

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DISEÑO DE UN SISTEMA BUFFER PARA INCREMENTAR LA
CAPACIDAD DE PIEZAS TRANSPORTADAS POR UN ROBOTINO
FESTO EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de
BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA
MECATRÓNICA**

AUTOR:

Ruiz Navarro, José Alonso

ASESOR:

Portella Delgado, Jhon Manuel

COASESOR:

Cabrera Donayre, Rony Martin

Lima, junio del 2020

Resumen

El siguiente trabajo presenta la aplicación de la metodología VDI 2206 para el diseño de un sistema buffer para incrementar la capacidad de almacenamiento de un Robotino de la marca Festo teniendo en cuenta su aplicación dentro del laboratorio de automatización en el pabellón O.

Para realizar el objetivo planteado, se realizó la búsqueda de información o estado del arte del problema. Posteriormente se planteó la lista de exigencias que debe cumplir el diseño conceptual del sistema.

Se procede a abstraer el sistema como una caja negra, de la cual se aprecian solamente las entradas y salidas tanto en materia, información y energía. Luego, se realiza la estructura de funciones, en el cual el sistema es separado en diferentes subsistemas, los cuales son disgregados en funciones específicas las cuales pertenecen cada una a un subsistema. Se describen las relaciones entre dichas funciones al mostrar como la materia, información y energía “viaja” entre ellas.

Una vez descrita la estructura de funciones, se plantea la matriz morfológica en la cual se muestra diferentes posibilidades para cada una de las funciones de la estructura de funciones. Realizando diferentes combinaciones de dichas posibilidades se obtiene tres diferentes conceptos de solución, los cuales son evaluados para determinar el concepto de solución óptimo.

AGRADECIMIENTOS

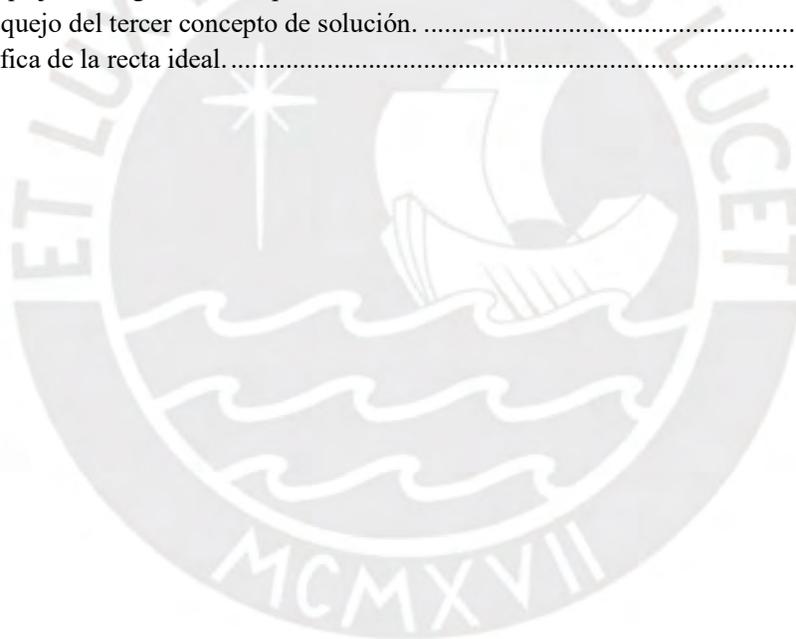
La vida en general está llena de retos que nos impulsan constantemente a plantear nuestros objetivos y metas de vida. Es en la búsqueda de estas metas y lo que hacemos al respecto para realizarlas donde uno realmente se ve moldeado poco a poco, al mismo tiempo que uno atraviesa el camino que ha tomado, y es la sensación de estar cada vez un poco más cerca de las aspiraciones, lo que nos mantiene expectantes de lo que pueda pasar cada nuevo día. Es así como este trabajo es de gran importancia y valor personal que, me parece del atinado e indicado, agradecer a las personas que me han acompañado y apoyado en este camino.

A mi familia, por los consejos y enseñanzas de mis padres y hermanos, los cuales me han permitido enfrentar los desafíos que se han presentado. A mis amigos, especialmente a Eddy y Jhon, con los cuales he compartido muchas experiencias en esta carrera que nos han unido y el apoyo que me han dado siempre.

A mi asesor, Jhon Portella, y a mi coasesor, Rony Cabrera, quienes han sido pacientes y la ayuda sin la cual, este presente trabajo no sería posible.

Índice de figuras

Figura 1. Versiones del Robotino: Premium (izquierda) y Basic (derecha).	5
Figura 2. Fotografía de robots usados en la producción de carrocerías para automóviles.....	6
Figura 3. Imagen en la que se identifica dentro del ejemplo las tres etapas mencionadas arriba: gripping, moving y placing.	7
Figura 4. Imagen que muestra un ejemplo de programación en el software Robotino View proporcionada por el portal web de la empresa Festo.....	8
Figura 5. Fotograma en el cual se aprecia como el LBR iiwa reacciona cuando detecta una posible colisión.....	9
Figura 6. En esta imagen se aprecia como un KMR es controlado vía mando por un usuario.....	10
Figura 7. Imagen de un robot BMW. Este esta imagen se lo muestra sin carga y detenido después de detectar un obstáculo en su ruta.	11
Figura 8. Imagen de una flota de AGV extraída del propio artículo de RIA.	12
Figura 9. Blackbox que representa al sistema.....	15
Figura 10. Estructura de funciones.	17
Figura 11. Bosquejo del primer concepto de solución.....	25
Figura 12. Bosquejo del segundo concepto de solución.	27
Figura 13. Bosquejo del tercer concepto de solución.	28
Figura 14. Gráfica de la recta ideal.....	30



Índice de tablas

Tabla 1. Matriz morfológica del subsistema de control y procesamiento.....	18
Tabla 2. Matriz morfológica del subsistema de control.....	19
Tabla 3 Matriz morfológica del subsistema de energía.	20
Tabla 4. Matriz morfológica del subsistema de medición.	21
Tabla 5. Matriz morfológica del subsistema de actuación.....	22
Tabla 6. Matriz morfológica del subsistema físico.....	23
Tabla 7. Evaluación técnica.....	29
Tabla 8. Evaluación económica.....	29



Índice de Contenido

Introducción.....	1
1. Estado del arte.....	4
1.1. Robotino.....	4
1.2. Sujeción y Manipulación de piezas.....	5
1.3. Robotino View	7
1.4. KMR iiwa.....	9
1.5. BMW Group introduces self-driving robots in Supply Logistics	10
1.6. Logistics Robots: Aplicaciones de la robótica en la intralogística.....	11
2. Diseño Conceptual.....	13
2.1. Lista de exigencias.....	13
2.2. Blackbox	15
2.3. Estructura de funciones.....	16
2.4. Matriz morfológica	18
2.4.1. Subsistema de Control y Procesamiento.....	18
2.4.2. Subsistema de Control	19
2.4.3. Subsistema de Energía	20
2.4.4. Subsistema de Medición	21
2.4.5. Subsistema de Actuación	22
2.4.6. Subsistema Físico.....	23
2.5. Conceptos de Solución.....	24
2.5.1. Concepto de Solución 1	24
2.5.2. Concepto de Solución 2	26
2.5.3. Concepto de Solución 3	28
2.6. Concepto de solución óptimo.....	29
4. Conclusiones.....	31
5. Referencias.....	32

Introducción

El interés por usar sistemas mecatrónicos en la industria es cada vez mayor, o como es mencionado en el artículo de Forbes “The Role of Robots In Industry 4.0”:

“...muchos - sino la mayoría - opta por usar máquinas avanzadas para acelerar la transformación digital de sus operaciones...” (Lawton, 2018).

