That can mean a footprint that's up to 34% smaller! A considerable space savings in a machine or system.	falta de precisión y repetibilidad. The gearbox and pinion gear will have bi-directional inaccuracies and, over time, wear will increase the problem.	Has more thrust capability compared to belt and pulley	Mechanically stiffer than belt and pulley.
	Motor lineal	No backlash or windup. Settling time is unchallenged. (según robot bootcamp: no necesita suministro de energía para mantener una posición). Even as the mechanics wear over time, the direct coupled linear motor and encoder will always provide the most accurate positioning. Low friction device	A disadvantage with linear motors is they are not inherently suitable for use in a vertical axis. Due to its noncontact operation, if the motor is shut down any load that has been held vertically would be allowed to fall. There are also no failsafe mechanical brakes for linear motors at present. The only solution that some manufacturers have achieved is the use of an air counterbalance.	While cost was once a limitation in selecting linear motors, improved manufacturing methods and increasing volume have combined to make the expense of a linear motor solution comparable with a typical screw and motor alternative.	typical linear motor can produce several thousand newtons of thrust force and still not compromise performance	Muy estable
	Sprockets and chain			Costo inicial es relativamente bajo, pero costos de mantenimiento aumentan		High torque in a small package

Tipo	Pesicion (Accuracy)	Repetibilidad	Durabilidad	Aceleración	Velocidad	Mantenimiento	Eficiencia
Belt type	Belt and pulley	Decrece conforme se gasta la banda	Decrece conforme se gasta la banda. "Lo mejor que se puede obtener de repetibilidad de posicion es alrededor de 25 a 50 µm"(AEROTECH)	the service life of a properly installed and maintained V-belt drive ranges from 20,000 to 25,000 hours.	Decrece junto con la precision. Ideal speed for flatbelts range from 3,000 to 10,000 ft/min (15.25 to 50.8 m/s)	(v-belts )need periodic retensioning. Operate without lubricants	efficiency is generally greater than 98% compared with 96% for V-belts.V-belts use energy more efficiently than roller chain. Due to belt slippage, they lose up to 5 percent of their efficiency after installation. V-belts stretch as they wear, making slippage worse, which can decrease efficiency by as much as 10 percent unless corrected by periodic retensioning. Timming belts (synchronous belt drives ) are high efficient (99%)and have lower energy costs compared with roller chain or V-belt drives.
Screw type	Screw type	inacurate (eso lo dice AEROTECH). Pero the mechanical handbook dice que son buenos para el control preciso (precise control using electrical motors) usando motores eléctricos.	not good				Ball screws generally require lower-torque motors than similarly sized. Acme screws due to their higher efficiency in concerting energy into linear movement. This efficiency is generally above 90 per cent compared to 40 per cent for Acme screws with plastic nuts and 25 per cent for acme screws with bronze-nuts.
	lead screw	buena (según machinernys handbook)				lubrication requirements are higher.	40 % for Acme screws with plastic nuts and 25 %for acme screws with bronze-nuts
	ball screw	buena (según machinernys handbook)	ball screw assemblies exhibit a lower degradation in positional accuracy over time due to wear on the contact surfaces				90%
	planetary roller						
	Rod style						
	Rod type						
	Rodless style	superior			superior speed control		
	Rack and pinion						
	Motor lineal	Alta precision. Puede posicionar una carda dentro de .1 µm o mejor. Para aplicaciones de mediana y alta precision		higher acceleration compared to the other mechanical systems	hasta 10 m/s	casi nulo	
	Sprockets and chain		en teoria, se calcula que duren 15,000 hrs d uso. Sin embargo rara vez lo alcanzan porque esta vida es considerando mantenimiento, alineacion, y lubricacion apropiada. Sin lubricar dura poco. (100 hrs)			medio-alto. Necesita lubricacion. Retensionado continuo	

