

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**SISTEMA DE RECONOCIMIENTO Y CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTAL
QUIRÚRGICO UTILIZANDO EL ROBOT BAXTER**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico

AUTOR:

Gerardo Eleazar Valencia Mesías

ASESOR:

Antonio Lincoln Angulo Salas

Lima, setiembre, 2020

RESUMEN

Actualmente, el uso de robots en diferentes campos y ambientes se ha convertido en tema de investigación para profesionales relacionados al ámbito científico, ingenieros de distintas ramas y especialistas en temas sociales y culturales, dando paso a nuevos conceptos como la robótica de asistencia y/o social lo que nos revela nuevos tópicos y puntos de acción de la mecatrónica hoy en día. Esta nueva concepción de robótica permite que se utilice tecnología como apoyo a diferentes áreas entre las que se encuentran la medicina y el cuidado de la salud donde se necesita un grado mayor de innovación tecnológica especialmente en la automatización de procesos que forman parte de una cadena mayor de producción. Esta problemática sirve como punto de partida y motivación para el presente trabajo de tesis que plantea el desarrollo de un sistema compuesto por el robot industrial Baxter junto con algoritmos de visión por computadora para el reconocimiento de instrumental quirúrgico usados en ambientes hospitalarios específicamente en centrales de esterilización. Los principales objetivos de este sistema son: automatizar tareas recurrentes de manera eficiente en el menor tiempo posible, obtener y llevar control de los diversos materiales clasificados (cantidad, tipo, etc.) y aprovechar la capacidad de este robot para trabajar en conjunto con operarios o reemplazarlos según sea conveniente con el fin de evitar riesgos potenciales. El sistema planteado consiste en la implementación de algoritmos robustos de reconocimiento por imágenes en Python, el diseño de un actuador o *gripper* adaptado especialmente para el robot Baxter que permita un correcto manejo y traslado del material con el cual se tendrá contacto y el envío de los datos recolectados en el todo proceso a un servidor web local.

Los resultados obtenidos incluyen el desarrollo de un sistema robusto compuesto por algoritmos de procesamiento de imágenes junto con un *gripper* mecánico de bajo costo impreso en 3D, así como pruebas de concepto de los puntos más relevantes que validen la lógica y efectividad del trabajo propuesto mediante simulaciones.



Dedico este trabajo a mis padres por darme su total apoyo y motivación que fueron de gran ayuda durante todo este proceso universitario; a mis hermanos por ser el mejor ejemplo y estar conmigo cuando más los necesité; y a mis amigos quienes me brindaron momentos de alegría, gratos recuerdos y enseñanzas en todos estos años compartidos.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
1. SITUACIÓN ACTUAL EN CENTRALES DE ESTERILIZACIÓN.....	3
1.1 Problemática en riesgos ocupacionales y biológicos.....	3
1.2 Eficiencia en el manejo de material a clasificar.....	4
1.3 Antecedentes.....	5
1.4 Objetivos y alcances.....	9
2. DISEÑO Y EVALUACIÓN CONCEPTUAL DEL SISTEMA.....	12
2.1 Estructura de funciones.....	12
2.2 Matriz Morfológica.....	16
2.3 Conceptos de solución propuestos.....	17
2.3.1 Primera solución.....	17
2.3.2 Segunda solución.....	18
2.3.3 Tercera solución.....	18
2.4 Análisis técnico – económico de los conceptos de solución.....	19
2.5 Determinación y desarrollo del concepto óptimo de solución.....	21
3. SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTAL QUIRÚRGICO.....	23
3.1 Descripción general.....	23
3.2 Dominio mecánico.....	25
3.2.1 Material estructural del <i>gripper</i> diseñado.....	25
3.2.2 Estructuras mecánicas del sistema.....	26

3.2.3 Evaluación de resistencia del material estructural.....	27
3.2.4 Lista de planos mecánicos.....	29
3.3 Dominio electrónico.....	29
3.3.1 Sensores y actuadores.....	29
3.4 Dominio de control.....	40
3.4.1 Diagrama de flujo lógica de identificación y clasificación del material.....	40
4. PRUEBAS DE CONCEPTO Y SIMULACIONES.....	44
4.1 Prueba de concepto algoritmo de reconocimiento y clasificación.....	44
4.2 Simulación del robot Baxter en entorno Gazebo.....	50
5. PRESUPUESTO.....	54
CONCLUSIONES.....	55
RECOMENDACIONES.....	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57
ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Aplicaciones robot Baxter.....	8
Tabla 2.1: Alternativas y soluciones de la matriz morfológica.....	16
Tabla 2.2: Evaluación técnica de los conceptos de solución.....	20
Tabla 2.3: Evaluación económica de los conceptos de solución.....	20
Tabla 3.1: Comparación de materiales estructurales impresión 3D.....	25
Tabla 3.2: Propiedades mecánicas del PLA.....	26
Tabla 3.3: Lista de planos mecánicos.....	29
Tabla 3.4: Comparación modelos tarjeta Arduino.....	30
Tabla 3.5: Especificaciones técnicas Arduino UNO.....	30
Tabla 3.6: Especificaciones técnicas adaptador 12V 1A.....	31
Tabla 3.7: Especificaciones técnicas electroimán 12V.....	32
Tabla 3.8: Especificaciones técnicas celda de carga.....	33
Tabla 3.9: Especificaciones técnicas amplificador Hx711.....	33
Tabla 3.10: Especificaciones técnicas cámara DSLR Nikon D3500.....	34
Tabla 5.1: Presupuesto componentes del sistema mecatrónico.....	54
Tabla B1: Enlaces de cotización componentes electrónicos.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Porcentaje de trabajadores expuestos a factores de riesgos ocupacionales.....	3
Figura 1.2: Factores de riesgos biológicos.....	4
Figura 1.3: Toma de tiempos para procesar material.....	4
Figura 1.4: Características robot Baxter.....	6
Figura 1.5: Robot Baxter en ambientes de esterilización.....	6
Figura 1.6: Robot Baxter en manufactura.....	6
Figura 2.1: Abstracción <i>black box</i> del sistema.....	12
Figura 2.2: Estructura de funciones del sistema propuestos.....	15
Figura 2.3: Primer concepto de solución.....	17
Figura 2.4: Segundo concepto de solución.....	18
Figura 2.5: Tercer concepto de solución.....	19
Figura 2.6: Gráfica aspectos técnicos y económicos de conceptos de solución.....	21
Figura 3.1: Esquema de la solución óptima del sistema mecatrónico.....	24
Figura 3.2: Carrete de ABS para impresión 3D.....	25
Figura 3.3: Modelo 3D del <i>gripper</i> magnético propuesto.....	26
Figura 3.4: Configuración simulación de esfuerzos y deformaciones en <i>gripper</i>	27
Figura 3.5: Desplazamientos simulados en <i>gripper</i> diseñado.....	28
Figura 3.6: Esfuerzos simulados en <i>gripper</i> diseñado.....	28
Figura 3.7: Arduino UNO.....	30
Figura 3.8: Adaptador 12V 1A.....	31
Figura 3.9: Electroimán 12V.....	32
Figura 3.10: Celda de carga FUTEK.....	33
Figura 3.11: Amplificador de voltaje Hx711.....	33

Figura 3.12: Cámara DSLR Nikon D3500.....	34
Figura 3.13: Caja de paso octogonal para componentes electrónicos.....	35
Figura 3.14: Circuito de control electroimán.....	36
Figura 3.15: Diagrama esquemático dominio electrónico.....	39
Figura 3.16: Diagrama de flujo sistema mecatrónico general A.....	41
Figura 3.17: Diagrama de flujo sistema mecatrónico general B.....	42
Figura 3.18: Diagrama de flujo sistema mecatrónico subrutinas.....	43
Figura 4.1: Imagen inicial de la escena de trabajo.....	44
Figura 4.2: Imagen de instrumental quirúrgico con su respectiva imagen máscara.....	45
Figura 4.3: Imagen inicial de la escena de trabajo (izquierda) e imagen instrumental identificado ubicado después de aplicar la transformación afín (derecha).....	45
Figura 4.4: Imágenes hipótesis $A > B$ y $B > A$ con algoritmo Canny aplicado.....	47
Figura 4.5: Ejemplo de imagen y su respectivo histograma de orientaciones.....	48
Figura 4.6: Imágenes hipótesis con algoritmo EOH aplicado.....	49
Figura 4.7: Simulación robot Baxter en entorno Gazebo.....	51
Figura B1: Cotización impresión 3D VEO PUCP.....	66

INTRODUCCIÓN

El presente documento propone el diseño completo de un sistema mecatrónico que permita adaptar al robot Baxter en un ambiente hospitalario para la ejecución de procesos relacionados a clasificación y traslado de material quirúrgico. La propuesta del sistema se desarrolla en cinco capítulos donde se explica con mayor detalle cada etapa tomada en cuenta para el diseño e implementación.

En el primer capítulo se define la problemática que busca resolver el presente trabajo relacionado a la eficiencia y más específicamente a riesgos y bioseguridad dentro del ambiente laboral. Se revisa además el estado del arte existente que servirá de punto de partida al proyecto y ayudará a definir los objetivos generales y específicos para finalmente delimitar el alcance que tendrá el sistema propuesto.

En el segundo capítulo se plantea el diseño por abstracción del sistema haciendo uso de las herramientas *black box* y matriz morfológica mediante las cuales se podrá identificar las entradas y salidas junto con las diferentes opciones para cada tarea a definir. Es en este apartado que se definen preliminarmente los componentes mecánicos y electrónicos con el fin de obtener conceptos de solución que luego serán evaluados y valorados tomando en cuenta criterios que permitan elegir el concepto óptimo a desarrollar.

El tercer capítulo describe a detalle el sistema en cada uno de sus dominios: mecánico, donde se describe las estructuras planteadas y los materiales a usar en las mismas; electrónico, en el cual se lista los componentes elegidos y su justificación basada en las especificaciones técnicas; y control, donde se presenta a modo de flujograma el algoritmo desarrollado que será ejecutado por el robot Baxter.

El cuarto capítulo presenta las pruebas de concepto realizadas del sistema: prueba del algoritmo de reconocimiento y clasificación de instrumental quirúrgico y simulación de movimientos por coordenadas a realizar por el robot Baxter dentro de un entorno de software.

El quinto capítulo hace mención del presupuesto requerido para la implementación del sistema donde se considera la compra de componentes electrónicos y la fabricación de las estructuras mecánicas.

Finalmente, la presente tesis recopila los resultados obtenidos en conclusiones que justifiquen el desarrollo del sistema mecatrónico junto con observaciones y posibles puntos de mejora a futuro del mismo.



CAPÍTULO 1

SITUACIÓN ACTUAL EN CENTRALES DE ESTERILIZACIÓN

El presente capítulo detalla la situación actual de los hospitales locales, específicamente en el área de esterilización, y los factores laborales y biológicos que influyen en la productividad de las diversas actividades dentro del ambiente hospitalario. Posteriormente se detalla el estado del arte referente al robot Baxter y las técnicas y/o algoritmos de reconocimiento por imágenes que se usarán de base para la propuesta del sistema mecatrónico.

1.1 Problemática en riesgos ocupacionales y biológicos

Actualmente, las centrales de esterilización en Sudamérica enfrentan diversos problemas que afectan diariamente el bienestar de las personas en los diversos hospitales de la región ya que no se cuenta con una planificación y estudio de las tareas a realizar en cada etapa y que además involucra un alto riesgo para el personal operador. Estadísticas del Ministerio de Salud [1] reflejan que un 14.2% de trabajadores están expuestos a riesgos biológicos dentro de sus ambientes laborales y específicamente el 77% de estos se dan en el sector salud (ver Figura 1.1 y 1.2). Un ejemplo de este tipo de riesgos son los piquetes no intencionales con material contaminado al manipular instrumental quirúrgico que está catalogado como un trabajo de nivel 2 (siendo el más peligroso nivel 3) según el manual de bioseguridad del MINSa [2].

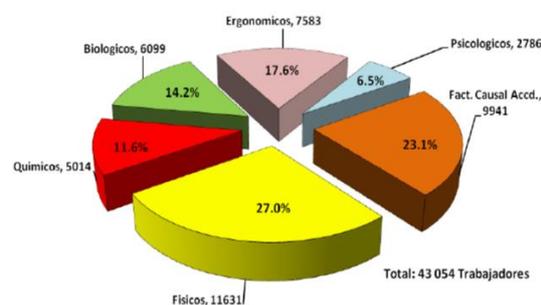


Figura 1.1 Porcentaje de trabajadores expuestos a factores de riesgos ocupacionales

Fuente: MINSa [1]

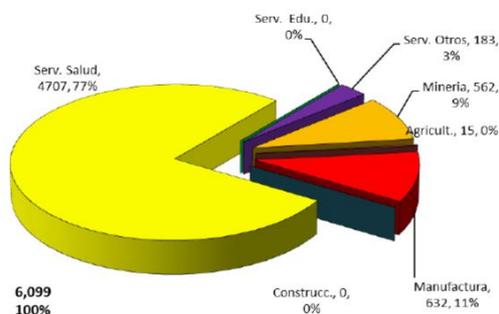


Figura 1.2 Factores de riesgos biológicos
Fuente: MINSA [1]

1.2 Eficiencia en el manejo de material a clasificar

Son diversos los estudios que se enfocan en las consecuencias que traen estos problemas, sin embargo, existe una carencia de estudios que detallen o propongan una solución para combatir las principales causas teniendo como objetivo mejorar el rendimiento y efectividad del sistema de salud. Un estudio realizado en Colombia [3] propone la mejora de los procesos involucrados dentro de las centrales de esterilización utilizando como parámetro la duración que toma cada tarea para detectar los puntos donde se invierta más tiempo y aplicar algún tipo de corrección. Este estudio determinó que, por ejemplo, para el empaque de una bandeja de instrumental se necesita alrededor de tres minutos sin tomar en cuenta tiempos muertos del operario (traslado del operario, movimiento de herramientas, descansos intermitentes, etc.)

N°	Elemento	Tiempos observados							T prom
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	
1	Preparar material	39,6	75,9	57,8	57,8	57,8	57,8	57,8	57,78
2	Anotar bandejas a envolver	13,7	8,78	11,4	14,6	6,12	8,82	10,6	10,58
3	Colocar tira	3,91	1,76	1,98	1,98	2,52	2,2	1,5	2,26
4	Cortar cintas a marcar	1,75	1,31	2,43	1,89	1,84	2,21	1,03	1,78
5	Marcar cintas adhesivas	11,3	11,8	17,3	13,4	16,7	14,5	12,3	13,90
6	Cortar cintas a vapor	2,34	3,33	2,88	4,05	3,33	2,88	3,74	3,22
7	Rotular cintas con N° de carga	1,67	2,29	2,25	2,34	2,57	2,34	2,43	2,27
8	Primera envoltura	24,8	23,5	23,6	20,3	25,7	22,8	25	23,66
9	Segunda envoltura	29,8	39,2	15,9	13,8	19	30,4	22,2	24,34
10	Pegar cintas adhesivas	10,9	11,8	25,3	32,7	15,4	17,1	10,7	17,70

Figura 1.3 Toma de tiempos para procesar material
Fuente: Silva [11]

Teniendo estos datos podemos entonces determinar que el tiempo de preparación de material quirúrgico tiene un impacto importante a medida que se tenga un mayor número de procedimientos o intervenciones quirúrgicas que posteriormente se refleja en los costos para el sector salud. Los tres últimos reportes del Ministerio de Salud [4][5] nos indican que solo en la red asistencial Almenara se realizan alrededor de 60000 intervenciones quirúrgicas al año. Este panorama nos indica que la automatización de estas tareas mediante un sistema permitiría una reducción significativa en aspectos económicos [6] al mismo tiempo que se protege a los trabajadores de los potenciales riesgos mostrados al inicio de este capítulo.