Esto requiere evidentemente la existencia de profesionales capaces de hacer uso de este tipo de tecnologías. Consecuencia de ello hay empresas tales como Festo, la cual mediante su área llamada “Festo Didactic”, proveen a centros de estudio de equipos para la formación integral en áreas relativas a la automatización industrial (Festo, 2019). Dentro de los diversos equipos que proveen se encuentran unos equipos en robótica móvil, denominados comercialmente bajo el nombre de “Robotino”.

El Laboratorio de Automatización ubicado en el pabellón O (Campus Pando - PUCP) hace uso de equipos mecatrónicos para la enseñanza de procesos automatizados de producción. Entre dichos equipos se puede identificar la implementación de dos Robotino Festo, versión Premium, interactuando en conjunto con otros equipos del laboratorio, también provistos por la empresa Festo.

El Robotino es usado principalmente por su capacidad de ser móvil, como medio para el transporte de elementos o piezas de trabajo entre las diferentes estaciones modulares que se ubican en el laboratorio. Para cumplir dicha función, el Robotino hace uso de un gripper, el cual le permite el almacenamiento temporal de un elemento para su transporte a la siguiente estación; sin embargo, la capacidad de dicho sistema está limitado al almacenamiento y traslado de un (1) elemento o pieza de trabajo. Esto podría representar un inconveniente; ya que, para el transporte de múltiples elementos de una estación a otra, el tiempo que la unidad móvil se

encuentra no disponible se ve severamente incrementado, todo esto debido a que el Robotino debe realizar varias veces el circuito que necesita para el transporte de dichos elementos. Esto último significa también, que la cantidad de elementos o piezas que se pueden producir durante una sesión de laboratorio está limitada, entre otras cosas, a la capacidad que tiene los sistemas móviles para su almacenamiento y transporte.

La presente tesis propone el diseño de un sistema buffer con capacidad de almacenamiento superior al actual. Dicho diseño se realizará pensando en que pueda ser implementado sobre un Robotino de la empresa Festo.

Objetivo general

El objetivo es diseñar un sistema buffer para almacenar entre una (1) y cuatro (4) piezas de trabajo usadas en el laboratorio O-302 de ingeniería industrial, teniendo en cuenta los procesos de recepción, almacenamiento temporal y expulsión de estas. El diseño contempla las restricciones de hardware y programación del Robotino, para su posible instalación sobre la torre de montaje de este.

Objetivos Específicos

- Elaborar el estado del arte sobre soluciones a problemáticas similares.
- Establecer las exigencias y las restricciones que atañen a la solución.
- Elaborar la estructura de funciones del sistema.
- Elaborar la matriz morfológica para los diferentes subsistemas basados en la estructura de funciones elaborada previamente.
- Plantear diferentes soluciones conceptuales.
- Elaborar el proceso de elección entre los conceptos planteados.

Los alcances del proyecto incluyen el diseño mecánico del concepto de solución óptimo. Asimismo, se incluyen la selección de los actuadores y sensores. Además, se incluye la selección o diseño de hardware necesario para el uso de los actuadores y sensores.

Adicionalmente, se programará la comunicación del sistema con la red del laboratorio, la interfaz de usuario para la configuración del sistema.

El cliente del proyecto es la Pontificia Universidad Católica del Perú, ya que el diseño está pensado como una propuesta de mejora de un equipo de enseñanza ubicado en el Laboratorio de Automatización.

El beneficiario final del proyecto es cualquier estudiante o docente que haga uso del equipamiento ubicado en el Laboratorio de Automatización.



1. Estado del arte

En este capítulo se realiza la búsqueda de información que nos permita tener conocimiento sobre áreas relacionadas con el problema y poder plantear posteriormente soluciones al problema.

1.1. Robotino

La empresa Festo provee el producto llamado Robotino, cuyo uso está orientado a la investigación y a la enseñanza. Este cuenta con tres grupos de accionamiento omnidireccional, permitiendo al Robotino desplazarse en todas las direcciones del plano. Asimismo, el Robotino cuenta con varios sensores, dentro de los cuales se pueden encontrar nueve sensores de distancia infrarrojos, un sensor inductivo, dos sensores ópticos y una cámara de Full HD 1080p. Adicionalmente, el Robotino permite la instalación de una torre de montaje, la cual le habilita mecánicamente la instalación de equipos adicionales sobre él. Respecto a su programación, el Robotino cuenta con su entorno de programación gráfica interactiva: Robotino View; sin embargo, cuenta con una interfaz, la cual permite que este sea programado en variedad de lenguajes desarrollados por terceros, tales como: C, C++, JAVA, entre otros. Cabe mencionar que el Robotino viene en dos presentaciones: Basic Edition y Premium Edition. La diferencia entre estas radica en “la capacidad de cálculo, el tamaño de la memoria interna y de la extensión mecánica” (Festo, 2019). Todo lo anterior mencionado le otorga al Robotino flexibilidad y versatilidad, lo cual lo hace un equipo capaz de mejorar varios laboratorios de enseñanza orientados a la automatización. La siguiente imagen expone de manera visual algunas de las diferencias físicas más evidentes entre las dos versiones.



Figura 1. Versiones del Robotino: Premium (izquierda) y Basic (derecha).

Tomado de “Robotino: Plataforma de robot móvil para investigación y formación” por la empresa Festo, 2019.

1.2. Sujeción y Manipulación de piezas

En la actualidad, la actividad productiva puede hacer uso de trabajo manual o automatizado. En el caso de la actividad automatizada, esta requiere muchas veces simular las capacidades que posee una persona realizando trabajo manual, como la capacidad de modificar una pieza o el poder manipularla. Asimismo, la automatización busca vencer limitantes físicas del trabajo manual. Máquinas tales como robots son usadas porque pueden realizar labores a un mejor grado de lo que los humanos pueden de manera manual, labores como: cargar objetos más pesados y movimientos rutinarios a mayor velocidad.

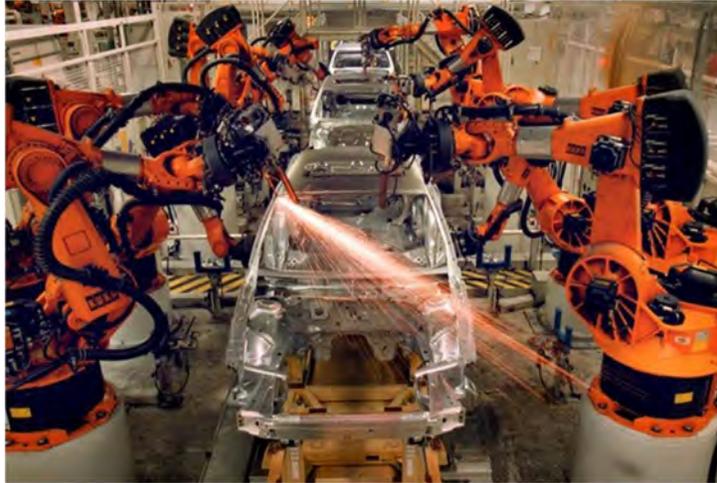


Figura 2. Fotografía de robots usados en la producción de carrocerías para automóviles.