Tipo	Ambiente	Sensor de posicion	accesorios y extras	notas
Belt type	Belt and pulley	/	Pulley width is usually about 10 per cent larger than the belt, and for good tracking, pulleys are often crowned by 0.012-0.10 inch (0.305-2.54 mm) for diameters in the range of 1.5-80 inches(3.8-203 cm).	Classical V-belts are most commonly used in heavy-duty applications and include these standard cross sections: A, AX, BX, C, CX, D, and DX. Variable Speed Belts ANSI RMA IP-25; for drives that need speed variation. Synchronous Belts ANSI RMA IP-24.—Synchronous belts are also known as timing or positive-drive belts. These belts have evenly spaced teeth on their surfaces, which mesh with teeth on pulleys or sprockets to produce a positive, no-slip transmission of power, quiet operation
Screw type	Screw type			Probablemente es el mecanismo de conversion de movimiento rotacional a lineal mas usado (both lead screws and ball screws)
	lead screw			Acme leadscrews, much like machine screws, are threaded to allow a mating nut to be pushed or pulled along the axis of the screw as the shaft is rotated
	ball screw			
	planetary roller			
	Rod style			
Rod type				
	Rodless style			
	Rack and pinion			As with the belt and pulley, backlash in the system prevents the encoder on the motor from detecting the actual load position. The backlash in the gears not only leads to inaccuracy but also causes instability in the servosystem, forcing lower gains and slower overall performance.
Motor lineal	Environmental conditions must be considered. The motor cannot be sealed to the same degree as a rotary motor.	Linear encoders are often used	Basic additional elements for brushless linear motors are the servo drive or amplifier with its commutation system, feedbacksystem and linear bearings that support the load to be driven. Need motor power and encoder cable management. Over travel limit switches, datum or home switches and Mechanical protection devices such as hard stops may also be desirable. Braking may be required for power-loss or power-off conditions.	In conclusion, where loads are not excessive and the driven axis is horizontal, the linear motor has many advantages over traditional traslational mechanical devices. Consideration should be given to motor cooling to increase performance and improve thermal stability.
	Sprockets and chain			

Nota. Fuente: Elaboración propia

## 8.15 Anexo 15: Cálculos derivados de los mecanismos de accionamiento posibles (cálculo de torque e inercia)

	Peso a soportar por el motor (kg)	Actuador	Distancia de recorrido (cm)	Velocidad de traslación requerida (cm/s)	Factor de distancia de recorrido a velocidad constante	Distancia de recorrido de velocidad constante (cm)	Tiempo de recorrido (s)	Aceleración (cm/s <sup>2</sup> )	pitch o Diámetro polea de accionamiento (cm)	$\eta$ Velocidad de rotación (rpm)	$\omega$ Velocidad angular (rad/s)
X	53.80237816	Tornillo movil	2010.8	10	0.5	1005.4	301.62	0.0994629	0.4	1500	157.08
X	53.80237816	tornillo movil con husillo de bolas	2010.8	10	0.5	1005.4	301.62	0.0994629	0.4	1500	157.08
X	53.80237816	piñon y cremallera	2010.8	10	0.5	1005.4	301.62	0.0994629			
Y	32.31964921	mecanismo de izado con cables y poleas	82.7	5	0.3333333	27.56666667	16.54	0.9068924			
Y	32.31964921	Tornillo móvil	82.7	5	0.3333333	27.56666667	16.54	0.9068924	0.4	750	78.54
Z	27.75964921	Tornillo móvil	38	5	0.3333333	12.66666667	7.6	1.9736842	0.2	1500	157.08
Z	27.75964921	Horquilla telescópica	38	5	0.3333333	12.66666667	7.6	1.9736842			
Z	27.75964921	gripper montacargas y cilindro sin vástago	38	5	0.3333333	12.66666667	7.6	1.9736842	0.4	750	78.54