1.3 Antecedentes

El uso de robots en ambientes laborales actuales requiere de una gran flexibilidad tanto para la ejecución de las diferentes tareas que se les asigna como para trabajar en conjunto con personas en el mismo entorno sin implicar ningún riesgo adicional que pueda producir alguna lesión o daño dentro del entorno de trabajo. Para este tipo de escenarios la empresa Rethink Robotics diseñó el robot Baxter el cual posee distintos sensores entre otras características [7][8] que le dan una mayor versatilidad para ser utilizado en múltiples situaciones. Diferentes enfoques se han propuesto para el uso de este robot como, por ejemplo, en el campo de la medicina donde se adapta al robot a trabajar en ambientes de esterilización (ver Figura 1.5) como soporte para sala de operaciones [9][10]. Otros estudios permiten entrenar al robot para poder imitar el uso de herramientas comunes haciendo uso conjunto de ambos brazos sin necesidad del uso de *grippers* costosos [11], seleccionar piezas en industrias de manufactura e incluso en cuidado de personas donde el robot asiste a personas ancianas o en condición de discapacidad [12]. Estos estudios van acompañados en muchos casos de herramientas de software de visión por computadora tales como OpenCV [13][14] que permiten detectar las zonas óptimas de contactos con objetos [15][16], múltiples objetos [17] o identificación utilizando características propias de los mismos [18] para su ubicación en una imagen y/o video.

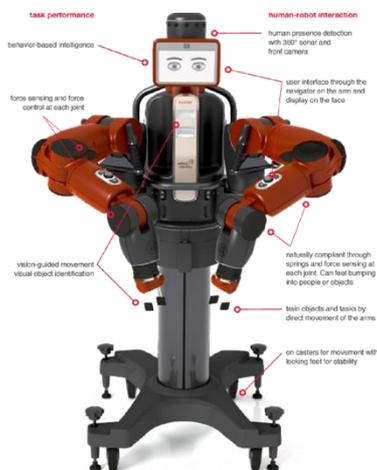


Figura 1.4 Características robot Baxter
Fuente: 21st Century Tech

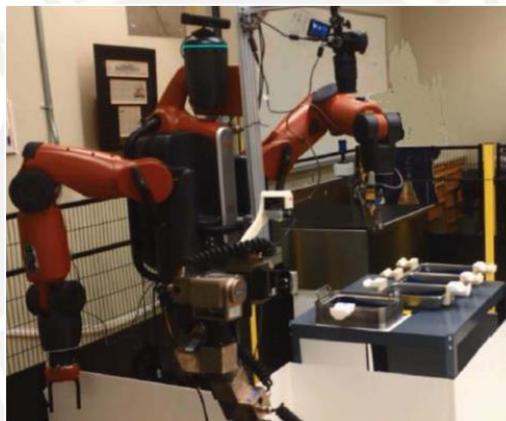


Figura 1.5 Robot Baxter en ambientes de esterilización
Fuente: Xu [9]



Figura 1.6 Robot Baxter en manufactura
Fuente: Génération ROBOTS

Los algoritmos o técnicas utilizadas en este robot incluyen la detección de objetos y sus puntos de sujeción mediante la generación de candidatos en ambas categorías [16] usando modelos en tres dimensiones para entrenar una red basada en la arquitectura Lenet. Otro enfoque utiliza un clasificador basado y entrenado en técnicas de *deep learning* [15] mediante la toma de imágenes RGB-D para obtener el punto óptimo de agarre o sujeción mientras que en otro [9] se hace uso de códigos de barra para una identificación más directa del material para luego determinar las intersecciones entre cada uno de ellos. A modo de resumen se elaboró la Tabla 1.1 donde se muestran los estudios donde se utilizó al robot Baxter en distintos ámbitos.



Tabla 1.1 Aplicaciones robot Baxter**Fuente:** [10] [11] [12] [15] [16] [19]

Artículo	Descripción general	Uso específico del robot Baxter	Componentes usados en reconocimiento	Alcance
An integrated vision-based robotic manipulation system for sorting surgical tools	Sistema de reconocimiento, selección y organización de piezas quirúrgicas para su traslado entre la sala de operaciones y sala de esterilización	Implementación del sistema de reconocimiento usando algoritmos de visión por computadora para el traslado de utensilios quirúrgicos	Base de datos que incluyen plantillas descriptivas de cada instrumento (imágenes con bordes resaltados) en conjunto con movimientos predefinidos Controlador de actividades: Máquina finita de estados (FSM) y mecanismo de toma de decisiones (DMM) Lectura de código de barras y reconocimiento de objeto más cerca a la superficie	Uso en hospitales para mejora en rendimiento de los procesos
Combining grasp pose detection with object detection	Sistema que permite combinar algoritmos de detección de objetos con detección de puntos de contacto o agarre	Clasificador / organizador de objetos	Método "Mixture of experts" para incluir en la lógica ambos algoritmos. Conceptos de entrenamiento aplicado a imágenes (machine learning). Cámara Asus Xtion Pro RGBD ubicada en la cintura del robot	Uso en la industria para organización y clasificación donde se necesite una alta precisión en el agarre de los materiales
Computer vision based chess playing capabilities for the Baxter humanoid robot	Sistema autónomo para simulación de partidas de ajedrez	Simulación como jugador de ajedrez: movimiento y reconocimiento de piezas dentro del tablero	OpenCV y máquina finita de estados (FSM)	Uso recreativo y educativo en el ajedrez
Deep learning for detecting robotic grasps	Sistema de reconocimiento de puntos de contacto o agarre usando deep learning	Clasificador / organizador de objetos	Procesamiento de imágenes, machine learning, deep learning	Uso en la industria para organización y clasificación donde se necesite una alta precisión en el agarre de los materiales
Teaching robots the use of human tools from demonstration with non-dexterous end effectors	Sistema que permite al robot Baxter replicar el uso de herramientas cotidianas	Replicar movimientos necesarios para el uso de herramientas cotidianas	DMP framework (Dynamic Movement Primitives) , LFD framework (learn from demonstration), Asus Xtion Pro	Uso cotidiano o industrial en tareas de ensamble mediante el uso de herramientas cotidianas
User modeling for personalized dressing assistance by humanoid robots	Sistema de asistencia personalizada para personas ancianas con alguna discapacidad motora o falta de extremidades superiores	Asistente para vestimenta con posibilidades de detectar personas y personalizar ciertas características	Xtion Pro, procesamiento de imágenes (depth), machine learning, reconocimiento de pose del usuario	Asistencia personal para vestimenta que puede ser aplicado a otros tipos de rehabilitación - asistencia

1.4 Objetivos y alcances

A continuación, se presentan los objetivos generales y específicos con el fin de delimitar con mayor detalle las problemáticas que se busca resolver con el sistema mecatrónico.

1.4.1 Objetivo general

El objetivo principal de la presente tesis es la implementación de un algoritmo robusto de reconocimiento de instrumental quirúrgico en conjunto con el robot Baxter el cual contará con un *gripper* diseñado especialmente para manipular los mismos automatizando de esta manera los procedimientos en centrales esterilización.

1.4.2 Objetivos específicos

- Desarrollo de algoritmos de reconocimiento de instrumental quirúrgico usando técnicas de visión por computadora que permitan una alta precisión y efectividad en la detección del material y el punto o área de contacto óptimo dentro de una imagen escena.
- Diseño de un actuador o *gripper* de bajo costo adaptable al robot Baxter para la manipulación correcta y sin causar daños al instrumental previamente clasificado.
- Desarrollar pruebas de concepto que permitan validar los aspectos más relevantes del sistema a proponer para la futura integración y expansión de actividades posibles.

1.4.3 Alcance del sistema de clasificación y reconocimiento quirúrgico

El sistema planteado en esta tesis está diseñado para ser utilizado en centros hospitalarios que tengan ambientes especializados y que cumplan con las siguientes características:

- Espacio: El ambiente donde se ubique el sistema (de preferencia un ambiente especializado en esterilización) debe contar con el espacio necesario para que el robot Baxter pueda realizar los movimientos de reconocimiento y traslado de material de manera segura aun cuando este cuente con sistema de detección de personas. El robot tiene una altura aproximada de 1 metro (2 metros con pedestal ajustable opcional) y un alcance máximo de 1.2 metros.

- Material: Dado que los objetos a manipular y clasificar, a pesar de sus dimensiones, son de material pesado se debe tener en cuenta el peso máximo que puede soportar el robot de 2.2kg (incluyendo efector final por defecto).

El sistema propuesto será simulado tomando en cuenta todas estas consideraciones de tal manera que se asegure el funcionamiento total del sistema.

Cliente

- Ministerio de Salud – Centrales de esterilización
- Enfermeras y enfermeros – Central de esterilización

Necesidades

- Automatizar el proceso de clasificación de material quirúrgico reemplazando el trabajo manual por un sistema automático de visión por computadora que permita agilizar el proceso en general y reduzca los riesgos potenciales durante la manipulación de los instrumentos.
- Llevar un control del proceso de clasificación de instrumental quirúrgico recolectando información del mismo como: cantidad, tipo, etc.

A continuación, se muestra la lista de requerimientos o exigencias completa para el sistema mecatrónico:

Fuerza

- La fuerza de contacto ejercida por el robot para manipular el instrumental debe ser la necesaria para no dañarlo o quebrarlo.
- El *gripper* a diseñar usará fuerzas magnéticas para asegurar la sujeción de los utensilios de manera eficiente.

Geometría

- El *gripper* a diseñar debe tener geometría similar a los originales del robot Baxter para un fácil acoplamiento.

Cinemática

- El sistema deberá desplazar los utensilios a una velocidad que asegure una buena sujeción sin dañarlos.

Calibración

- Antes de realizar pruebas experimentales se calibrará factores importantes como fuerza en los actuadores, posiciones predeterminadas a seguir por el robot.

Fabricación

- El *gripper* a diseñar deberá ser de fácil fabricación y con materiales disponibles en el mercado local.

Uso

- El sistema en general deberá ser capaz de trabajar dentro de un ambiente hospitalario sin interferir con el trabajo del personal.

Mantenimiento

- El *gripper* a diseñar deberá ser de fácil acople al robot Baxter de tal manera que se pueda reemplazar o reparar ante algún desperfecto.

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y EVALUACIÓN CONCEPTUAL DEL SISTEMA

Este capítulo muestra el proceso seguido para identificar las funciones que realizará el sistema y los componentes mecánicos - electrónicos necesarios para cada dominio. Adicionalmente, se mostrarán los conceptos de solución propuestos junto con la evaluación técnico – económica que sustenten la selección del concepto óptimo de solución el cual será desarrollado en los siguientes capítulos del presente trabajo.

2.1 Estructura de funciones

Para obtener la estructura de funciones del sistema será necesario realizar una abstracción haciendo uso de una herramienta como *black box* que permita observar de forma clara las entradas y salidas de la solución a diseñar. Entre los datos de entrada del sistema tenemos: energía eléctrica necesaria para los componentes electrónicos, material quirúrgico a clasificar con código QR para identificación, imágenes plantillas - máscara de cada instrumento (imágenes binarias). Las salidas obtenidas incluyen el material clasificado en sus respectivas categorías junto con información relevante del mismo (categorías clasificadas, cantidad de elementos por categoría, cantidad total de elementos, etc.).

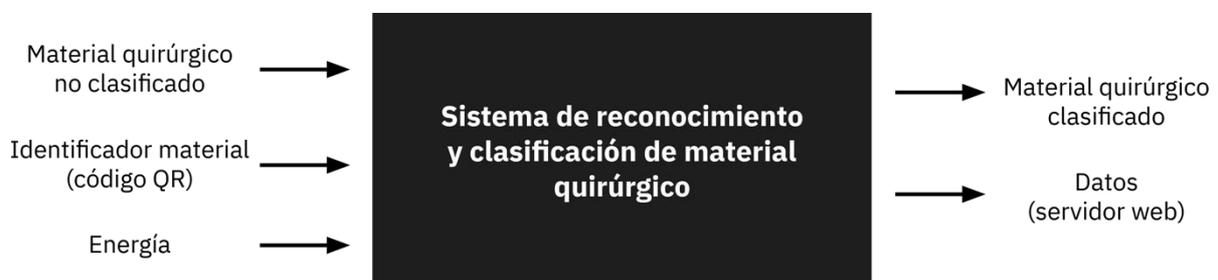


Figura 2.1 Abstracción *black box* del sistema
Fuente: Elaboración propia

El sistema mecatrónico propuesto se divide en bloques principales con funciones específicas: controlador, sensores y actuadores. Los datos de entrada estarán almacenados previamente en la computadora interna del robot junto con el software a desarrollar para realizar la identificación y clasificación. Los datos obtenidos serán almacenados en una base de datos local y mostrados mediante un portal web de uso interno para el centro de trabajo.

Controlador

- Configuración del sistema: El controlador incluirá las plantillas de imágenes para cada instrumento por categoría, el software para lectura de códigos QR insertado en cada instrumento, posiciones preestablecidas para traslado y depósito de materiales.
- Transformación sistema de referencia: Se realizará una equivalencia entre las distancias y coordenadas de la imagen escena capturada y el espacio de trabajo del robot. En este proceso se aprovechará que el plano de movimiento del robot es paralelo al plano de la escena capturada (donde se encuentra el instrumental quirúrgico) lo que reducirá la cantidad de dimensiones a convertir.
- Identificación instrumento: Cada instrumento será identificado mediante lectura de código QR por medio de software. Al reconocer el material se obtendrá una imagen máscara que incluye información respecto a los límites rectangulares del objeto y servirá para ubicar al mismo dentro de la imagen escena.
- Identificación coordenadas y área sujeción instrumento: Después de identificar al objeto se procede a ubicarlo dentro de la escena mediante una transformación afín la cual consiste en posicionar la imagen máscara con movimientos de traslación y rotación hasta que ocupe el mismo lugar que el objeto en la imagen escena original.

- Envío de datos a servidor web: Paso final en el cual los datos recopilados durante todo el proceso se envían a un servidor web local de uso interno para llevar un control a largo plazo.

Sensores

- Capturar escena: Este proceso involucra la toma de imagen del espacio donde se encuentra el instrumental quirúrgico a clasificar y trasladar. Cabe resaltar que el plano donde se encuentran los objetos será paralelo al plano de movimientos del robot para mayor facilidad en la etapa previa de transformación de sistema de referencia.
- Sensor fuerza de contacto: La fuerza que se genera de la interacción entre el *gripper* y el instrumental a trasladar será sensada para verificar que este último este listo para ser sujetado por el robot.
- Activar/desactivar fuerza electromagnética: Tomando en cuenta el valor sensado en el paso anterior se procederá a activar la fuerza electromagnética para después trasladar el material. Una vez concluido el movimiento se desactiva la fuerza electromagnética para depositar el material en su respectiva ubicación final.