Tomado de “From Android to automatons: Rubin’s robots are Googles next moonshot”, escrito por Mark Hachman, 2013.

La sujeción de piezas (en inglés “handling process”) es importante en estas actividades, ya que permite mover a la pieza en cierta posición o ubicarla para que se realice modificaciones en esta. El handling process se puede separar en varias etapas, pero fundamentalmente en tres: sujeción (gripping), desplazamiento (moving) y ubicación (placing) (Grippers in Motion, 2005).

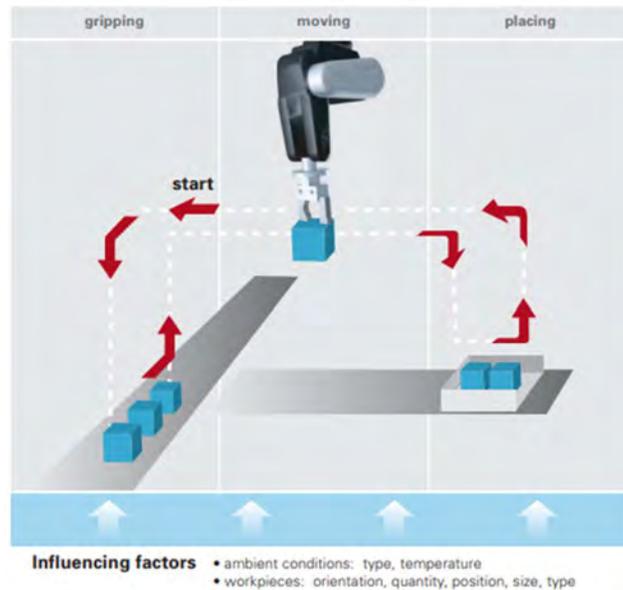


Figura 3. Imagen en la que se identifica dentro del ejemplo las tres etapas mencionadas arriba: gripping, moving y placing.

Tomado de "Grippers in Motion", por los autores Wolf, Steinmann y Schunk, 2005.

La realización del gripping dependerá de la pieza, así como de las características de esta y de las condiciones en la que se encuentra (por ejemplo, su orientación y ubicación durante el "set-up" de la pieza). Mientras tanto, el moving dependerá dentro de otras cosas de la combinación pieza-gripper (Grippers in Motion, 2005).

Ambas actividades están estrechamente relacionadas y afectan la una a la otra. De la misma manera, ambas actividades están sometidas a las mismas condiciones ambientales.

1.3. Robotino View

Es un entorno de programación diseñado por la empresa Festo para el uso del Robotino. Dentro de Robotino View se maneja la programación secuencial estandarizada GRAFCET según DIN EN 61131 (Festo, 2019).

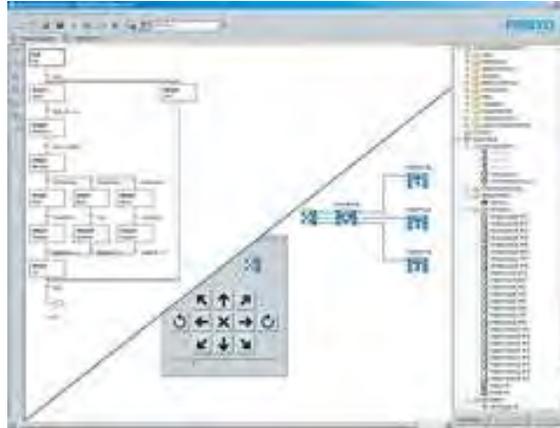


Figura 4. Imagen que muestra un ejemplo de programación en el software Robotino View proporcionada por el portal web de la empresa Festo.

Tomado de "Robotino View", por la empresa Festo en su área de Festo Didactic.

El software le permite al usuario el uso de múltiples equipos, así como bloques para el control de los motores del Robotino y sus sensores. Además, está habilitado para la programación en lenguaje C++ de bloques personalizados por parte del usuario, si es que este desea desarrollar actividades diferentes a las predeterminadas.

1.4. KMR iiwa

En el mercado existe el robot “KMR iiwa” del fabricante KUKA. El robot autónomo KMR iiwa (KUKA Mobile Robotik) es móvil y apto para la cooperación hombre-robot. KMR iiwa es la combinación del robot de estructura liviana “LBR iiwa” con una plataforma móvil (KUKA, 2019).

El LBR iiwa (del alemán “Leichtbauroboter” y del inglés “industrial intelligent work assistant”) es el primer robot fabricado en serie con capacidad sensitiva, lo cual lo convierte en el primero preparado para la colaboración entre personas y robots. La empresa KUKA (2019) afirma del robot: “Por primera vez, los hombres y los robots pueden realizar en estrecha colaboración las tareas más sensibles. Se crean nuevas zonas de trabajo y se deja espacio libre para una mayor rentabilidad y eficiencia.” El robot sensitivo y colaborativo, LBR iiwa, está disponible en dos variantes con capacidades de carga de 7 y 14 kg. Debido a su tiempo de reacción, el LBR es capaz de manipular elementos sensibles sin dañarlos, detectar los contornos para determinar la posición de montaje correcta y aprender posiciones indicadas por el usuario.



Figura 5. Fotograma en el cual se aprecia como el LBR iiwa reacciona cuando detecta una posible colisión.

Extraído del video “LBR iiwa - Speed and Sensitivity” realizado por la empresa KUKA.

Habiendo descrito el LBR iiwa, se puede pasar a detallar sobre el KMR iiwa. Al ser la combinación del LBR iiwa con una plataforma móvil, el KMR iiwa es considerado por KUKA (2019) “independiente en cuanto al espacio y muy flexible, el requisito ideal para las exigencias de Industrie 4.0.”. Es combinable, ya que se puede crear varias soluciones personalizadas; autónomo, ya que cuenta con sensores que le permiten detenerse al detectar la presencia de una persona.



Figura 6. En esta imagen se aprecia como un KMR es controlado vía mando por un usuario.

Tomado de la página “KMR iiwa” realizado por la empresa KUKA, 2019.

1.5. BMW Group introduces self-driving robots in Supply Logistics

En el salón de “Supply Logistics” de la planta en Wackersdorf perteneciente a la empresa BMW, el sistema es descrito como muy complicado y difícil de entender al momento de ubicarse y orientarse dentro del mismo. Es en respuesta a ello que ahora se hace uso de un nuevo robot autónomo por parte de la empresa, el cual cuenta con radio transmisores y un mapa digital (BMWGroup, 2016). Los radiotransmisores le permiten calcular su posición y su ruta, pudiendo compartir ruta con otros robots y personas. BMW planea el implementarlo con una

cámara, y así lograr una mejor navegación. Así el robot podrá ser capaz de moverse libremente, en vez de estar ceñido de navegar sobre una pista mecánica.