	$\alpha$ Aceleración angular	$\mu$ Coeficiente de fricción	Fuerza de aceleración (N)	Fuerza de fricción (N)	Fuerza Total (N)	Potencia lineal (watts)	Torque (joule)	Power (watts)	Inercia de carga (kg <sup>2</sup> m <sup>2</sup> )	Inercia del mecanismo (kg <sup>2</sup> m <sup>2</sup> )	Inercia del sistema (kg <sup>2</sup> m <sup>2</sup> )	Inercia del sistema (kg <sup>2</sup> m <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
X	14.91944	0.25	0.053513406	13.45059454	-13.39708113	1.33970811	27.4012621	4304.19025	2.19514E-05	0.001022061	10.43866161	0.250021951
X	14.91944	0.04	0.053513406	2.152095126	-2.098581721	0.20985817	90.9807531	14291.2567	0.000137196	0.002495266	25.17071246	0.040137196
X	0		0.053513406	0	0.053513406	0.00535134	0	0	0	0	0	0
Y	0		0.293104437	317.0557587	-316.7626543	15.8381327	0	0	0	0	0	0
Y	136.0339	0.3	0.293104437	317.0557587	-316.7626543	15.8381327	0.2016569	15.8381327	1.30986E-05	0.000102625	1.157236756	0.300013099
Z	592.1053	0.3	0.547887813	8.327894762	-7.780006949	0.38900035	0.00247645	0.38900035	2.83148E-06	2.94721E-06	0.057598409	8.49445E-07
Z	0						0	0	0	0	0	0
Z	296.0526	0.4	0.628	11.10385968	209.55	10.4775	15.0644762	1183.16396	2.17229E-05	0	0.112505094	0.4

Nota: Las hileras de la tabla representadas con un achurado, se eliminaron porque posteriormente se halló que serían una opción poco eficiente debido a las dimensiones y cargas que se estarían manejando en el AS/RS por diseñar. Fuente: Elaboración propia

## 8.16 Anexo 16: Número de combinaciones de concepto posibles

### Número de combinaciones de conceptos posibles

Parte	Cuestión	Número de conceptos generados
unidad de carga	palet	2
unidad de carga	dimensiones de unidad de carga	2
		4
general	distribuciones posibles de AS/RS	3
		3
anaquel	concepto de anaquel	4
		4
máquina de almacenado/retiro	grados de libertad (de tres a cuatro)	3
máquina de almacenado/retiro	numero de columnas	2
máquina de almacenado/retiro	end effector posibles	4
máquina de almacenado/retiro	transmisión en x	6
máquina de almacenado/retiro	transmisión en y	3
máquina de almacenado/retiro	transmisión en z	4
máquina de almacenado/retiro	transmision en giro	2
máquina de almacenado/retiro	Con accionador fijo/con posibilidad de cambio de accionador	2
		3456
punto de entrada/salida	ubicaciones posibles	5
		5
pasillo	Expandible o no expandible	2
pasillo	Con guia de movimiento/2 guías de movimiento/1 guia de movimiento con posibilidad de 2	3
pasillo	Sin estructura exterior o dentro de una estructura	2
		12
Unidad de control	conceptos de unidad de control	4
mesa de trabajo	conceptos de mesa de trabajo (fija o variable)	2
<b>Conceptos diferentes posibles</b>		<b>79626240</b>
<b>Mínimos conceptos diferentes posibles(sin contar eleccion de mecanismos de transmisión)</b>		<b>552960</b>