Actuadores

- Acercar *gripper* a instrumento: Luego de identificar y ubicar el instrumental quirúrgico dentro del espacio de trabajo se procede con el acercamiento del *gripper* al instrumento lo suficientemente cerca para generar fuerza medible.
- Traslado de instrumento: Luego de activar la fuerza electromagnética el robot trasladará el objeto detectado.

Basándonos en las funciones descritas previamente se propone la siguiente estructura de funciones donde cada bloque representa una función específica a realizar por uno o más componentes del sistema.

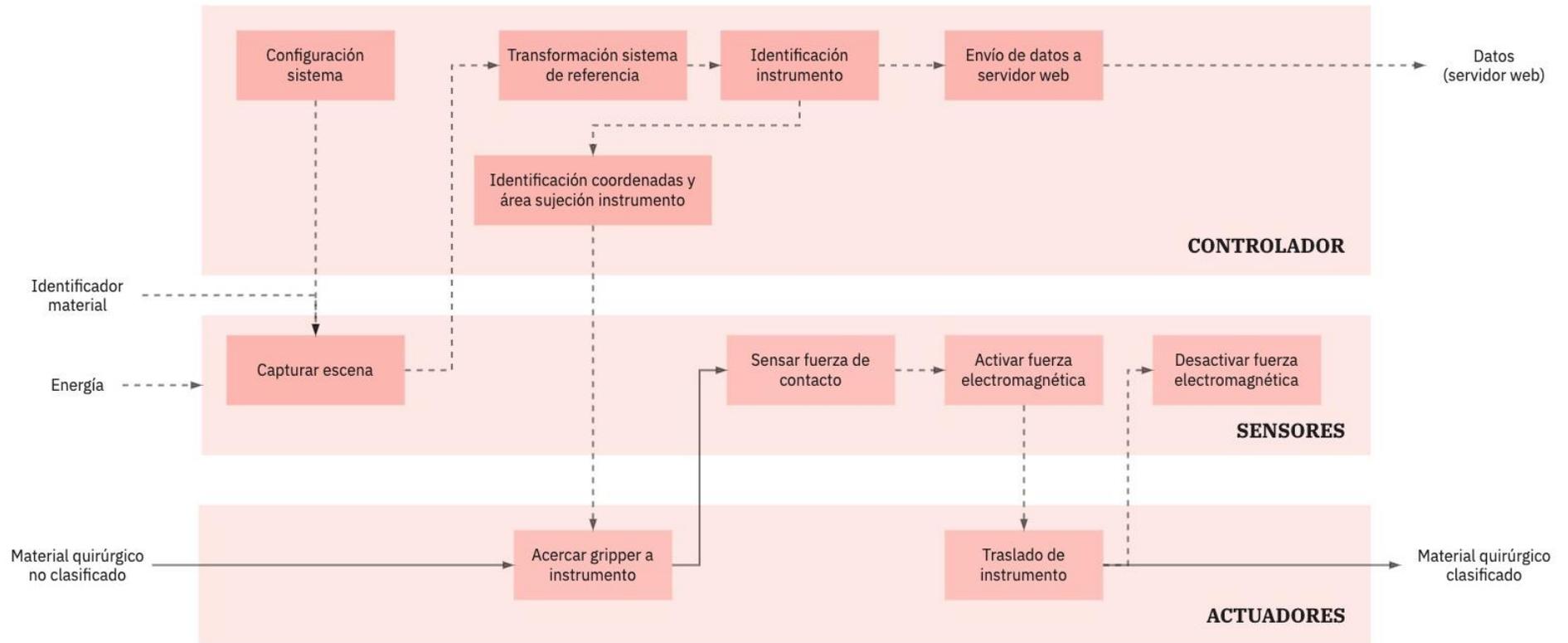


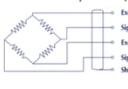
Figura 2.2 Estructura de funciones del sistema propuesto
Fuente: Elaboración propia

2.2 Matriz Morfológica

Se construye la matriz morfológica para visibilizar las alternativas de solución de cada función descrita en la estructura previa que será realizada por un sensor o actuador. En la matriz presentada a continuación se muestran tres soluciones que serán posteriormente evaluadas y analizadas.

Tabla 2.1 Alternativas y soluciones de la matriz morfológica

Fuente: Propia

Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Energizar	 Batería NiCd	 Fuente de alimentación	
Capturar escena	 Cámara DSLR	 Cámara Baxter	
Procesamiento de datos	 Sistema embebido	 Robot Baxter	
Traslación y sujeción de instrumentos	 Gripper Baxter	 Gripper impresión 3D	
Sensor fuerza de contacto	 Sensor de fuerza resistivo	 Celda de carga	
Fuerza electromagnética	 Electroimán permanente	 Electroimán	
Activar / desactivar fuerza electromagnética	 Tarjeta Arduino	 Sistema embebido	
Envío de datos a servidor web	 Robot Baxter	 Módulo Wifi	 Módulo Bluetooth
Soluciones	Solución 1	Solución 2	Solución 3

2.3 Conceptos de solución propuestos

A continuación, se detallan cada una de las tres posibles soluciones obtenidas de la matriz anterior.

2.3.1 Primera solución

La primera solución incluye fuentes de alimentación para energizar el electroimán del *gripper* y la tarjeta controladora que activará y desactivará la fuerza magnética. Dicha fuerza será controlada mediante una celda de carga durante el contacto con el material quirúrgico (el valor de la fuerza umbral se determinará empíricamente) que se identifique dentro de la escena capturada por una cámara DSLR (*digital single-lens reflex*) de alta resolución. El traslado y sujeción del material se realizará mediante un *gripper* adaptado al robot Baxter e impreso en 3D el cual incluirá al electroimán en su parte inferior. El procesamiento de datos y envío de los mismos al servidor web se utilizará al robot Baxter el cual cuenta con una computadora interna capaz de ejecutar el software de ambas tareas.

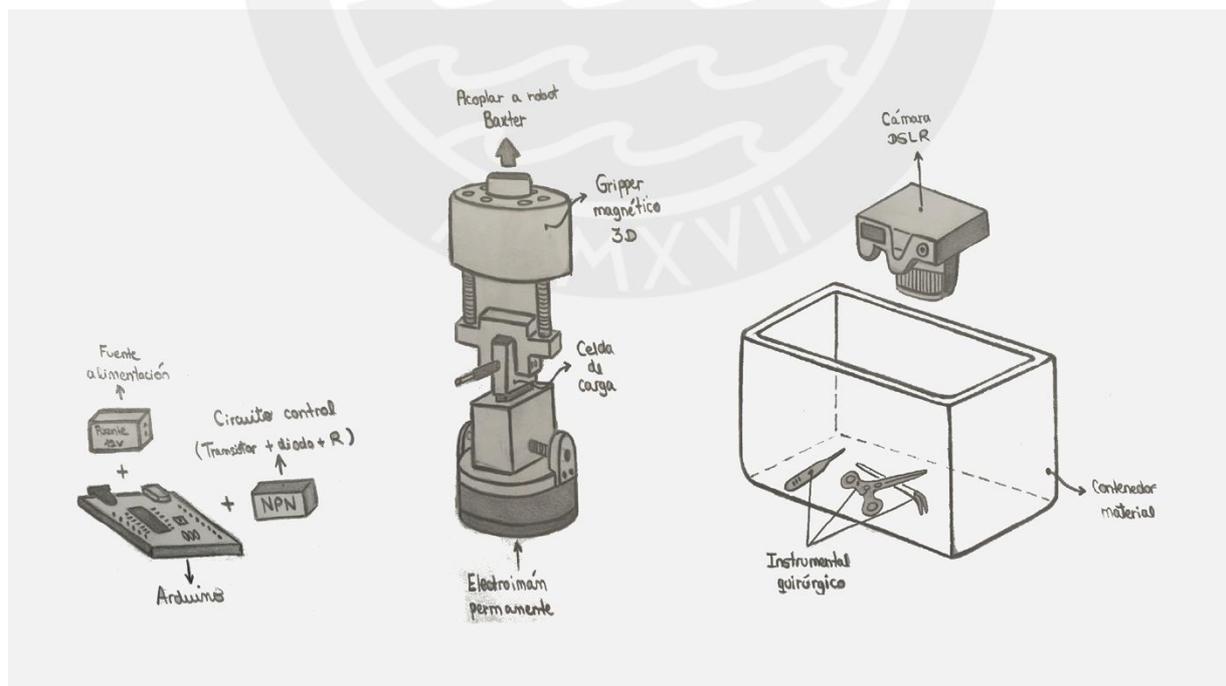


Figura 2.3 Primer concepto de solución
Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Segunda solución

En esta solución se utilizará una batería tipo Níquel – Cadmio (NiCd) para energizar los componentes electrónicos. Para la captura de la escena y el traslado y sujeción de los mismos se utilizará el *gripper* por defecto del robot Baxter en el cual se adaptarán sensores de fuerza resistivos para la medición de la fuerza ejercida entre el electroimán y el objeto a trasladar. El procesamiento de datos se dará en un sistema embebido que permitirá la independencia de ejecución de código. Finalmente, para el envío de datos se utilizará un módulo wifi externo que se comunicará con el robot al finalizar el movimiento de cada uno de los utensilios.

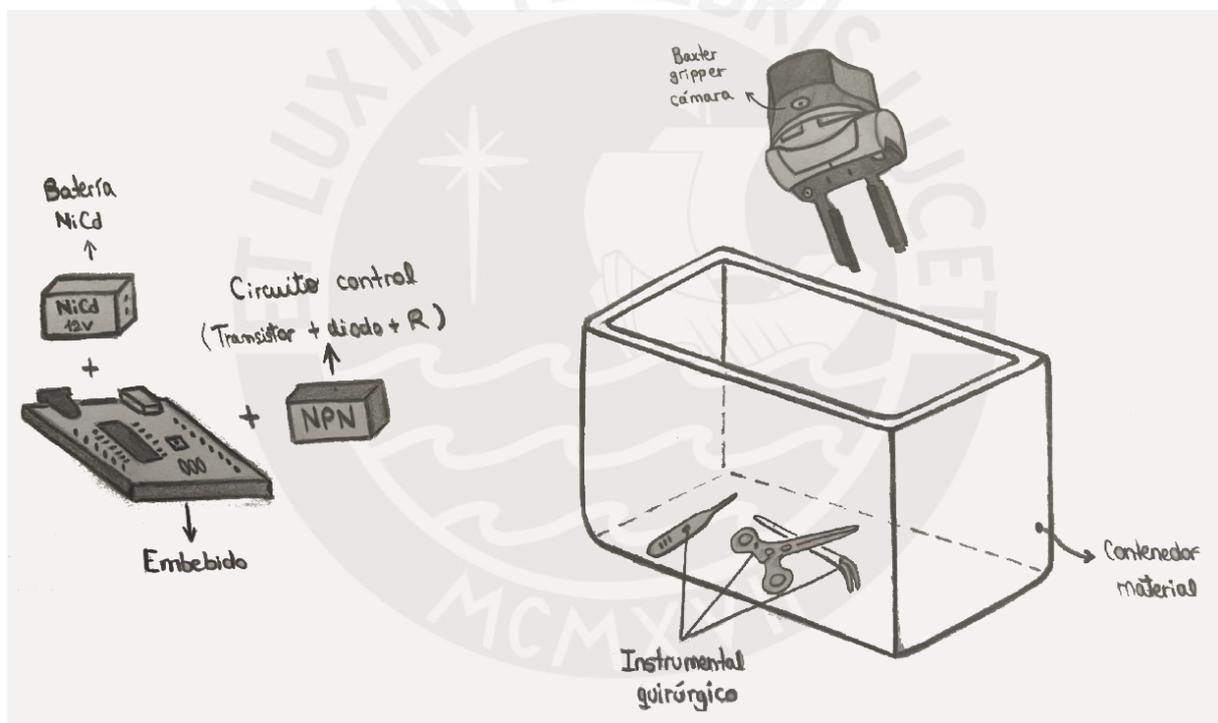


Figura 2.4 Segundo concepto de solución
Fuente: Elaboración propia

2.3.3 Tercera solución

Esta última solución hace uso de un sistema embebido para el procesamiento de los datos el cual adicionalmente pueda enviar datos al servidor web mediante tecnología bluetooth. En este caso se usará ambos brazos del robot de manera conjunta para el traslado y captura de la escena.

Un brazo usará la cámara integrada para la captura de la imagen mientras que el otro realizará los movimientos de traslado mediante un *gripper* 3D, electroimán permanente y celda de carga acoplados.

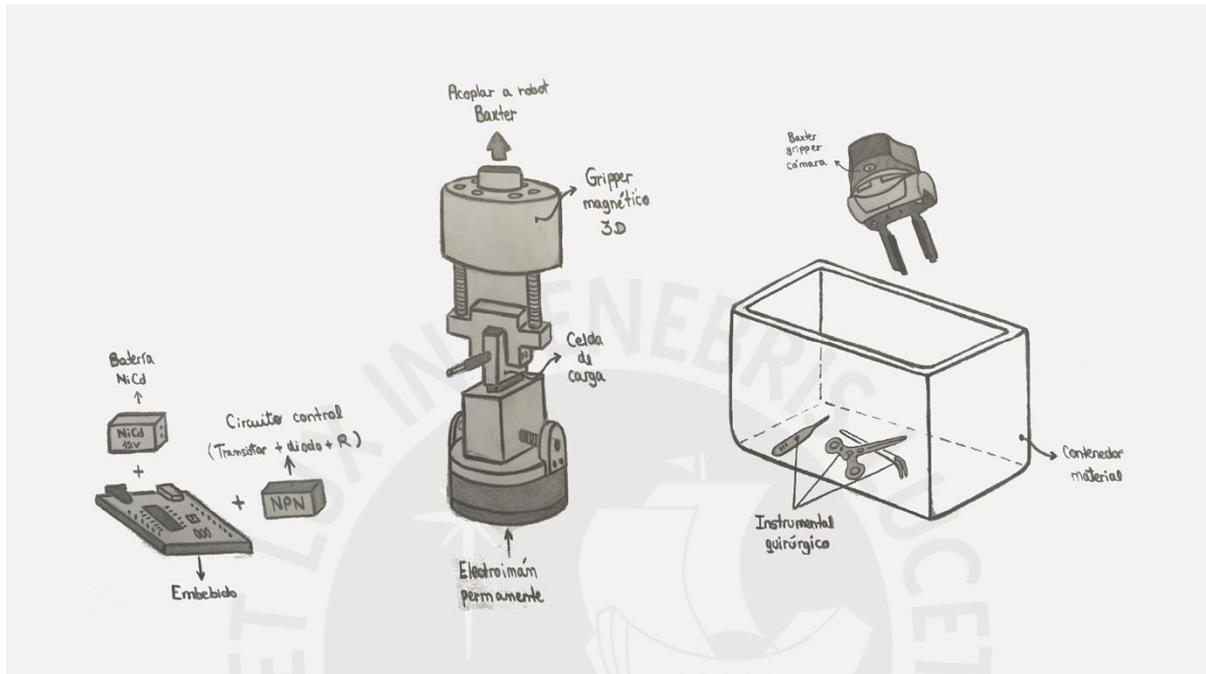


Figura 2.5 Tercer concepto de solución
Fuente: Elaboración propia

2.4 Análisis técnico – económico de los conceptos de solución

Los conceptos presentados anteriormente serán comparados entre sí por medio de una serie de criterios de evaluación tomando en cuenta una clasificación por puntaje. A mayor puntaje obtenga un concepto se considerará más viable respecto a aspectos técnicos y económicos. Utilizando este análisis por puntajes se podrá descartar aquellas soluciones que puedan resultar ineficientes o no viables y así poder hacer una elección óptima que cumpla con todos los requerimientos. La escala de puntajes se encuentra en el rango de valores de 1 – 4, donde: 1 = No satisface, 2 = Aceptable, 3 = Suficiente y 4 = Ideal.