Figura 7. Imagen de un robot BMW. Este esta imagen se lo muestra sin carga y detenido después de detectar un obstáculo en su ruta.

Tomado del artículo “BMW Group introduces self-driving robots in Supply Logistics” por la empresa BMW, 2016.

1.6. Logistics Robots: Aplicaciones de la robótica en la intralogística

Un artículo emitido en el portal web de RIA (Robotic Industries Association) da información sobre los llamados “robots logísticos” y el impacto que estos tienen actualmente sobre varias empresas. Los robots de logística o robots logísticos automatizan el proceso de guardar bienes al mismo tiempo que se abren paso en otras partes de la cadena de suministros. Estos son usualmente usados en almacenes para organizar y transportar productos (un proceso llamado intralogística), pero sus capacidades les otorgan la suficiente flexibilidad para que su uso se pueda aplicar en un espectro más amplio de actividades (RIA, 2019). Las ventajas potenciales del uso de robots en aplicaciones de logística son, en varios aspectos, superiores al del trabajo manual o mano de obra humana; ventajas tales como una mayor productividad y rentabilidad.

El principal uso que se le da a los robots logísticos es el uso de vehículos guiados automatizados móviles (AGV por sus siglas en inglés) en instalaciones encargadas del almacenamiento de bienes o para el transporte de mercancías. Normalmente, estos robots son programados para moverse y operar de manera continua dentro de rutas ya preestablecidas, logrando así desempeñar en su rol una disminución de los costos en materia de intralogística y la coordinación de la cadena de suministros. Ejemplos adicionales sobre el uso de robots logísticos incluyen brazos robóticos para clasificar artículos; AGV para realizar operaciones de transporte al aire libre; e incluso robots móviles en el comercio minorista que cuentan el inventario de estantes en tiempo real y tratan a la tienda como un mini-almacén (RIA, 2019).



Figura 8. Imagen de una flota de AGV extraída del propio artículo de RIA.

Tomado del artículo "Logistics Robots" en el portal Robotics Online, elaborado por Robotic Industries Association.

2. Diseño Conceptual

En este capítulo se sigue un procedimiento en el cual se determinan las exigencias que debe cumplir el sistema, las funciones internas que conforman el sistema y posteriormente concebir tres conceptos de solución.

2.1. Lista de exigencias

<p>PROYECTO</p> <p>Diseño de un sistema buffer para el almacenamiento de múltiples elementos sobre la torre de montaje de un Robotino Festo.</p>
<p>FUNCIÓN PRINCIPAL</p> <p>Recepción de elementos para poder almacenarlos temporal y posteriormente entregarlos a una siguiente estación de las ubicadas en el Laboratorio de Automatización.</p>
<p>GEOMETRÍA</p> <p>Las dimensiones máximas del sistema son limitadas por las propias dimensiones de la torre de montaje instalada en el Robotino. Esto se resume en que la estructura que una al sistema con la torre de montaje no debe cubrir un área mayor a la de un círculo de 40 cm de diámetro. Asimismo, la altura a la cual se realiza la recepción y entrega de las piezas se realiza a una altura de 13 cm por encima del nivel de la torre de montaje.</p>
<p>CINEMÁTICA</p> <p>El sistema buffer será capaz de llevar un elemento a la zona de almacenamiento en un tiempo no mayor de 10 segundos, contados desde la recepción del elemento. De igual manera, el sistema podrá expulsar un elemento, trayéndolo desde la zona de almacenamiento en un tiempo no mayor a 10 segundos, contados desde el arribo a la siguiente estación.</p>
<p>ENERGÍA</p> <p>Los actuadores y sensores que se usen ven su consumo energético limitado a las características eléctricas del Robotino.</p>
<p>ELECTRÓNICA</p> <p>La electrónica del sistema debe permitir la comunicación inalámbrica con el Robotino sobre el que se instale. Asimismo, debe ser capaz de procesar las</p>

instrucciones que se le envíen para poder ejecutarlas.
<p>FUERZAS</p> <p>Un Robotino sin la torre de montaje puede soportar una carga máxima de 30 kg. El peso máximo de un elemento es de 100 g.</p>
<p>COMUNICACIONES</p> <p>La comunicación entre el controlador, los sensores y/o actuadores se realizará de manera alámbrica. De darse el caso en el que la comunicación alámbrica genere problemas en el diseño se implementará comunicación inalámbrica en donde se vea necesario y conveniente.</p> <p>El envío y recepción de información por parte del sistema hacia o desde otro dispositivo en el laboratorio será vía inalámbrica por medio de la red local del laboratorio.</p>
<p>MATERIA</p> <p>De entrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> • “Elementos”, que simulan ser componentes en una línea de producción, elaborados por la marca Festo, provenientes de una estación del Laboratorio de Automatización. <p>De salida:</p> <ul style="list-style-type: none"> • “Elementos”, que simulan ser componentes en una línea de producción, elaborados por la marca Festo, expulsados en una estación del Laboratorio de Automatización.
<p>SEÑALES (INFORMACIÓN)</p> <p>De entrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instrucciones desde el Robotino por medio de la red local instalada en el laboratorio. <p>De salida:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lectura de sensores hacia el Robotino por medio de la red local instalada en el laboratorio.
<p>PROGRAMACIÓN</p> <p>El sistema debe ser capaz de ser programado por el usuario por medio del software Robotino View (específicamente en la versión 3). Además, el sistema debe permitir (por medio del uso de una PC) que el usuario acceda a sus configuraciones.</p>
<p>PROGRAMACIÓN</p> <p>El sistema debe ser capaz de ser programado por el usuario por medio del software Robotino View (específicamente en la versión 3). Además, el sistema debe permitir (por medio del uso de una PC) que el usuario acceda a sus</p>

configuraciones.
CONTROL
El sistema debe controlar las fuerzas involucradas durante la manipulación de una pieza, de manera que se pueda preservar la integridad de esta.
FABRICACIÓN
La fabricación del sistema debe procurar usar medios y proveedores locales.
MANTENIMIENTO
La frecuencia del mantenimiento preventivo del sistema debe ser no mayor al del laboratorio: dos veces por semestre.
MONTAJE
El sistema debe ser capaz de ser montado; de manera que las modificaciones a la torre de montaje del Robotino sean nulas. El montaje debe procurar, en su mayoría usar la geometría del propio Robotino.
COSTO
El costo de fabricación del sistema no debe superar los 3000 soles.
PLAZO DE ENTREGA
El diseño del sistema debe, dentro del alcance planteado, ser finalizado y entregado al término del curso “Trabajo de fin de carrera 2”.

Nota: Elaboración propia.

2.2. Blackbox



Figura 9. Blackbox que representa al sistema.

Nota: Elaboración propia.

2.3. Estructura de funciones

La entrada “Instrucciones desde Robotino” hace referencia a una serie de comandos que el Robotino podrá enviar al sistema solicitando el accionamiento de algún actuador o el valor medido por alguno de los sensores en el sistema.