## 8.17 Anexo 17: Consideraciones para la aproximación del presupuesto.

### Cotización solicitada a la empresa Boschrexroth

PIEZA	MEDIDAS	LONGITUD	CANT.	PRECIO	LONGITUD DE UNIDAD	PRECIO UNITARIO
Tuerca martillo	10 (M8)		110	0.8		0.8
Perfil de aluminio extruido	45 X 60	2485	3	222.29	5600	0.039694643
Perfil de aluminio extruido	45 X 60	1560	4			
Perfil de aluminio extruido	45 x 60	717	3			
Perfil de aluminio extruido	60x60	1560	5	184.79	5600	0.032998214
Perfil de aluminio extruido	60x60	385	37			
Perfil de aluminio extruido	60x60	518.4	6			
Perfil de aluminio extruido	60x60	2485	1			
Perfil de aluminio extruido	60x60	1560	2			
Perfil de aluminio extruido	20 x 20	530	8	21.45	3000	0.00715
Perfil de aluminio extruido	20 x 20	345.15	6			
Perfil de aluminio extruido	20 x 20	1027	4			
Perfil de aluminio extruido	20 x 20		28			
Perfil para puertas corredizas al clip superior				105.36	5,600	0.018814286
Perfil para puertas corredizas al clip inferior		2365	2			
Tapa de perfil	60x60		24	2.96		2.96
Escuadra interior	ranura 10/10		31	4.14		4.14
Empalmador de perfiles	180	180	2			
Escuadra de union	60/60 ranura 10		12	12.92		12.92
Cojinete giratorio			2	36.11		
Perfil de aluminio extruido	40 x 40	250	3	103.69	6070	0.017082372
Articulacion de soporte	40 x 40		2	36.11		36.11

### Precios Unitarios

MATERIAL	FORMA DE VENTA	UNIDAD	PRECIO (mxn)	Precio unitario
Tornillos de montaje y tuercas jaula M6 Rack	CAJA	50	879.00	17.58
hoja de lámina de acero	Plancha lisa 1000x3000x1mm	1		
Acrilico				
Lamina de polipropileno				
lámina de acero galvanizado calibre 28	m2	1	99.58	99.58
lámina de acero galvanizado calibre 24	m2	1	83.21	83.21
escuadra de acero 60 x 60	unidad	1	1076.40	1076.40
perfil "L de acero	ml	6 m	14554.80	2425.80
aluminio 6061	kg	1	18.04	18.04
lamina de pvc de .2pulg				
vidrio 3mm	m2	1	144.39	144.39
lámina de acero galvanizado calibre 18	lámina (1.22 m x 2.44 m) =2.9768 m2	1	349.54	117.42

## Cálculos realizados

MARCA	PIEZA	MEDIDAS	LONGITU	PESO	M <sup>2</sup>	CANTIDA	PRECIO UNIT	PRECIO
Boschrexroth	Perfil de aluminio extruido	60x60	1560			5	0.0329982	257.386071
Boschrexroth	Perfil de aluminio extruido	60x60	385			37	0.0329982	470.059563
Boschrexroth	Perfil de aluminio extruido	60x60	518.4			6	0.0329982	102.637646
Boschrexroth	Perfil de aluminio extruido	60x60	2485			1	0.0329982	82.0005625
Boschrexroth	Perfil de aluminio extruido	60x60	1560			2	0.0329982	102.954429
Boschrexroth	Perfil de aluminio extruido	45 X 60	2485			3	0.0396946	295.923563
Boschrexroth	Perfil de aluminio extruido	45 X 60	1560			4	0.0396946	247.694571
	Perfil para puertas corredizas al clip superior		2365			1	0.0188143	44.4957857
Boschrexroth	Perfil para puertas corredizas al clip inferior		2365			1	0.0188143	44.4957857
Boschrexroth	Tuerca martillo	10 (M8)				200	0.8	160
Boschrexroth	Tapa de perfil	60x60				24	2.96	71.04
Boschrexroth	Escuadra interior	ranura 10/10				31	4.14	128.34
Boschrexroth	Empalmador de perfiles	180	180			2		0
Boschrexroth	Escuadra de union	60/60 ranura 10				12	12.92	155.04
Boschrexroth	Perfil de aluminio extruido	45 x 60	717			3	0.0396946	0.11908393
Boschrexroth	Perfil de aluminio extruido	20 x 20	530			8	0.00715	0.0572
Boschrexroth	Perfil de aluminio extruido	20 x 20	345.15			6		0
Boschrexroth	Perfil de aluminio extruido	20 x 20	1027			4		0
Boschrexroth	Perfil de aluminio extruido	20 x 20				28		0
Boschrexroth	Cojinete giratorio					2	36.11	72.22
Boschrexroth	Perfil de aluminio extruido	40 x 40	250			3	0.0170823	0.0512469
Boschrexroth	Articulacion de soporte	40 x 40				2	36.11	72.22
propio	lengueta-lamina de acero 1mm, doblado					110		
	formed hex screw M6 x 1.0 x 16 -- 16 WN					110		
	arandela sencilla M6					110		
	perfil "L" de acero	70x 70	2473					66.79
	perfil "L" de acero	70x 70	338			2		9.125
	escuadra de acero inox	60 x 60				2		11.97
	lamina de acero galvanizado calit	70 x 2485				1		
	placa de acero calibre 16	80 x 447				4		
	formed hex screw M10 x 1.5 x 16 -- 16 N					25		
	solera de acero calibre 3	60 x	2345			1		
	acrilico de 6 mm	70mm x 2485 mm				5		
	polipropileno laminado brillante					1		
	Lámina de polipropileno de 1.2mm de grosor					1		
	tripay de madera de pino 3mm					1		
	polipropileno laminado brillante					2		
PBC LINEAR	IVT-ABK RAIL		2473			1		
PBC LINEAR	NL NIPD		2377			1		
ONTROL	PERFIL" DOBLE U" DE ALUMINIO	DIM. 10 X 16X	870	0.126		2	18.04	2.27304
ONTROL	Lámina de acero galvanizado, calibre 24	186 x 910			0.16926	2	83.21	28.1682492
ONTROL	Vidrio de 3 mm	520 x 437			0.23	2	144.39	65.6223672
ONTROL	Manija de puerta, HDPE					2		
ONTROL	Manija de puerta de (HDPE)					2		