Tabla 2.2 Evaluación técnica de los conceptos de solución

Fuente: Elaboración propia

Sistema reconocimiento y clasificación de instrumental quirúrgico con robot Baxter									
Aspectos técnicos	g	Solución 1		Solución 2		Solución 3		Ideal	
		Peso	Subtotal	Peso	Subtotal	Peso	Subtotal	Peso	Subtotal
Buen uso de energía	2	3	6	3	6	2	4	4	8
Seguridad	3	3	9	2	6	2	6	4	12
Rapidez	3	3	9	2	6	3	9	4	12
Buena relación fuerza - energía	2	3	6	2	4	2	4	4	8
Manipulación	3	3	9	2	6	2	6	4	12
Confiabilidad	3	3	9	3	9	3	9	4	12
Facilidad de manejo	1	3	3	2	2	2	2	4	4
Transportabilidad	1	3	3	3	3	3	3	4	4
Complejidad	3	3	9	2	6	2	6	4	12
Lista de exigencias	3	3	9	3	9	3	9	4	12
Posibilidades de automatización	2	3	6	3	6	3	6	4	8
Velocidad de procesamiento	3	3	9	2	6	3	9	4	12
Total aspectos técnicos			87		69		73		116
			0.75		0.595		0.629		1.0

Tabla 2.3 Evaluación económica de los conceptos de solución

Fuente: Elaboración propia

Aspectos económicos	g	Solución 1		Solución 2		Solución 3		Ideal	
		Peso	Subtotal	Peso	Subtotal	Peso	Subtotal	Peso	Subtotal
Número de piezas	1	3	3	3	3	3	3	4	4
Fácil adquisición de materiales	2	3	6	3	6	2	4	4	8
Costo de tecnología	3	3	9	2	6	3	9	4	12
Facilidad de montaje	3	3	9	2	6	3	9	4	12
Fácil mantenimiento	2	3	6	2	4	2	4	4	8
Costos de operación	3	3	9	3	9	3	9	4	12
Total aspectos económicos			42		34		38		56
			0.75		0.607		0.679		1.0

Como se muestra en la tabla de evaluación técnica, el primer concepto de solución es el más favorable ya que presenta un mayor puntaje respecto al resto de opciones. Además, este concepto cumple en un 75% los criterios propuestos para la evaluación en requerimientos técnicos.

En términos económicos el primer concepto es el que se alinea más a los requerimientos propuestos. Adicionalmente, para poder realizar una elección que involucre ambos aspectos se construirá una gráfica donde se colocan las tres soluciones con sus respectivos puntajes respecto a la solución ideal en términos porcentuales.

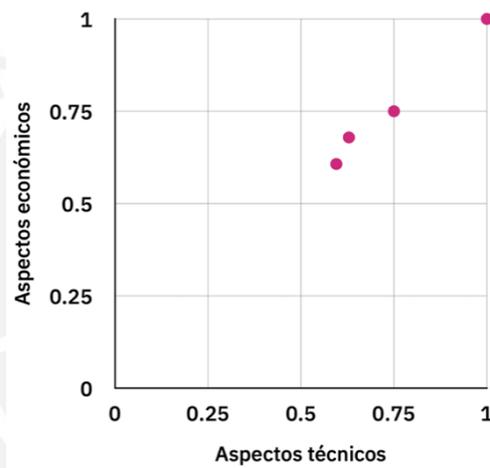


Figura 2.6 Gráfica aspectos técnicos y económicos de conceptos de solución
Fuente: Elaboración propia

La gráfica anterior muestra que la solución mas cercana a la ideal (puntaje porcentual de valor 1 en ambos aspectos) es aquella con un valor porcentual de 0.75, es decir, la primera solución.

2.5 Determinación y desarrollo del concepto óptimo de solución

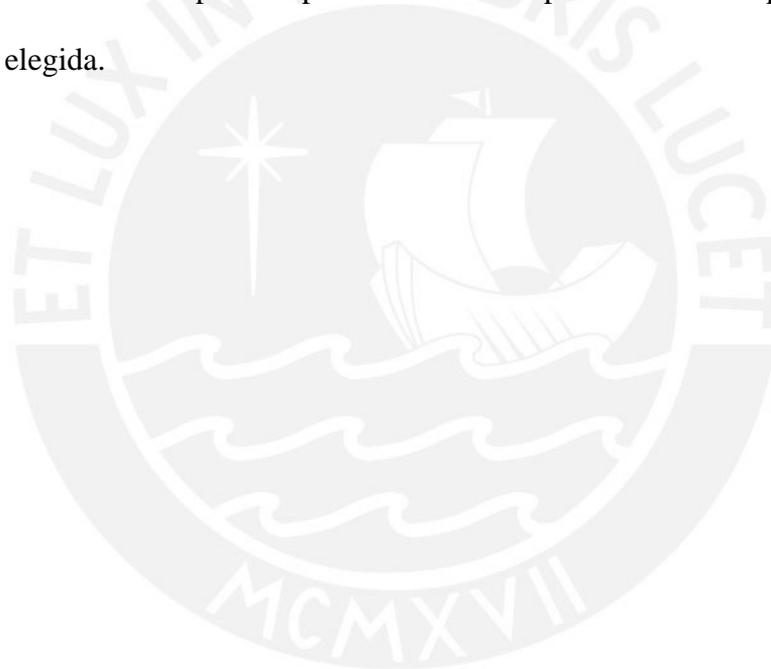
El desarrollo del concepto óptimo de solución se dividirá en tres dominios: mecánico, electrónico y control.

El dominio mecánico tiene como objetivo el diseño del *gripper* magnético para la sujeción y traslación del instrumental quirúrgico. Este *gripper* será fabricado por medio de impresión 3D y posteriormente acoplado al robot Baxter.

El dominio electrónico incluirá la selección a detalle de cada componente a usar tales como: fuentes de alimentación, electroimán, tarjeta controladora, cámara DSLR y celda de carga.

El dominio de control involucra la lógica que usará el sistema para la identificación del material quirúrgico dentro del ambiente de trabajo. En este dominio se tomará en cuenta el lenguaje de programación y los algoritmos que se emplearán en cada etapa del proceso.

Luego de definir cada dominio por completo se realizarán pruebas de concepto para validar la solución óptima elegida.



CAPÍTULO 3

SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTAL QUIRÚRGICO

Luego de definir la solución óptima mediante valoración técnica y económica, se procederá a explicar el flujo de trabajo a seguir por sistema y su interacción con los elementos clasificar.

3.1 Descripción general

El sistema propuesto consiste de un *gripper* magnético adaptado al robot Baxter que realizará las funciones relacionadas a la sujeción y desplazamiento del material que se encuentra dentro de un contenedor para su posterior identificación. El sistema inicia con la captura de la escena de trabajo (contenedor con material quirúrgico en su interior) y la transformación del sistema de referencia para relacionar las posiciones y distancias a usar por el robot respecto a la imagen escena. La imagen obtenida será procesada para identificar cada material dentro del espacio de trabajo con lo cual se obtendrán las coordenadas del punto de los límites rectangulares y punto o área de sujeción del objeto. El robot Baxter procederá a acercar el *gripper* a cada elemento identificado y a medida que se vaya haciendo contacto con el mismo se irá sensando la fuerza ejercida por medio de la celda de carga. Cuando se tenga un valor de fuerza suficiente, la tarjeta controladora activará la fuerza magnética del electroimán y el robot proseguirá con el traslado del material. Una vez alcanzado el punto final de la trayectoria a seguir, la tarjeta desactivará la fuerza magnética dejando el material en su respectivo contenedor para repetir el proceso de acercamiento al siguiente objeto. Finalmente, una vez completados todos los elementos dentro del contenedor inicial el robot enviará los datos recopilados al servidor web local.

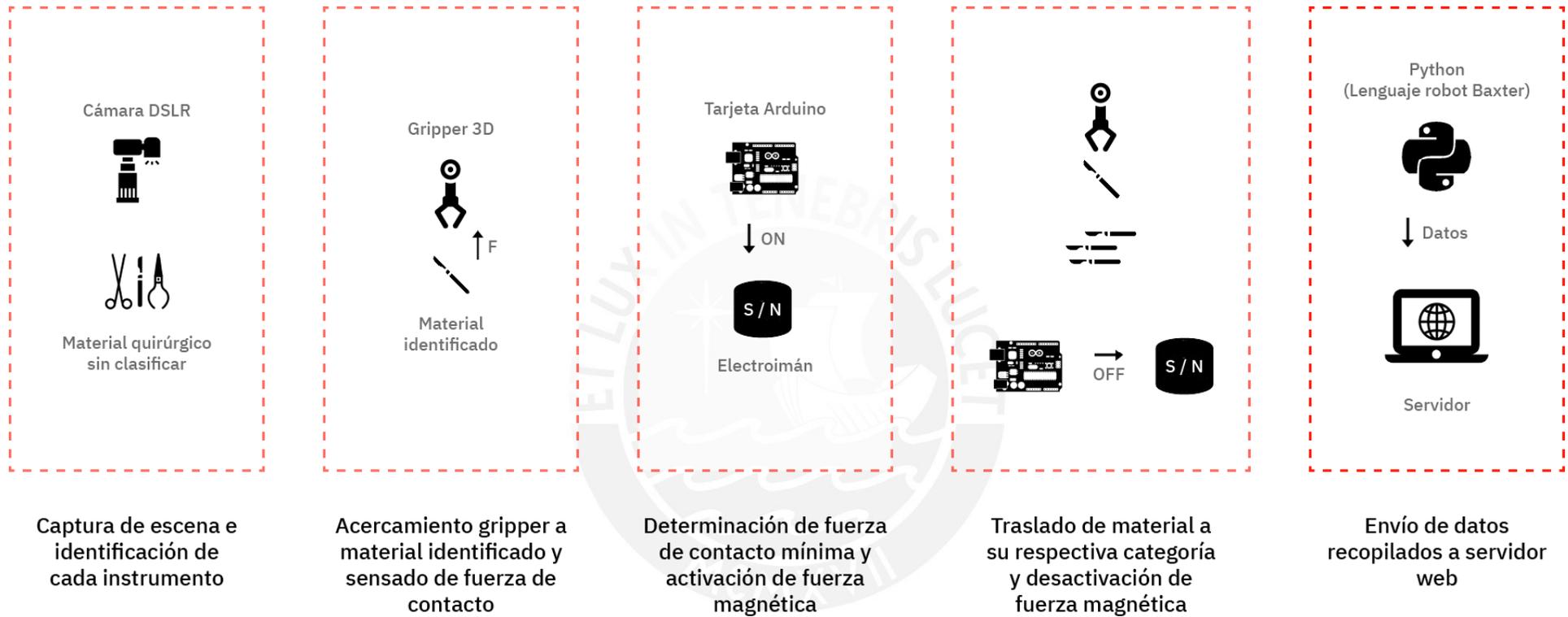


Figura 3.1 Esquema de la solución óptima del sistema mecatrónico
Fuente: Elaboración propia

3.2 Dominio mecánico

Se incluye componentes estructurales que conforman al *gripper* magnético, así como pruebas de esfuerzo para el promedio de carga a utilizar durante el trabajo.

3.2.1 Material estructural del *gripper* diseñado

De los materiales disponibles en impresión 3D los más utilizados dentro del mercado de impresoras son: ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) y PLA (Poliácido láctico). A continuación, se muestra una tabla con las características principales tomadas en cuenta para la elección del material a utilizar.

Tabla 3.1 Comparación de materiales estructurales impresión 3D

Fuente: Elaboración propia

	ABS	PLA
Resistencia a temperaturas elevadas	Alto (Tr: 215 - 250 °C)	Alto (Tr: 150 - 165 °C)
Emisión gases nocivos	Bajo	Bajo
Facilidad de mecanizado	Alta	Baja
Aplicación en el mercado	Industrial	Doméstico

De la tabla anterior podemos determinar que el material a utilizar para el *gripper* magnético será ABS el cual es un derivado de combustibles fósiles no biodegradable pero reciclable. Este material es muy utilizado en impresiones 3D especialmente en productos que deban ser sometidos a esfuerzos mecánicos. Adicionalmente, se tomo en cuenta las dimensiones que deberá tener el actuador final las cuales son pequeñas y simples haciendo a la impresión 3D el método más adecuado y rápido.



Figura 3.2 Carrete de ABS para impresión 3D

Fuente: Amazon

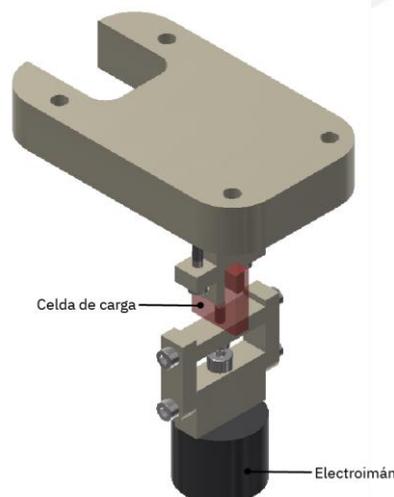
Tabla 3.2 Propiedades mecánicas del PLA

Fuente: Elaboración Propia

Propiedad	Valor
Densidad	1.01 - 1.21 g/cm ³
Módulo de elasticidad (Young)	1.19 - 2.9 GPa
Elongación a la rotura	0.015 - 1%

3.2.2 Estructuras mecánicas del sistema

El *gripper* magnético posee en su parte superior una estructura que se une al robot Baxter mediante unión atornillada y también por contacto. El cuerpo de este *gripper* consiste en una celda de carga unida a la parte superior a través de una pieza intermedia mediante unión atornillada. La celda de carga se une al electroimán ubicado en la parte inferior mediante dos piezas intermedias adicionales que servirán de acople y soporte para evitar giros y hacer más compacto al conjunto. Las piezas intermedias son necesarias ya que la celda de carga necesita de uniones que permitan medir la fuerza ejercida en dos direcciones (tensión y compresión) para lo cual el diseño de las mismas debe tomar en cuenta la forma en que se unirán. La celda de carga y el electroimán serán controlados y alimentados externamente al robot Baxter (revisar sección 3.3 para ver el diagrama electrónico del *gripper*).