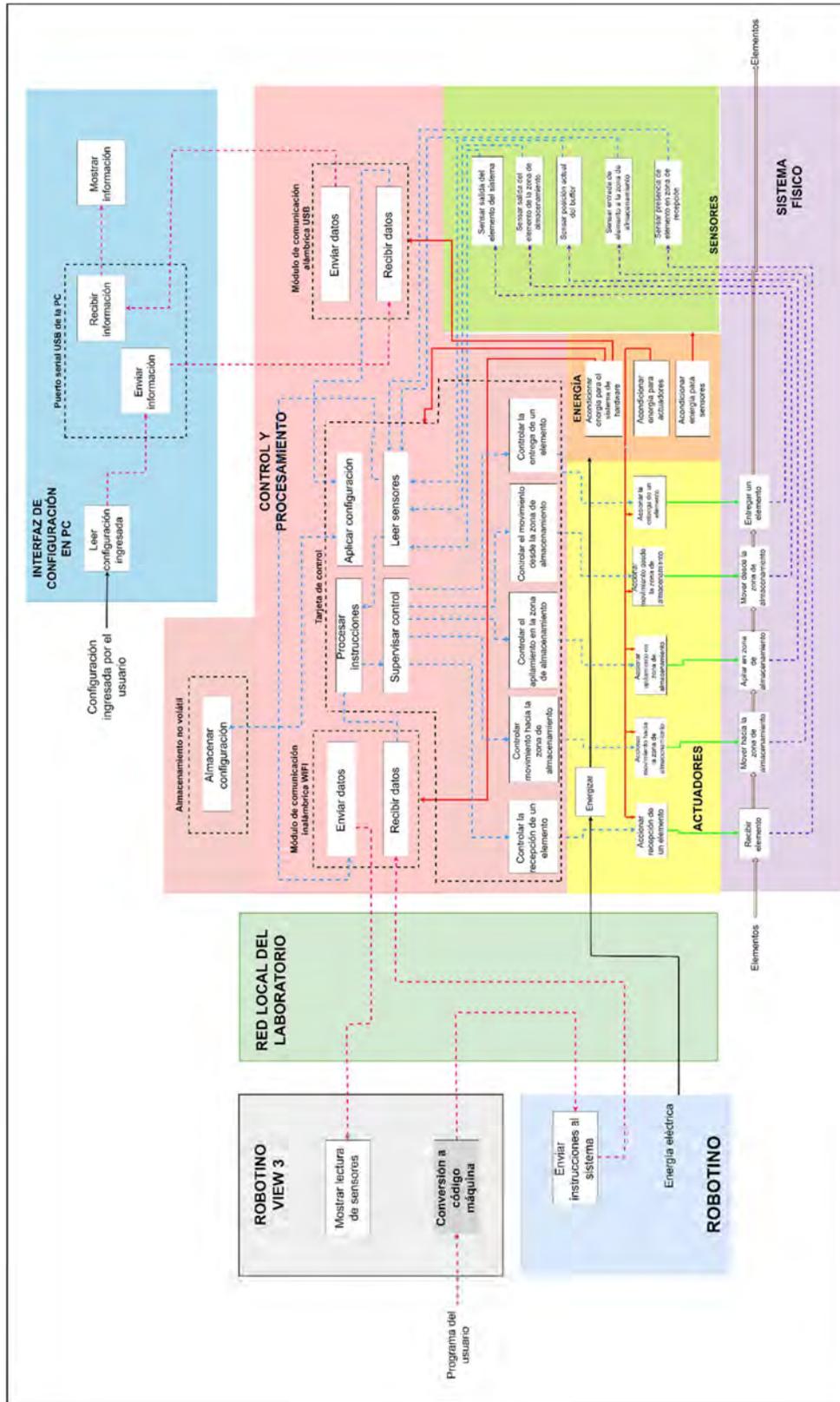


Figura 10. Estructura de funciones.

Nota: Elaboración propia

2.4. Matriz morfológica

A continuación, se presenta las diferentes matrices morfológicas para cada subsistema descrito, esto para facilitar las diferentes combinaciones: concepto de solución 1 (azul), concepto de solución 2 (verde) y concepto de solución 3 (rojo).

2.4.1. Subsistema de Control y Procesamiento

Tabla 1.
Matriz morfológica del subsistema de control y procesamiento.

Función		Principios de Solución	
Comunicación	Enviar datos alámbricamente hacia la PC del usuario	 Módulo de comunicación USB	
	Recibir datos alámbricamente desde la PC del usuario	 Módulo de comunicación USB	
	Enviar datos inalámbricamente por la red local	 Módulo de comunicación inalámbrica WIFI	
	Recibir datos inalámbricamente de red local	 Módulo de comunicación inalámbrica WIFI	
Almacenar configuración		 Unidad de memoria local	 Base de datos local
Procesar instrucciones		 Microcontrolador	

Nota: Elaboración propia.

2.4.2. Subsistema de Control

Tabla 2.

Matriz morfológica del subsistema de control.

Función	Principios de Solución		
Controlar la recepción de un elemento	$u = K_p e + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{\partial e}{\partial t}$ <p style="text-align: center;">Controlador PID</p>	$u = K_p e + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$ <p style="text-align: center;">Controlador PI</p>	$u = K_p e + K_d \frac{\partial e}{\partial t}$ <p style="text-align: center;">Controlador PD</p>
Controlar la entrega de un elemento	$u = K_p e + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{\partial e}{\partial t}$ <p style="text-align: center;">Controlador PID</p>	$u = K_p e + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$ <p style="text-align: center;">Controlador PI</p>	$u = K_p e + K_d \frac{\partial e}{\partial t}$ <p style="text-align: center;">Controlador PD</p>
Controlar movimiento hacia la zona de almacenamiento	$u = K_p e + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{\partial e}{\partial t}$ <p style="text-align: center;">Controlador PID</p>	$u = K_p e + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$ <p style="text-align: center;">Controlador PI</p>	$u = K_p e + K_d \frac{\partial e}{\partial t}$ <p style="text-align: center;">Controlador PD</p>
Controlar movimiento hacia la zona de almacenamiento	$u = K_p e + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{\partial e}{\partial t}$ <p style="text-align: center;">Controlador PID</p>	$u = K_p e + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$ <p style="text-align: center;">Controlador PI</p>	$u = K_p e + K_d \frac{\partial e}{\partial t}$ <p style="text-align: center;">Controlador PD</p>
Controlar apilamiento en la zona de almacenamiento	$u = K_p e + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{\partial e}{\partial t}$ <p style="text-align: center;">Controlador PID</p>	$u = K_p e + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$ <p style="text-align: center;">Controlador PI</p>	$u = K_p e + K_d \frac{\partial e}{\partial t}$ <p style="text-align: center;">Controlador PD</p>

Nota: Elaboración propia.

2.4.3. Subsistema de Energía

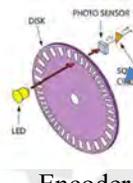
Tabla 3
Matriz morfológica del subsistema de energía.