	Lámina de aluminio calibre 24 recubierto de una lámina de pvc rígido de .02 pulg.	905 x 430			0.38915	1	99.58	38.751557
	Lámina de aluminio calibre 24 recubierto de una lámina de pvc rígido de .02 pulg.	570 x 385			0.21945	2	99.58	43.705662
	Lámina de aluminio calibre 24	370 x 952			0.35224	1	99.58	35.0760592
	lamina galvanizada de acero caibre 18	329.87 x 500			0.16926	1	117.42139	19.8747448
	soporte de pantalla	-	-			-		309
Baldor	motor x -MT-4090-BLYCE					1		23697.1644
Bodine electric	motor y -N1679					1		7691.52128
Panasonic	motor z- M4RA1G4L					1		942.936
PBC LINEAR	Guía lineal redondo Diam: 20mm. Material: Acero Inoxidable 440C		1473.23			4		
PBC LINEAR	Round Shaft Diam .5in_(NIL04-019_000)_PBCLinear	Diam. .5 pulg	477			2		

#### TOTALES

<b>SUBTOTAL DEL MATERIAL:</b>	<b>\$35268.71</b>	
SUBTOTAL DE PROCESOS Y MANO DE OBRA	\$10580.61	CÁLCULO:(SUBTOTAL) X UN FACTOR DE: .3
<b>SUBTOTAL DEL PROYECTO SIN MÁQUINA DE ALMACENAMIENTO Y RETIRO</b>	<b>\$45849.33</b>	CÁLCULO:(SUBTOTAL DE MATERIAL) + (SUBTOTAL DE MANO DE OBRA)
PORCENTAJE QUE REPRESENTA LA MÁQUINA DE ALMACENAMIENTO Y RETIRO EN EL TOTAL DEL PROYECTO	40.00%	SEGÚN LAS ENTREVISTAS, LA MÁQUINA DE ALMACENAMIENTO Y RETIRO REPRESENTA UN COSTO DEL 50% DEL PROYECTO. (RESTANDO 10 % PORQUE YA SE CUENTA EL PRECIO DE LOS MOTORES)
SUBTOTAL DE LA MÁQUINA DE ALMACENAMIENTO Y RETIRO	\$30566.22	
<b>TOTAL SISTEMA</b>	<b>\$76415.55</b>	76415.55