**Figura 3.3** Modelo 3D del *gripper* magnético propuesto

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Evaluación de resistencia del material estructural

Se evaluará la resistencia del material estructural seleccionado para el *gripper* diseñado de tal manera que se pueda determinar el correcto funcionamiento sin presentar fallas.

Se realizó un análisis de esfuerzo y deformación en el material para una carga de 400g (promedio de peso de los materiales quirúrgicos) con el fin de evaluar ambos valores obtenidos en la simulación en un escenario similar al real.

Para estas simulaciones se agregó una fuerza vertical en el punto final del *gripper* cuyo valor se calcula de la siguiente ecuación:

$$F = \text{peso promedio instrumental} \times g$$

$$F = 0.4kg \times 9.81m/s^2$$

$$F = 3.924N$$

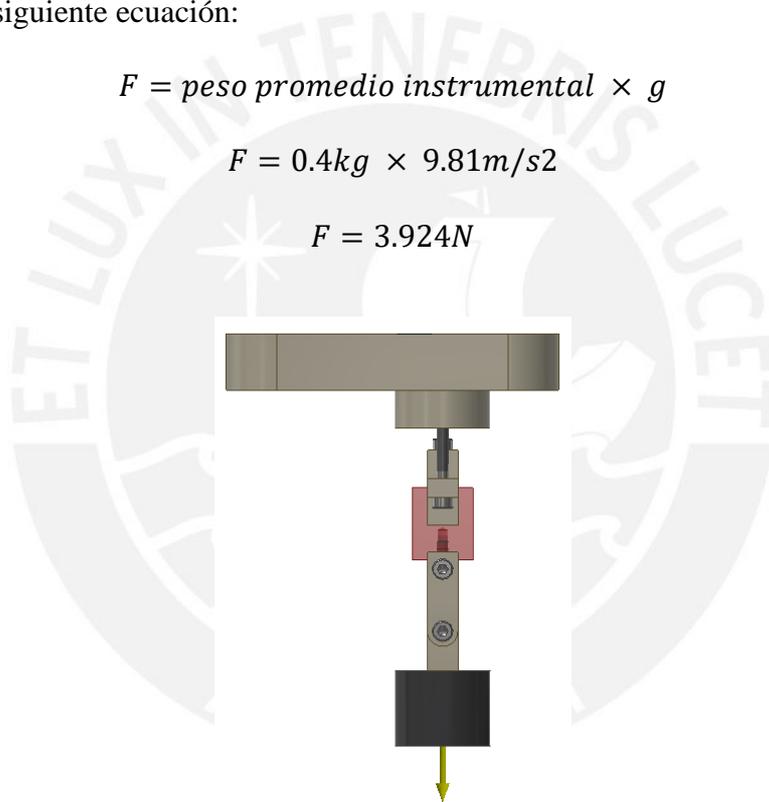


Figura 3.4 Configuración simulación de esfuerzos y deformaciones en *gripper*

Fuente: Elaboración propia

Con las condiciones previamente mencionadas se simuló el material ABS estructural obteniendo los siguientes resultados:

- Deformación máxima: 0.003962mm
- Esfuerzo promedio: 0 – 3.58MPa

Ambos resultados nos indican que el material seleccionado cumple correctamente las condiciones de operación ya que la deformación máxima en el *gripper* es prácticamente nula y el esfuerzo promedio simulado es menor al esfuerzo máximo del propio material (1.8 – 5.1Mpa).

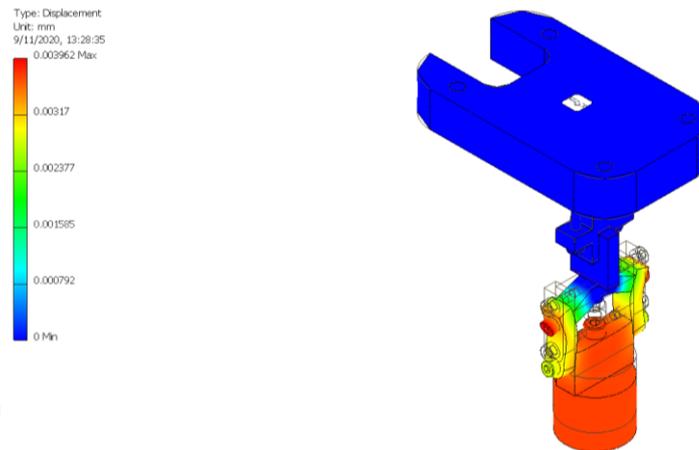


Figura 3.5 Desplazamientos simulados en *gripper* diseñado
Fuente: Elaboración propia

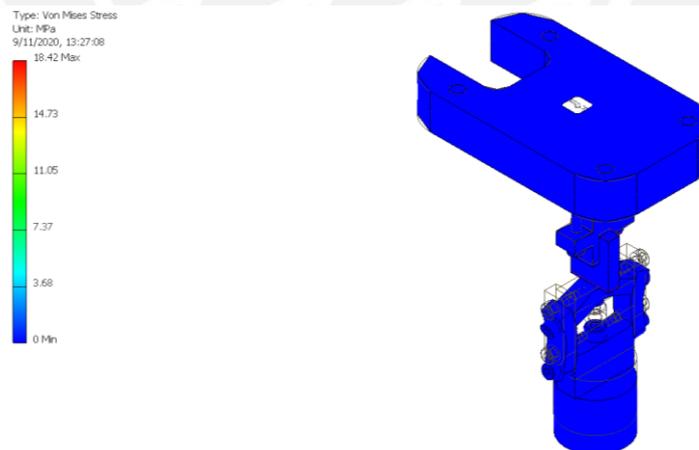


Figura 3.6 Esfuerzos simulados en *gripper* diseñado
Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Lista de planos mecánicos

A continuación, se muestra la lista de planos de cada elemento mecánico de mayor a menor nivel de detalle (pieza o ensamble) junto con su numeración y tamaño de impresión.

Tabla 3.3 *Lista de planos mecánicos*

Fuente: Elaboración Propia

Código de plano	Descripción
P00 - A3	Ensamble <i>gripper</i> magnético
P01 - A4	Pieza superior <i>gripper</i>
P02 - A4	Pieza unión media <i>gripper</i>
P03 - A4	Pieza unión horizontal <i>gripper</i>
P04 - A4	Pieza unión vertical <i>gripper</i>
P05 - A4	Pieza unión horizontal electroimán

3.3 Dominio electrónico

Se incluye la lista de componentes electrónicos que proporcionan energía y control al sistema

3.3.1 Sensores y actuadores

Componentes que reciben y envían información al sistema para ejecución de acciones durante el trabajo

Controlador

Dado que se utilizará la celda carga para medir la fuerza de interacción *gripper* – instrumental quirúrgico y también se activará o desactivará la acción magnética es necesario el uso de un componente controlador que realice estas tareas. Para el control y conversión del voltaje de la celda de carga serán necesarias 4 entradas digitales y para la activación y desactivación del electroimán solo se necesita 1 entrada digital por lo que la tarjeta controladora deberá tener como mínimo 5 pines de entrada y salida digitales. Entre las tarjetas controladoras más simples que podemos encontrar en el mercado la marca más utilizada es Arduino. En la siguiente tabla se realiza la comparación de dos de sus modelos más simples.

Tabla 3.4 Comparación modelos tarjeta Arduino**Fuente:** Elaboración Propia

Tarjeta controladora	Nº de pines digitales I/O	Velocidad reloj interno (MHz)	Dimensiones en mm (L x W)	Precio referencial (S/.)
Arduino Nano	22	16	18 x 45	74
Arduino UNO	14	16	68.6 x 53.4	82

Tomando en cuenta las características de ambas tarjetas controladoras se puede observar que son muy similares en los aspectos que se usarán dentro del sistema tales como el número de pines digitales y velocidad de reloj interno. Sin embargo, otro aspecto que podemos incluir para la elección de la tarjeta controladora es el tipo de conexión para la alimentación de la misma que para la solución elegida es un adaptador de corriente. Finalmente, con este último criterio se decide que la tarjeta controladora a utilizar será Arduino UNO cuyas especificaciones se muestran a continuación.

**Figura 3.7** Arduino UNO
Fuente: Naylamp Mechatronics**Tabla 3.5** Especificaciones técnicas Arduino UNO**Fuente:** Elaboración Propia

Especificaciones técnicas	
Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada	7 - 12V
Nº de pines digitales I/O	14
Corriente DC pin I/O	20mA
Velocidad reloj interno	16MHz
Dimensiones (L x W)	68.6 x 53.4 mm

Fuente de alimentación

Para la elección de este componente se tomará en cuenta la portabilidad que se necesita por parte del dominio electrónico. Dado que la celda de carga y el electroimán son los únicos componentes que irán acoplados al gripper se puede disponer del resto de elementos electrónicos por separado por lo cual no será necesario utilizar una batería del tipo LiPo o NiCd. Tomando en cuenta este requerimiento se utilizará una fuente de alimentación del tipo adaptador que transformará voltaje alterno en continuo dentro de los límites permitidos para la tarjeta controladora. Cabe resaltar que para la protección eléctrica del electroimán (y del resto del circuito) se utilizará un diodo. Las especificaciones de este componente se muestran a continuación.



Figura 3.8 Adaptador 12V 1A
Fuente: Amazon

Tabla 3.6 Especificaciones técnicas adaptador 12V 1A

Fuente: Elaboración Propia

Especificaciones técnicas	
Voltaje de entrada	100 - 240 VAC 50/60 Hz
Salida	12VDC 1A
Longitud de cable	90cm

Electroimán

Para este componente se tendrá un electroimán cuya fuerza magnética será activada y desactivada según se requiera o no el traslado del material quirúrgico a clasificar. Los

parámetros a considerar son principalmente el tamaño de este elemento y el peso máximo de carga que puede soportar (los elementos quirúrgicos tienen un peso de 300 – 500g aproximadamente). El electroimán seleccionado para esta tarea se muestra a continuación junto con sus especificaciones técnicas.



Figura 3.9 Electroimán 12V
Fuente: Amazon

Tabla 3.7 Especificaciones técnicas electroimán 12V

Fuente: Elaboración Propia

Especificaciones técnicas	
Dimensiones	25 \varnothing x 20 mm
Peso máximo soportado	5kg
Peso	50g

Celda de carga

Para medir la fuerza de contacto entre el gripper y el material a trasladar se hará uso de una celda de carga que nos devuelva dicho valor y en caso sobrepase un umbral definido empíricamente se activará la acción magnética del electroimán. Adicionalmente, es necesario el uso de un amplificador de voltaje ya que estas celdas trabajan con valores de señal de salida en el rango de milivoltios. Por tal motivo se hará uso de una tarjeta amplificadora que realice esta transformación numérica de valores de voltaje y las envíe a la tarjeta controladora. Cabe resaltar que un factor importante para la selección de este componente son las dimensiones que posee ya que el *gripper* magnético a diseñar es de dimensiones pequeñas en su estructura

principal. A continuación, se muestran tanto la celda de carga como la tarjeta amplificadora con sus especificaciones técnicas.



Figura 3.10 Celda de carga FUTEK

Fuente: FUTEK

Tabla 3.8 Especificaciones técnicas celda de carga

Fuente: Elaboración Propia

Especificaciones técnicas	
Peso máximo soportado	2.26kg
Rango de salida	1.5 - 2.25 mV/V
Voltaje de excitación recomendado	10 VDC/VAC

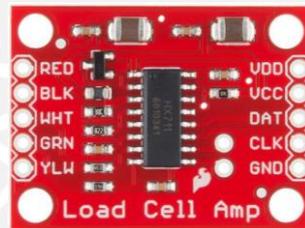


Figura 3.11 Amplificador de voltaje Hx711

Fuente: Sparkfun

Tabla 3.9 Especificaciones técnicas amplificador Hx711

Fuente: Elaboración propia

Especificaciones técnicas	
Voltaje de operación	2.7 - 5V
Corriente de operación	1.5mA

Cámara DSLR

Este componente es el que se usará al inicio del proceso para capturar la escena de trabajo donde se encontrará el material quirúrgico a identificar. Para realizar dicha tarea es necesario utilizar una cámara de alta resolución con capacidad de capturar los objetos con buen contraste y nivel de detalle ya que se necesita una nitidez considerable para captar los códigos QR insertados en cada instrumento. En este caso se eligió una cámara genérica del tipo DSLR ya que poseen una alta resolución y versatilidad. Cabe resaltar que para las pruebas de concepto se utilizó un dispositivo móvil de alta gama que simule esta resolución necesaria, sin embargo, la calidad en general de la imagen se diferencia en la forma de adaptarse y capturar la luz en diferentes entornos. A continuación, se muestra la cámara DSLR escogida junto a sus especificaciones técnicas.



Figura 3.12 Cámara DSLR Nikon D3500
Fuente: Amazon

Tabla 3.10 Especificaciones técnicas cámara DSLR Nikon D3500

Fuente: Elaboración propia

Especificaciones técnicas	
Píxeles efectivos (MP)	24.2
Tamaño máximo de imagen	6000 x 4000
Sensibilidad	ISO 100 - 25600

Caja de paso

Los componentes electrónicos se ubicarán dentro de una caja de paso desde donde se realizarán las conexiones tanto para los elementos acoplados al *gripper* diseñado como para energizar al sistema. Se elige este tipo de contenedor por la facilidad que proporciona para componentes electrónicos y su variedad de dimensiones. El modelo elegido es de tipo octogonal con medidas 10 cm x 10cm y 4,5cm suficiente para alojar a los componentes (sujetados mediante cinta de doble contacto para mayor portabilidad) como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3.13 Caja de paso octogonal para componentes electrónicos
Fuente: Promart

Dado que se requiere un circuito de control para activar y desactivar el electroimán se procederá a determinar y calcular el diodo de protección, transistor y resistencia del transistor siguiendo el siguiente circuito:

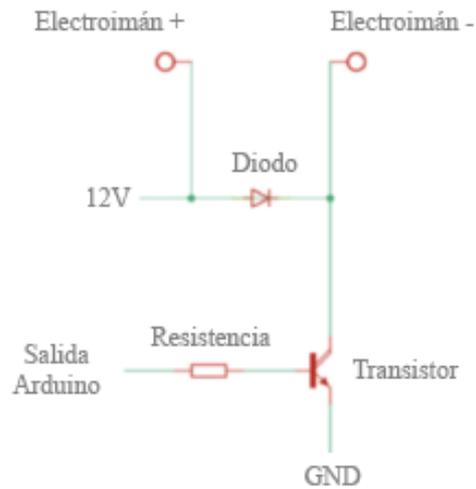


Figura 3.14 Circuito de control electroimán
Fuente: Elaboración propia

Diodo de protección

Este elemento se determinará dependiendo del voltaje y corriente a donde se conecte que, por lo general, es en contacto directo con la fuente de alimentación. Para el circuito propuesto la única carga presente es el electroimán por lo que se usarán los valores máximos de este elemento para seleccionar el diodo.

$$V_{\text{electroimán}} = 12V$$

$$P_{\text{electroimán}} = 4W$$

$$I_{\text{electroimán}} = \frac{4W}{12V} = 0.33A$$

Teniendo estos valores debemos asegurarnos que el voltaje y corriente máximos del diodo soporten estas condiciones. El diodo seleccionado es 1N4004 el cual es un modelo muy utilizado y accesible en el mercado. Los valores máximos de este diodo son los siguientes (revisar Anexo C):

$$V_{\text{máximo bloqueo}} = 400V$$

$$I_{\text{directa máxima}} = 1A$$

Como vemos ambos valores de corriente y voltaje son mayores a los que proporciona la carga por lo que podemos asegurar que en condiciones de operación el diodo funcionará correctamente.