Función	Principios de Solución	
Acondicionar energía para el sistema de control	 <p data-bbox="524 632 878 678">Convertidor de voltaje DC-DC</p>	 <p data-bbox="1073 611 1203 678">Conexión directa</p>
Acondicionar energía para actuadores	 <p data-bbox="524 831 878 898">Convertidor de voltaje DC-DC</p>	 <p data-bbox="1073 810 1203 898">Conexión directa</p>
Acondicionar energía para sensores	 <p data-bbox="524 1052 878 1119">Convertidor de voltaje DC-DC</p>	 <p data-bbox="1073 1031 1203 1119">Conexión directa</p>

Nota: Elaboración propia.

2.4.4. Subsistema de Medición

Tabla 4.
Matriz morfológica del subsistema de medición.

Función	Principios de Solución		
Sensor presencia de elemento en zona de recepción	 Sensor Capacitivo	 Sensor óptico reflectivo	 Sensor ultrasónico
Sensor posición actual de buffer	 Encoder	 Sensor óptico reflectivo + Marcas de líneas negras	 Sensor inductivo + Salientes metálicos
Sensor entrada del elemento a zona de almacenamiento	 Sensor Capacitivo	 Sensor óptico reflectivo	 Sensor ultrasónico
Sensor salida del elemento a zona de almacenamiento	 Sensor Capacitivo	 Sensor óptico reflectivo	 Sensor ultrasónico
Sensor salida del elemento del sistema	 Sensor Capacitivo	 Sensor óptico reflectivo	 Sensor ultrasónico

Nota: Elaboración propia.

2.4.5. Subsistema de Actuación

Tabla 5.
Matriz morfológica del subsistema de actuación.

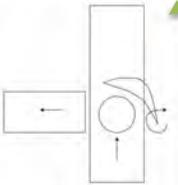
Función	Principios de Solución		
Accionar recepción de elemento	 Motor DC	 Servomotor	
Accionar movimiento hacia dentro de la zona de apilamiento	 Motor DC	 Servomotor	 Motor a pasos
Accionar apilamiento en zona de almacenamiento	 Servomotor	 Motor DC	 Motor a pasos
Accionar movimiento hacia fuera de la zona de apilamiento	 Motor DC	 Motor a pasos	 Actuador lineal eléctrico
Accionar expulsión de un elemento	 Motor DC	 Servomotor	 Motor a pasos

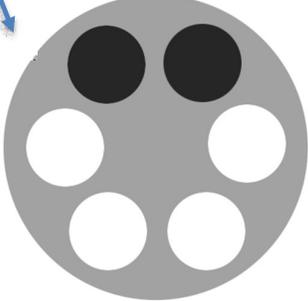
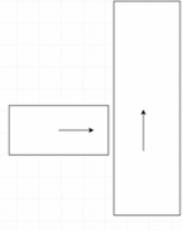
Energizar	 <p>SWITCH BI-ESTADO</p>
-----------	--

Nota: Elaboración propia.

2.4.6. Subsistema Físico

Tabla 6.
Matriz morfológica del subsistema físico.

Función	Principios de Solución		
Recepción de elemento	 <p>Gripper + Base giratoria</p>	 <p>Banda transportadora</p>	 <p>Brazo robótico</p>
Movimiento hacia dentro de la zona de almacenamiento	 <p>Banda transportadora con mecanismo derivador</p>	 <p>Gripper + Base giratoria</p>	 <p>Brazo robótico</p>

Apilamiento en zona de almacenamiento	 <p>Banda transportadora</p>	 <p>Apilamiento vertical (Stacking)</p>	 <p>Almacenamiento circular giratorio</p>
Movimiento hacia fuera de la zona de almacenamiento	 <p>Gripper + Base giratoria</p>	 <p>Bandas transportadoras perpendiculares</p>	 <p>Golpe Lateral</p>
Expulsión de un elemento	 <p>Banda transportadora</p>	 <p>Gripper + Base giratoria</p>	 <p>Brazo robótico</p>

Nota: Elaboración propia.

2.5. Conceptos de Solución

2.5.1. Concepto de Solución 1

El primer concepto de solución cuenta con un gripper eléctrico montado sobre una base rotatoria, montado sobre el gripper se ubica un sensor óptico reflectivo, el cual detectará la

presencia del elemento. Mediante un servomotor se cerrará la pinza asegurando el elemento al ejercer presión sobre él. La base rotatoria será accionada por un servomotor, la cual logrará que la pinza rote y apunte hacia atrás. De esta manera se podrá acceder al almacén giratorio.

En el momento que la pinza deje de ejercer presión sobre el elemento y lo suelte, este quedará puesto sobre uno de los “slots” del almacén. Esta acción será detectada por un sensor óptico, la cual permite saber que un elemento ha ingresado en el almacén. Mediante un motor DC se accionará el giro del almacén y se cambiará de “slot”, pudiéndose ubicar correctamente con ayuda de un sensor óptico y barras negras que estarán en la periferia del almacén.

Cuando se desee expulsar los elementos en la siguiente estación, la base giratoria se accionará, permitiendo que el gripper sujete un elemento y así poder llevarlo al frente y realizar la descarga. Asimismo, el almacén giratorio vuelve a ser accionado para pasar al siguiente slot. Esta secuencia de descarga se realiza iterativamente para cada uno de los elementos guardados.

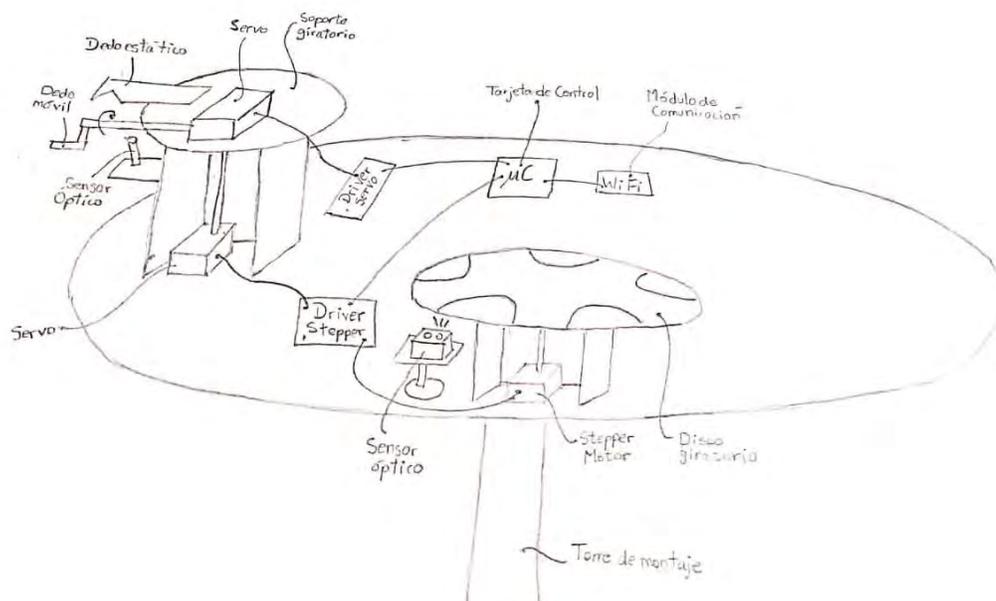


Figura 11. Bosquejo del primer concepto de solución.

Nota: Elaboración propia.

2.5.2. Concepto de Solución 2

El segundo concepto de solución cuenta con una banda transportadora principal que se extiende hasta la zona de recepción de la primera estación, esperando así a que el elemento sea colocado encima de ella. A lado de la banda transportadora en la zona de recepción se encuentra un sensor óptico, mediante el cual se detectará la presencia del elemento.

Mediante un motor DC se accionará el movimiento de la banda y un servomotor accionará un mecanismo derivador. De esta manera se logra que el elemento se dirija hacia la zona de almacenamiento, la cual es una banda transportadora secundaria, e ingrese en este. Esta acción será detectada por un sensor óptico, la cual permite saber que un elemento ha ingresado en el almacén. Este proceso se repite para cada elemento que se reciba en la zona de recepción, con la única diferencia que, en cada iteración, la banda transportadora secundaria será accionada para crear un nuevo slot vacío. Esto se logra con precisión gracias a un encoder que mide el giro del motor DC

Cuando se desee expulsar los elementos en la siguiente estación, la banda secundaria se accionará, permitiendo que los elementos sean expulsados de esta uno por uno. Si la banda principal se mueve en el sentido contrario a la primera vez, entonces los elementos ingresarán a la banda principal y podrán ser expulsadas en modo LIFO; si no, los elementos se ordenarán primero en el segundo tramo de la banda principal y podrán ser expulsadas en modo FIFO.

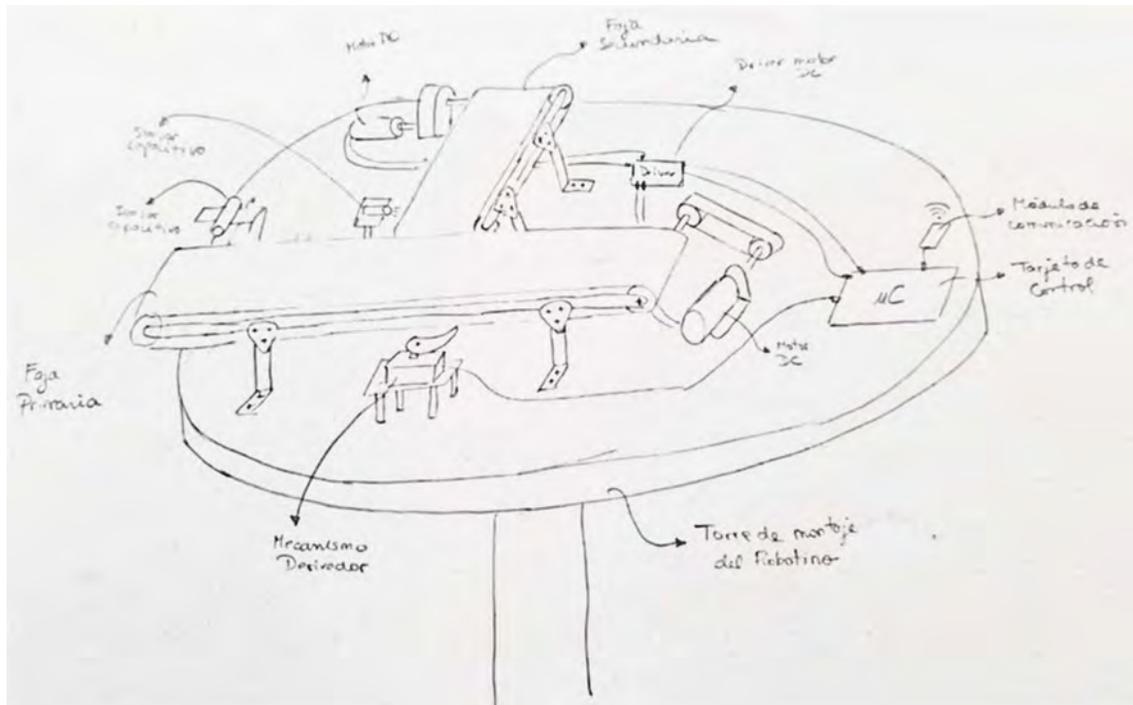


Figura 12. Bosquejo del segundo concepto de solución.

Nota: Elaboración propia.

2.5.3. Concepto de Solución 3

El tercer concepto de solución cuenta con un brazo robótico principal que se extiende hasta la zona de recepción de la primera estación. A lado de la pinza del robot de recepción se encuentra un sensor capacitivo, mediante el cual se detectará la presencia del elemento.

El robot colocará el elemento en un contenedor cilíndrico donde se irán apilando los elementos recibidos. Esta acción será detectada por un sensor óptico, la cual permite saber que un elemento ha ingresado en el almacén. Este proceso se repite para cada elemento que se reciba en la zona de recepción.

Cuando se desee expulsar los elementos en la siguiente estación, un actuador lineal golpeará el elemento que se ubique en el fondo de la pila de almacenamiento, expulsándolo de esta. El robot cogerá el elemento y lo ubicará en la zona correspondiente de la segunda estación.

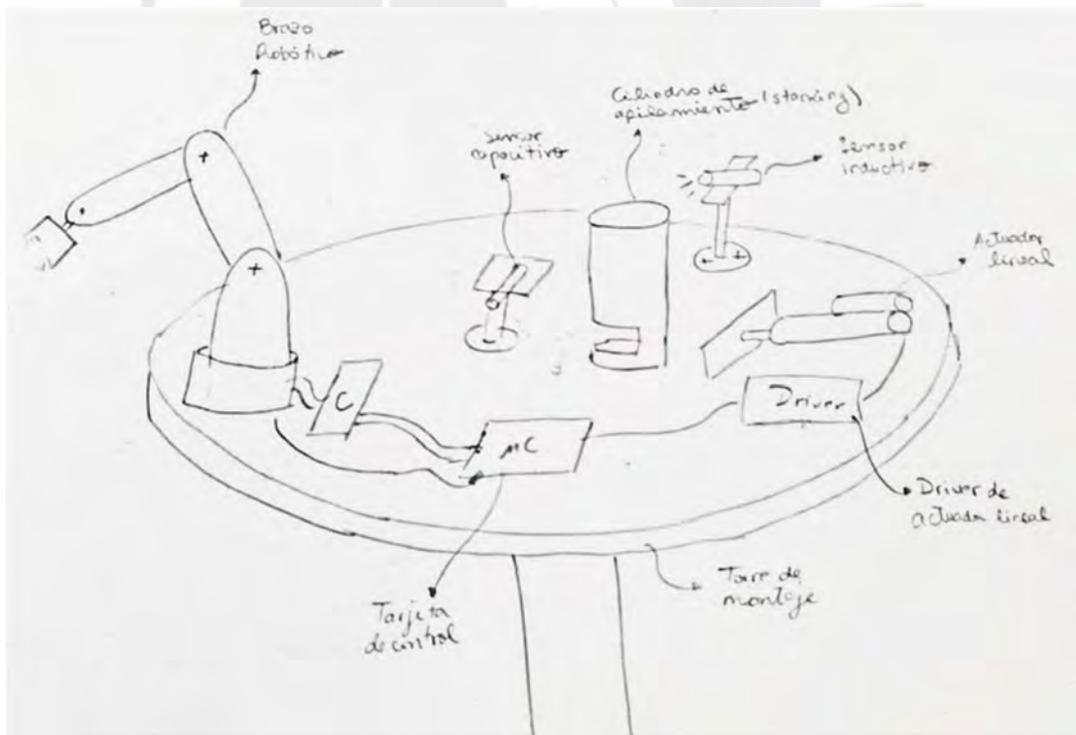


Figura 13. Bosquejo del tercer concepto de solución.