Transistor

Este elemento se elegirá dependiendo de la carga que se tenga el cual en este caso es el electroimán. Dado que el voltaje de esta carga es mediamente elevado se podría elegir un transistor de baja o mediana potencia, sin embargo, dado que se quiere hacer al sistema lo más versátil posible en caso que se requiera que el robot manipule materiales metálicos más pesados se requerirá un electroimán diferente ya sea de mayor voltaje o potencia. El transistor seleccionado será el BJT Darlington NPN que posee rangos de valores máximos mayores a otros transistores comúnmente usados para cargas de 12V o menos. Los datos de este transistor que se usarán para el cálculo de la resistencia del mismo son los siguientes (revisar Anexo C):

$$V_{\text{máximo colector} - \text{emisor}} = 60V$$

$$I_{\text{máxima colector}} = 5A$$

$$\beta_{\text{ganancia corriente DC}} = 1000$$

Resistencia de transistor

Para conocer el valor de este elemento necesitaremos conocer tanto el voltaje y corriente que circula por la base. El primer paso será calcular la corriente de base la cual esta relacionada con la corriente de colector proporcionalmente a la ganancia de corriente. La corriente de colector en este caso será igual a la corriente del electroimán por lo que resulta:

$$I_{\text{colector}} = I_{\text{base}} * \beta$$

$$0.33A = I_{\text{base}} * 1000$$

$$I_{\text{base}} = 0.33mA$$

Normalmente, a este valor de corriente se le aplica un multiplicador de factor de seguridad a modo de protección. Utilizaremos un factor de seguridad de 3 de tal manera que el valor de esta corriente se convierta en un valor entero.

$$I_{base\ seguridad} = I_{base} * 3$$

$$I_{base\ seguridad} = 1mA$$

El siguiente paso será calcular la resistencia de la siguiente manera:

$$V_{base} = I_{base\ seguridad} * R_{base}$$

El voltaje de base proviene del elemento en conexión con la resistencia y en este caso es la salida digital de un pin del controlador Arduino. Cada pin de este controlador entrega 5V durante operación por lo que nos queda:

$$5V = 1mA * R_{base}$$

$$R_{base} = 5k\Omega$$

Teniendo este valor se procede a seleccionar una resistencia que cumpla con este valor y dado que las resistencias se encuentran en diversos modelos se elegirá una comercial y de bajo costo.

La resistencia seleccionada es la MF50 5K1 cuya hoja de datos se detalla en el anexo C.

Finalmente, en la Figura 3.10 se muestra el diagrama esquemático de los componentes electrónicos a usar.

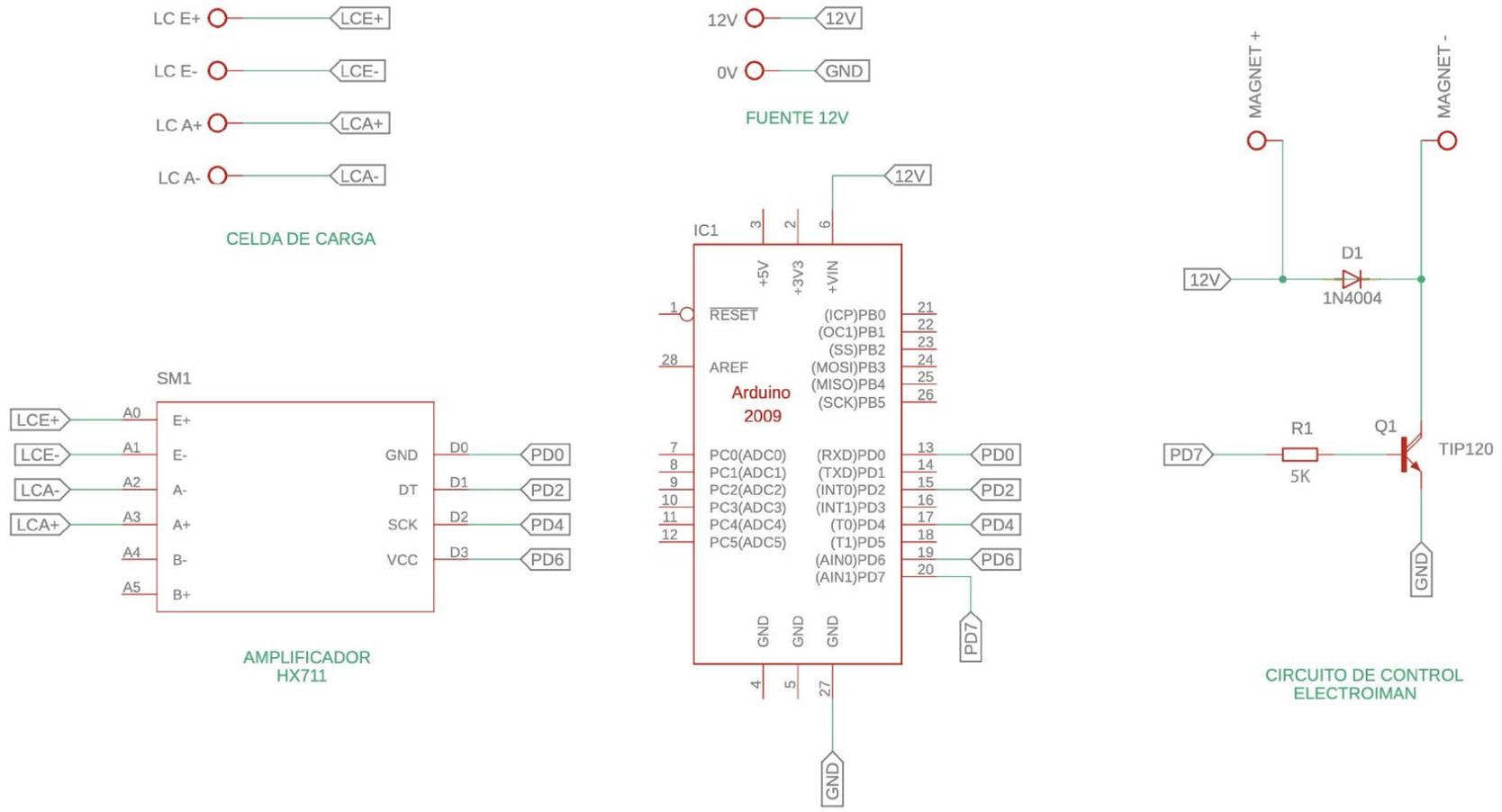


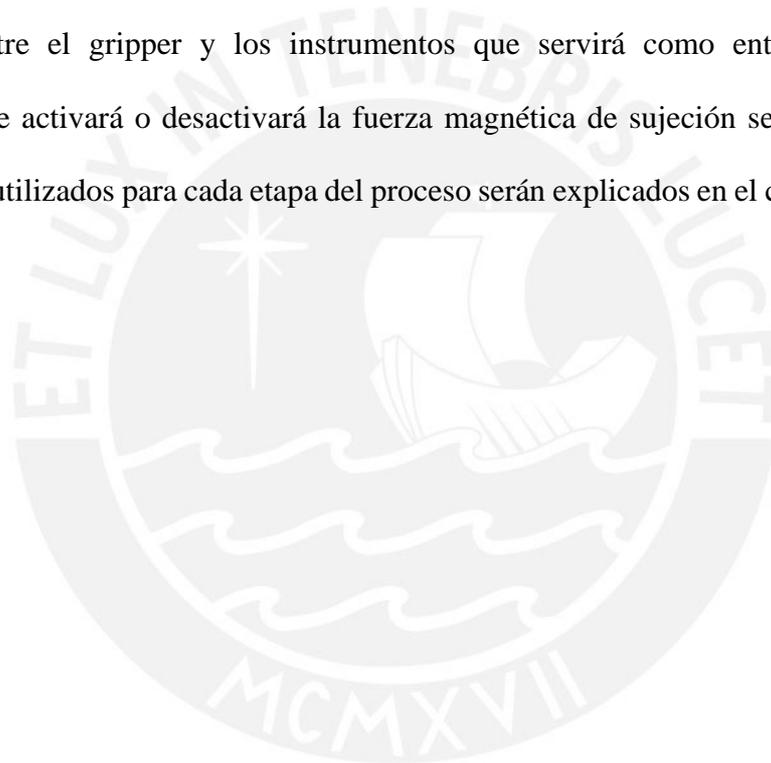
Figura 3.15 Diagrama esquemático dominio electrónico
Fuente: Elaboración propia

3.4 Dominio de control

La lógica general del sistema de reconocimiento y clasificación se describe a continuación.

3.4.1 Diagrama de flujo lógica de identificación y clasificación del material

En este diagrama se describirá la secuencia de pasos a seguir por el sistema para la identificación del material quirúrgico obteniendo la posición de cada uno de los instrumentos dentro de la escena capturada por la cámara DSLR y de esta manera ser trasladados por el robot Baxter. Adicionalmente, en este bloque se incluirá la secuencia lógica del sensado de la fuerza de contacto entre el gripper y los instrumentos que servirá como entrada a la tarjeta controladora que activará o desactivará la fuerza magnética de sujeción según corresponda. Los algoritmos utilizados para cada etapa del proceso serán explicados en el capítulo siguiente.



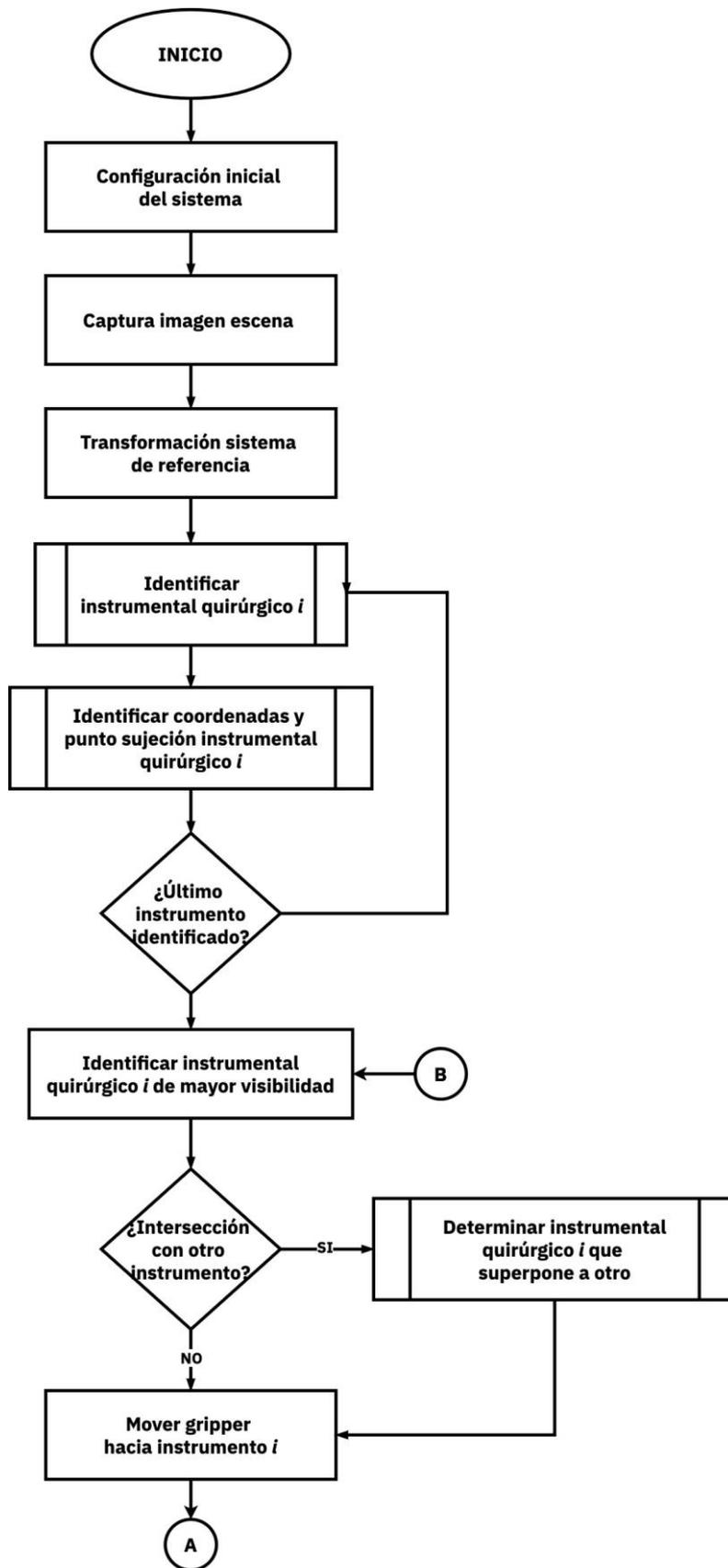


Figura 3.16 Diagrama de flujo sistema mecatrónico general A
Fuente: Elaboración propia

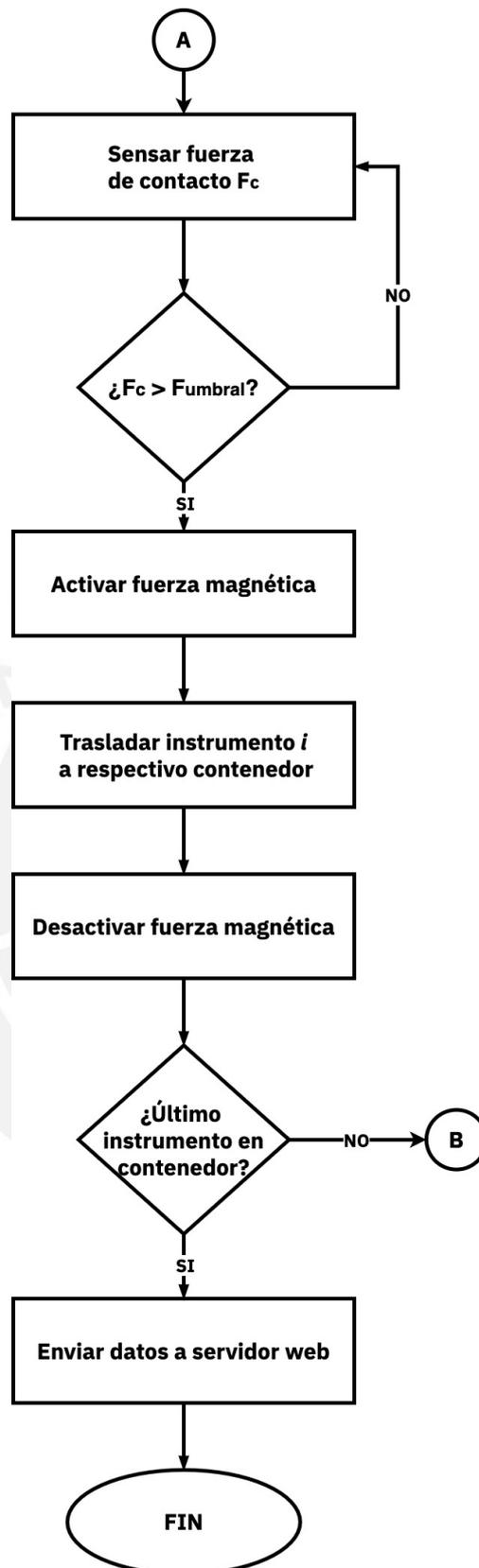


Figura 3.17 Diagrama de flujo sistema mecatrónico general B
Fuente: Elaboración propia

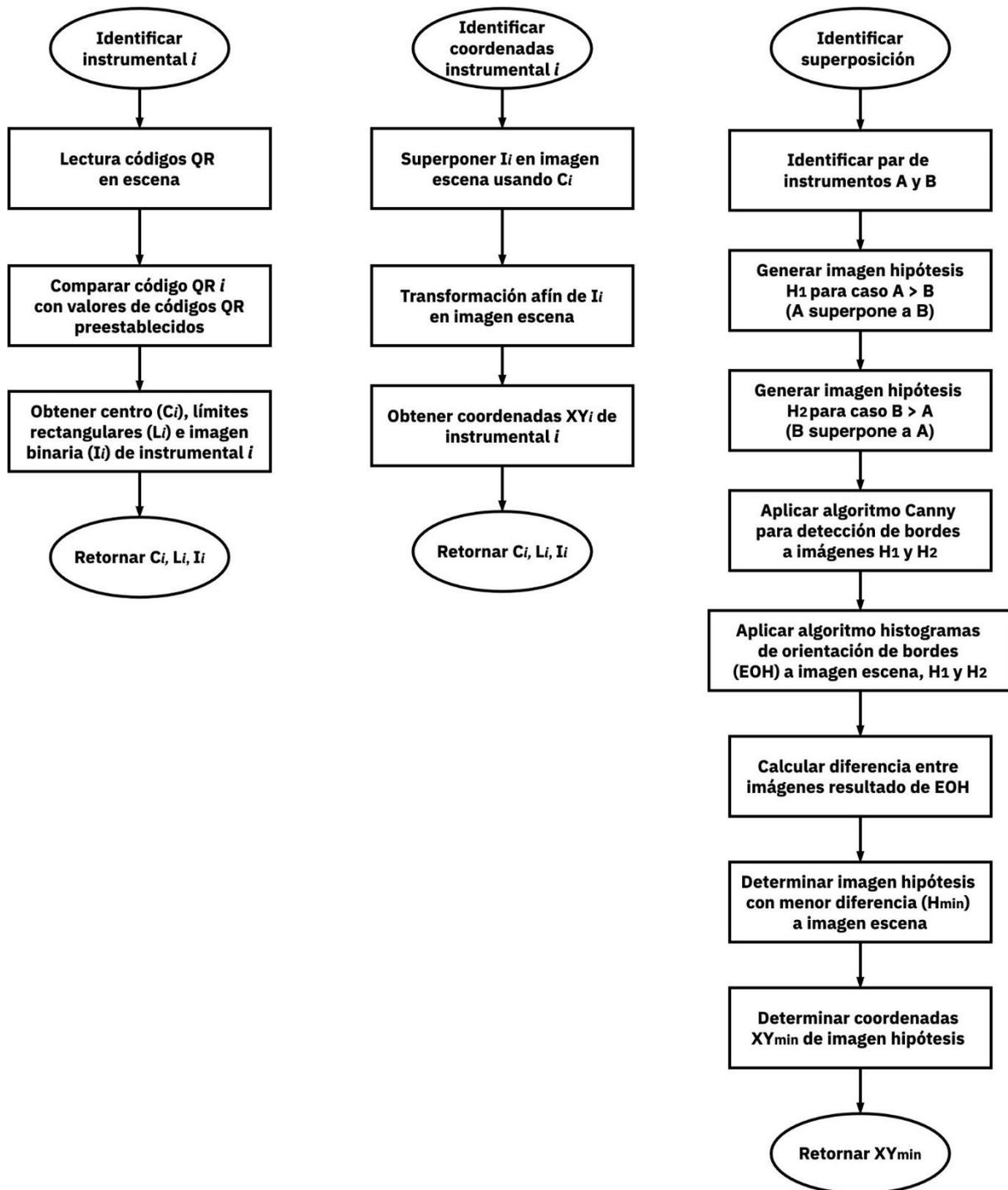


Figura 3.18 Diagrama de flujo sistema mecatrónico subrutinas

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

PRUEBAS DE CONCEPTO Y SIMULACIONES

En este capítulo se presentan las pruebas realizadas con el fin de validar el funcionamiento general del sistema, así como también servir de sustento para la viabilidad del presente trabajo.

Las pruebas realizadas en este capítulo son: prueba del algoritmo de reconocimiento y clasificación del instrumental quirúrgico y simulación de movimientos básicos del robot Baxter para el traslado de instrumentos por coordenadas.

4.1 Prueba de concepto algoritmo de reconocimiento y clasificación

Para esta prueba de concepto se utilizaron los siguientes elementos:

- Imágenes de la escena a trabajar y de material quirúrgico de cuatro diferentes tipos (pinza de disección sin dientes, pinza quirúrgica de extracción, tijera punta roma y mango de bisturí) con una etiqueta de color que simulará al código QR para la identificación inicial de cada material (ver Figura 4.1 y Figura 4.2).
- Las imágenes anteriormente mencionadas fueron tomadas usando un Iphone 11 (12MP y 2000 x 3000 pixeles de tamaño) que simulará a la cámara DSLR (24MP y 6000 x 4000 pixeles de tamaño).
- Adicional a las imágenes de cada instrumento quirúrgico se tienen dos imágenes binarias por cada tipo diferente de instrumento que servirán como máscaras para realizar pasos posteriores del algoritmo.



Figura 4.1 Imagen inicial de la escena de trabajo

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.2 Imagen de instrumental quirúrgico con su respectiva imagen máscara
Fuente: Elaboración propia

Las etapas de esta prueba de concepto se detallan a continuación:

Localización y estimación de posición

Esta etapa empieza con la lectura de todas las etiquetas de color (que simulan a los códigos QR) que sean visibles dentro de la imagen tomada de la escena. Para cada etiqueta detectada se elige una imagen máscara cualquiera de las dos que se tiene para cada tipo de instrumento y se aplica una transformación afín (movimientos de traslación y rotación) para ubicar a la imagen máscara dentro del sistema de coordenadas de la imagen escena inicial (ver Figura 4.3).

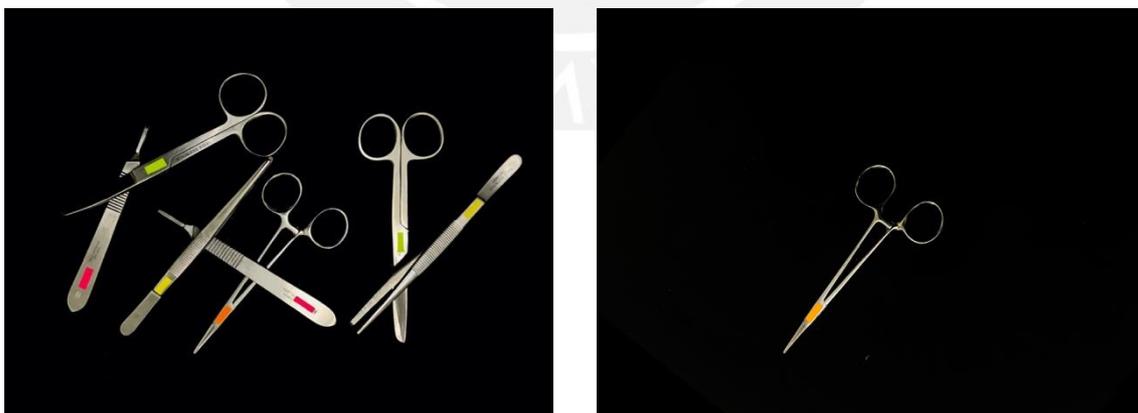


Figura 4.3 Imagen inicial de la escena de trabajo (izquierda) e imagen instrumental identificado ubicado después de aplicar la transformación afín (derecha)
Fuente: Elaboración propia

Mapa de ocupación (*occupancy map*)

Este mapa servirá para definir la jerarquía entre los elementos para determinar cual será el trasladado primero. Para construir esta jerarquía se usará la visibilidad (brillo y contraste) de la imagen escena para determinar que objetos se encuentran más cerca (superponen a los otros) y se les asigna un valor numérico que indique el orden a seguir para los traslados (esta asignación se realiza en el código). Cabe resaltar que para este paso se pueden utilizar técnicas más avanzadas que permitan determinar con mayor precisión esta jerarquía entre elementos, sin embargo, el uso de estas aumenta el tiempo de procesamiento considerablemente y para este caso ya que la imagen escena será actualizada cuando los elementos vayan siendo progresivamente trasladados el error será reducido con cada nueva imagen tomada.

Imágenes hipótesis

Luego de la identificación inicial de los elementos visibles dentro de la imagen escena y de haber definido la jerarquía de traslado para cada uno de los mismos se realiza el proceso de decisión respecto a si el elemento a trasladar superpone o está superpuesto por otro, es decir, sea el elemento A el primero a ser trasladado y posee una intersección con otro elemento B debemos idear una lógica para verificar cual está por encima. Para este proceso se generarán dos imágenes hipótesis para los dos únicos casos posibles entre cada par de elementos: A superpone a B ($A > B$) o B superpone a A ($B > A$). Haciendo uso de las imágenes máscara se generan las imágenes H1 y H2 para los dos casos antes mencionados respectivamente y adicionalmente se toma únicamente la porción de la imagen escena original que incluye a los dos elementos A y B que nos servirá para hacer la comparación final. A ambas imágenes se les aplica un algoritmo de detección de bordes el cual en este caso es el algoritmo de Canny.

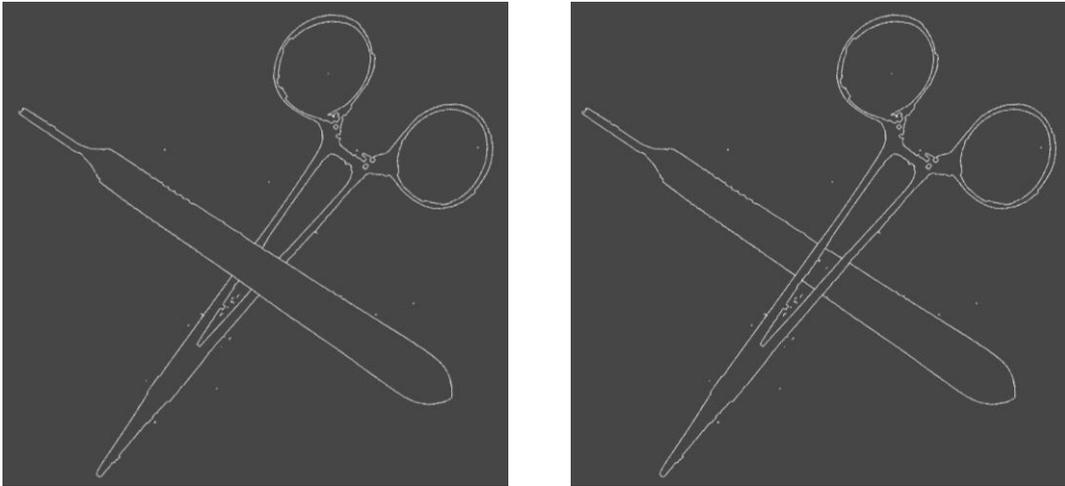


Figura 4.4 Imágenes hipótesis $A > B$ y $B > A$ con algoritmo Canny aplicado

Fuente: Elaboración propia

Algoritmo *Edge Orientation Histograms* (EOH)

Este algoritmo como dice su nombre hace uso de los bordes de una imagen para generar otra imagen de mismas dimensiones a la original pero que contiene información respecto a la orientación de dichos bordes en cada pixel. Este proceso tiene como principal diferencia que en lugar de usar cada pixel de la imagen (como se hace en el algoritmo similar *Histograms of Gradients* HOG) se limita únicamente a trabajar con los bordes que se encuentran en la imagen reduciendo de esta manera el tiempo de procesamiento y focalizando el proceso en general.

Los pasos que sigue este algoritmo se describen a continuación:

- Se aplica un algoritmo que permite obtener los bordes de la imagen de entrada. En el paso anterior de generación de imágenes hipótesis se aplicó el algoritmo Canny para detección de bordes.
- Se elige una ventana o *window* (matriz de dimensiones $n \times n$) que recorrerá toda la imagen y calculará la orientación de cada pixel borde. Las dimensiones de esta ventana se determinarán de forma empírica.
- Se elige el número de *bins* para todo el rango de valores posibles de orientación, es decir, los valores de orientación estarán en el rango de 0 a 360 y si, por ejemplo, se

tiene un valor de 9 para los bins se dividirá dicho rango en 9 subintervalos (0 -40, 40 – 80, ..., 320 - 360) que nos darán finalmente un vector (de dimensiones 1×9 o 9×1) con toda la información en términos de orientaciones para toda la imagen. Este valor se determinará de forma empírica.

- Haciendo uso de la ventana se recorre la imagen de bordes y se calcula la orientación de cada pixel.
- Cada valor obtenido se cuantifica en el subintervalo correspondiente luego de haber dividido el intervalo total entre el número de *bins* (ver Figura 4.5).

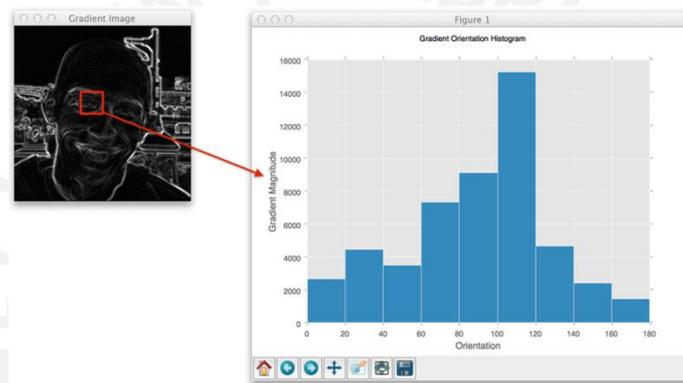


Figura 4.5 Ejemplo de imagen y su respectivo histograma de orientaciones
Fuente: PyImageSearch

- Los resultados obtenidos finalmente son dos: una nueva imagen reconstruida a partir de los valores de la orientación y un vector descriptor de características (*feature descriptor*). Este último es utilizado generalmente como entrada para modelos de inteligencia artificial, sin embargo, en este caso nos limitaremos a una comparación de distancias euclidianas. A continuación, se muestran un par de imágenes hipótesis con el algoritmo EOH aplicado con una ampliación en la zona de intersección (se aplicaron ajustes de brillo y contraste para mayor visibilidad).