Nota: Elaboración propia.

2.6. Concepto de solución óptimo

En esta sección se definirán varios criterios que permitirán realizar una evaluación de cada uno de los conceptos de solución y así determinar cuál es concepto óptimo.

Tabla 7.
Evaluación técnica

Criterio	Peso	Primer	Segundo	Tercer	Ideal
		Concepto de Solución	Concepto de Solución	Concepto de Solución	
Rapidez	1	2	2	3	4
Complejidad	1	2	2	1	4
Seguridad	2	2	2	1	4
Tamaño	2	2	1	2	4
Dificultad de entendimiento	2	2	2	2	4
Subtotal	8	15	14	14	32
Normalizado		0.47	0.44	0.44	1.00

Nota: Elaboración propia.

Tabla 8.
Evaluación económica

Criterio	Peso	Primer	Segundo	Tercer	Ideal
		Concepto de Solución	Concepto de Solución	Concepto de Solución	
Facilidad de adquisición	2	2	2	2	4
Facilidad de montaje	1	2	2	1	4
Facilidad de mantenimiento	2	2	2	1	4
Costo de tecnología	1	2	2	2	4
Subtotal	6	12	12	9	24
Normalizado		0.50	0.50	0.38	1.00

Nota: Elaboración propia.

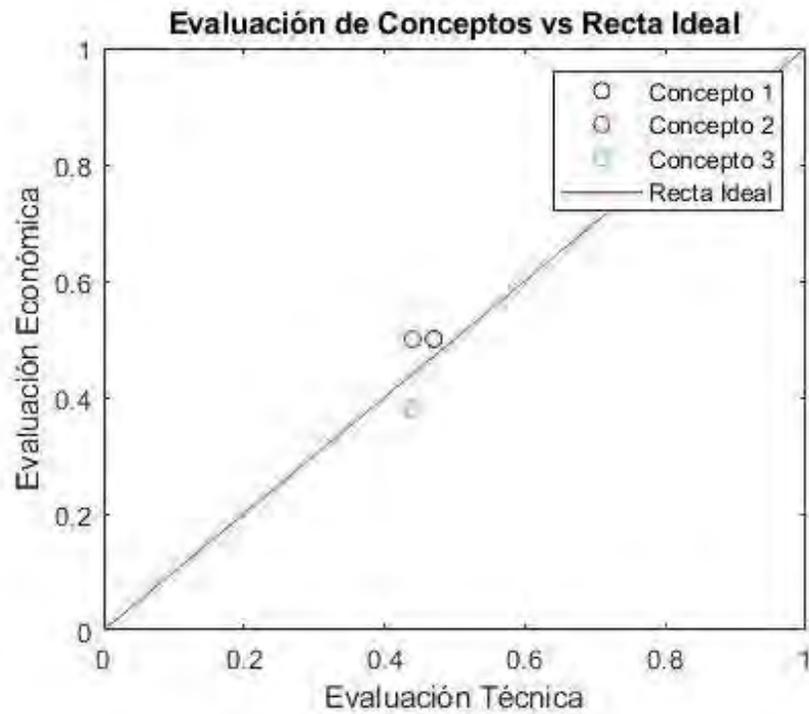


Figura 14. Gráfica de la recta ideal.

Nota: Elaboración propia.

Tal como se puede apreciar en la imagen superior (ver Figura 14), la recta ideal tiene una ponderación de 1:1, lo cual quiere decir que se les da tanta importancia a los resultados de la evaluación técnica como a los de la económica. En la misma imagen se ven los tres conceptos de solución representados como puntos, dentro de los cuales se ve que el primer concepto de solución es considerado como óptimo.

4. Conclusiones

- Se cumplió con el objetivo de diseñar un sistema buffer que satisfaga los requerimientos planteados.
- Se realizó el estado del arte con respecto a sistemas que solucionen problemas afines.
- Se analizó y planteó los requerimientos necesarios que un sistema debe contemplar para poder cumplir el objetivo planteado.
- Se desglosó el sistema en varios subsistemas por medio de la estructura de funciones.



5. Referencias

- Lawton, J. (2018, 20 de marzo). The Role of Robotics In Industry 4.0. *Forbes*. Recuperado de <https://www.forbes.com/sites/jimlawton/2018/03/20/the-role-of-robots-in-industry-4-0/#1d93b30b706b>
- Festo (2019). Festo Didactic: Robotino 4. Festo. Recuperado de <https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/robotino/robotino-4.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4Ljg1OC4xMDMwNzU>
- Festo (2019). Robotino® Plataforma de robot móvil para investigación y formación. Festo. Recuperado de https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/robotino_brochure_es_56941_2013_10_monitor.pdf
- Hachman, M (2013, 4 de diciembre). From Android to automatons: Rubin's robots are Google's next moonshot. *PCWorld*. Recuperado de <https://www.pcworld.com/article/2069020/from-android-to-automations-rubins-robots-are-googles-next-moonshot.html>
- Wolf, A., Steinmann, R., Schunk, H., (2005), *Grippers in Motion. The fascination of Automated Handling Tasks*, Springer.
- Festo (2019). Festo Didactic: Robotino View. Festo. Recuperado de <https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/software-e-learning/robotino-sim-view/robotino-view.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4LjEyMTkuNzI2Ng>
- Festo (2019). Festo Didactic: soluciones para la formación técnica. Festo. Recuperado de <https://www.festo-didactic.com/int-es/compania/?fbid=aW50LmVzLjU1Ny4xNC4xMC4zNDY4LjQxNDE>
- Festo (2019). Robotino® – Para investigación y formación: Premium Edition y Basic Edition. Festo. Recuperado de <https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/robotino/robotino-para-investigacion-y-formacion-premium-edition-y-basic-edition.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4Ljg1OC44MDI1>
- Festo (2019). Robotino® – Nuevo potencial en todos los planos. Festo. Recuperado de <https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/robotino/robotino-nuevo-potencial-en-todos-los-planos.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4Ljg1OC44MDI3>
- KUKA (2019). KUKA iiwa: autónomo y muy flexible. KUKA. Recuperado de <https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/movilidad/robots-m%C3%B3viles/kmr-iiwa>
- KUKA (2019). LBR iiwa. KUKA. Recuperado de <https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/robot-industrial/lbr-iiwa>

BMW Group (2016, 3 de marzo). From BMW Group introduces self-driving robots in Supply Logistics. Recuperado de <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0257786EN/bmw-group-introduces-self-driving-robots-in-supply-logistics?language=en>

RIA (2017). Logistics Robots: Logistics Robots Proven ROI for Fulfillment & Warehousing. RIA. Recuperado de <https://www.robotics.org/service-robots/logistics-robots>