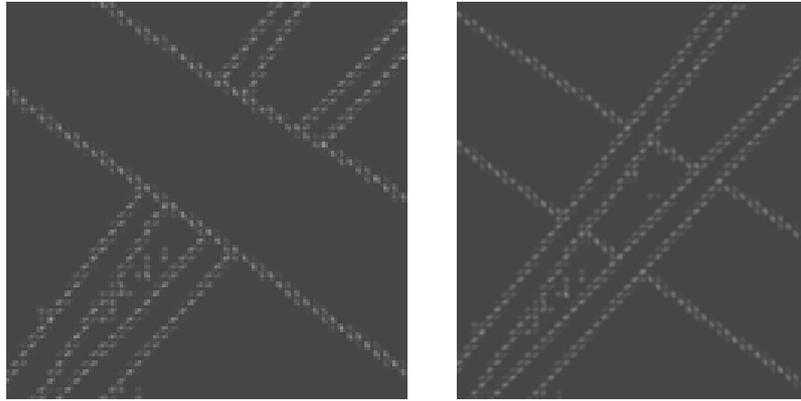


Figura 4.6 Imágenes hipótesis con algoritmo EOH aplicado
Fuente: Elaboración propia

Determinación imagen hipótesis correcta

Para la selección de la imagen hipótesis correcta se aplicará una diferencia de distancias euclidianas entre cada imagen hipótesis y la imagen escena original a las cuales previamente se les aplicará el algoritmo EOH. La imagen hipótesis con el valor mínimo de diferencia respecto a la imagen original será la correcta.

Los pasos previamente explicados se aplicarán a cada par de instrumentos que tengan una intersección entre sí y en caso se tenga más de dos elementos interseccionados se dividirán en grupos de dos para ejecutar todo el algoritmo correctamente.

Las imágenes utilizadas durante toda la explicación de estos pasos muestran la secuencia que sigue el algoritmo y demuestra el resultado final obtenido. Al finalizar el proceso entre cada par de instrumentales se procede con el traslado del material que superpone al otro mediante instrucciones de *software* para un movimiento por coordenadas cuya prueba de concepto se presenta a continuación.

Teniendo esta metodología se realizaron 10 pasadas completas con material quirúrgico dentro de un contenedor teniendo diferentes configuraciones para las posiciones de cada instrumento como instrumentos ligeramente superpuestos por otros, instrumentos medianamente superpuestos en pares e instrumentos totalmente superpuestos en grupos de más de dos. En

cada pasada el contenedor posee entre 6 y 8 instrumentos quirúrgicos. Un total de 90 imágenes fueron capturadas y procesadas (para los casos de superposición). La lectura de cada banda de color en los instrumentos tomó de 0.37 a 0.58s dependiendo de la cantidad de elementos presentes en el contenedor. La determinación del elemento que se encuentra más cerca a la superficie tomó de 0.5 – 0.8s dependiendo de la complejidad en la forma de los instrumentos y el grado de superposición entre los mismos.

El algoritmo de visión por computadora acertó en la detección del instrumento más cercano a la superficie en un 91% (82 de 90 imágenes) y falló ocasionalmente en la detección de las bandas de color y/o elección del elemento a trasladar en un 9% para las configuraciones de superposición total entre pares de instrumentos, sin embargo, en estos casos el algoritmo vuelve a iterar la lógica implementada y logra detectar correctamente el objetivo al 100% en su segundo intento (mediante elección de un par diferente de elementos al del primer intento) recuperándose satisfactoriamente del error.

4.2 Simulación del robot Baxter en entorno Gazebo

La simulación del robot Baxter se desarrolló en el entorno Gazebo de Linux mediante comandos y programas ejecutados en el entorno ROS (*Robot Operating System*). Este entorno es de gran utilidad ya que permite realizar e integrar algoritmos directamente en el robot seleccionado en ambientes realísticos (espacio y tiempo) de tres dimensiones. Con los archivos de simulación distribuidos por el fabricante se exportó el modelo del robot Baxter dentro de este ambiente para simular los movimientos a realizar y recopilar datos importantes de los mismos como velocidad, tiempo utilizado, entre otros. Como primer paso se instaló y configuró ROS (versión Indigo) en un sistema operativo Ubuntu 14.04 para poder utilizar todos los recursos que se relacionan con el robot Baxter. Luego de definir el espacio de trabajo se procedió a interactuar con el simulador del robot en Gazebo el cual posee las herramientas

necesarias para obtener simulaciones utilizando los parámetros que se necesitan como movimiento de las articulaciones por coordenadas y control específico de nodos o *joints* del robot. Los movimientos realizados simulan las posiciones a usar en el presente trabajo de tesis: movimiento inicial hacia los límites de la escena (posición *home*), movimientos de acercamiento hacia cada instrumento por coordenadas y posición final dependiendo del tipo de elemento identificado. A continuación, se muestran imágenes de los movimientos simulados en Gazebo.

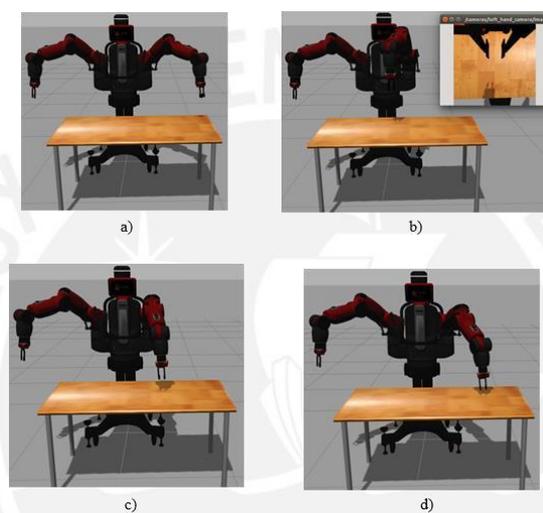


Figura 4.7 Simulación robot Baxter en entorno Gazebo
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la imagen anterior el robot sigue la secuencia establecida para el proceso de clasificación y desplazamiento del instrumental quirúrgico: a) Posición inicial o por defecto, donde el robot se inicializa y desplaza ambos brazos a las posiciones predeterminadas por el fabricante y quedan habilitados para empezar el control de los mismos; b) movimiento hacia un punto superior respecto al contenedor principal donde se encuentra el instrumental previo al movimiento de acercamiento y cabe resaltar además que este entorno de simulación permite capturar imágenes con las cámaras propias del robot a pesar de que no se use en este trabajo de tesis; c) y d) muestran los movimientos del robot hacia las posiciones finales correspondientes por tipo de elemento identificado cuyas ubicaciones son indicadas al robot mediante

coordenadas cartesianas o fijando valores a cada uno de sus nodos o *joints*. Los datos recopilados dentro de estas simulaciones incluyen:

- Velocidad máxima sin carga: 1 m/s en cada brazo
- Velocidad máxima con carga máxima (2.3kg): 0.6m/s en cada brazo
- Tiempo promedio utilizado sin carga: 1.8s
- Tiempo promedio utilizado con carga máxima (2.3kg): 3.2s

Cabe resaltar que se realizó las pruebas con y sin carga ya que los materiales a trasladar son ligeros de aproximadamente de 300 a 500g de peso lo cual equivale a la cuarta parte de la carga máxima soportada por el robot por lo que se podría concluir que para realizar una pasada completa de traslado que incluye acercamiento al instrumento, movimiento a contenedor final y movimiento de retorno a posición inicial se tomaría un valor proporcional de velocidad y tiempo máximo:

- Velocidad proporcional aproximada: 0.9 – 1m/s
- Tiempo promedio proporcional aproximado: 1.8 – 2.2s

Finalizando ambas simulaciones se podría calcular tiempos partiendo del caso que se tenga n instrumentos quirúrgicos por contenedor para ciertos casos:

a) Elementos superpuestos en pares sin fallas

- $(n - 1)$ veces se ejecuta código para detectar elemento que superpone al otro
- n movimientos de traslado
- $Tiempo\ total = (n - 1) \times 0.8s + n \times 2.2s = (3n + 0.8)s$

b) Elementos superpuestos en pares y con 2 fallas en detección de superposición

- $3 \times (n - 1)$ veces se ejecuta código para detectar elemento que superpone al otro
- n movimientos de traslado
- $Tiempo\ total = 3 \times (n - 1) \times 0.8s + n \times 2.2s = (4.6n - 2.4)s$

Estos casos se elaboran como el menos y más favorable respectivamente, sin embargo, pueden existir casos donde se tome más tiempo dependiendo de la complejidad de los materiales a detectar, grado de superposición y porcentaje de acierto de detección del robot por lo que los tiempos calculados a continuación serán usados a modo de referencia.

Para un escenario real donde se tiene en promedio 15 instrumentos quirúrgicos por grupo se tienen los siguientes tiempos para cada caso:

- Caso a)
 - $Tiempo\ total = (15 - 1) \times 0.8 + 15 \times 2.2$
 - $Tiempo\ total = 44.2s$
- Caso b)
 - $Tiempo\ total = 3 \times (15 - 1) \times 0.8 + 15 \times 2.2$
 - $Tiempo\ total = 66.6s$

Finalmente, se obtiene que para un número promedio de elementos a clasificar el tiempo mínimo y máximo para los casos referenciales descritos anteriormente es de 44.2 y 66.6s lo que nos indica que el proceso en general tomaría poco más de 1 minuto para ser completado.

CAPÍTULO 5

PRESUPUESTO

En el presente capítulo se detalla el costo del sistema mecatrónico incluyendo componentes mecánicos cotizados con la entidad VEO PUCP (ver Anexo D) para la fabricación del gripper magnético y los componentes electrónicos que serán importados de diversos proveedores que se muestran en la Tabla 5.1. Los precios incluyen IGV y costos de envío.

Tabla 5.1 Presupuesto componentes del sistema mecatrónico

Fuente: Elaboración propia

Componente	Proveedor	Precio (S/.)
Arduino UNO	Arduino	72,70
Fuente alimentación 12V	Ebay	9,84
Electroimán	Ebay	18,06
Celda de carga	FUTEK	2124
Amplificador de voltaje Hx711	ElectroPeak	14,36
Cámara DSLR	Nikon	1789
Gripper magnético (impresión 3D)	VEO PUCP	178,3
Caja de paso octogonal	Promart	1,80
Precio Total		4208,06

De la tabla anterior se tiene que el costo total de componentes mecánicos y electrónicos es de S/.4208.06 soles aproximadamente para todo el sistema total.

CONCLUSIONES

1. El sistema mecatrónico propuesto cumple con resolver la problemática principal del presente trabajo de tesis, el cual es automatizar tareas de identificación y clasificación de instrumental quirúrgico de manera que el personal encargado del mismo no tenga exposición a riesgos laborales de bioseguridad. Los resultados obtenidos en las pruebas de concepto permiten validar de manera aceptable el desempeño del sistema en las tareas más importantes como lo son el algoritmo de clasificación e identificación y simulación de movimientos ejecutados por el robot Baxter. El algoritmo implementado logra un 91% de acierto en la detección del elemento más cercano a la superficie y requiere de 60 segundos como máximo (44.2s en el caso más favorable y 66.6s en el menos favorable) incluyendo detección y traslado de los instrumentos para un escenario de cantidad de instrumental promedio real. A pesar que las pruebas de concepto no incluyeron todos los posibles casos y/ funcionalidades del sistema, la implementación de las mismas complementaría la validación total del trabajo propuesto.
2. El algoritmo de identificación y clasificación desarrollado permite una versatilidad respecto a los diferentes tipos de instrumental quirúrgicos que pueden ser usados y a su vez presenta una robustez considerable ya que las técnicas de procesamiento utilizadas no reducen su eficiencia con variaciones de factores como la luminosidad, contraste y brillo tanto de la imagen escena inicial como de las imágenes hipótesis de tal manera que se asegura una alta tasa de acierto y precisión del sistema total.
3. Se logró el diseño de un gripper magnético adaptable al robot Baxter de bajo costo y de muy accesible método de fabricación como es la impresión 3D. Adicionalmente, la inclusión de componentes como la celda de carga y electroimán permiten una mayor seguridad y cuidado con los materiales a manipular asegurando de esta manera un proceso continuo y sin repetición de tareas.

RECOMENDACIONES

1. Considerar la resolución de todas las imágenes usadas en cada etapa del proceso (escena inicial e imágenes máscaras de cada tipo de instrumental) ya que a mayor detalle se tenga de los elementos involucrados mayor será la tasa de acierto y efectividad de identificación y clasificación.
2. Las técnicas de procesamiento utilizadas se eligieron tomando en cuenta un ambiente de naturaleza estática, es decir, la posición de la cámara y objetos permanece fija durante el proceso por lo que en caso se tenga un ambiente de naturaleza más dinámica, donde los objetos a analizar cambien su posición, ángulo, dimensionalidad, entre otros; se puede optar por algoritmos más complejos donde el vector de orientaciones obtenido puede ser utilizado como entrada para el entrenamiento de un sistema de inteligencia artificial. Cabe resaltar que para involucrar un sistema de entrenamiento es necesario la generación de data de entrenamiento y de validación y, además, el tiempo de procesamiento puede aumentar considerablemente dependiendo de la complejidad involucrada.
3. El uso de filtros o lentes más avanzados no fue necesario en el presente trabajo, sin embargo, puede ser considerado en caso sea necesario aumentar aún más la resolución de la toma de imágenes o mejorar los factores luminosos del ambiente lo que resulta en un costo considerable que depende directamente del tipo de cámara a usar.
4. El *gripper* magnético y el algoritmo desarrollado pueden ser trasladados a otro tipo de robot y lenguaje de programación. En caso del *gripper*, es necesario únicamente cambiar el diseño de acople al robot a usar manteniendo el resto de la estructura intacta y para el algoritmo bastará con encontrar o implementar las funciones homólogas en el lenguaje de programación deseado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MINSA, “Vigilancia de los factores de riesgo en los ambientes de trabajo, Perú 2011-2012.”
- [2] Ramiro J, Pérez M, Figueroa R, Szyszkowsky R, Cordero J, and Argumanis E, “Manual de Bioseguridad ,” *Minsa*, pp. 1–38, 2004, [Online]. Available: www.minsa.gob.pe/dgsp/.../MANUAL DE BIOSEGURIDAD.pdf.
- [3] A. F. A. Silva, “Mejoramiento de los procesos de la central de esterilización en productos hospitalarios fcv.,” 2012.
- [4] Essalud, “Memoria Anual 2010 del Seguro Social de Salud-EsSalud,” 2010.
- [5] Essalud, “Memoria Anual 2013 del Seguro Social de Salud-EsSalud,” 2013.
- [6] T. Alhart, “GE to Develop Robotic-enabled Intelligent System which could save patients lives and hospitals millions.” .
- [7] R. Robotics, “www.rethinkrobotics.com.” <http://www.rethinkrobotics.com/baxter/>.
- [8] C. Fitzgerald, “Developing baxter,” *IEEE Conf. Technol. Pract. Robot Appl. TePRA*, 2013, doi: 10.1109/TePRA.2013.6556344.
- [9] Y. Xu, X. Tong, Y. Mao, W. B. Griffin, B. Kannan, and L. A. Derose, “A vision-guided robot manipulator for surgical instrument singulation in a cluttered environment,” *Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, pp. 3517–3523, 2014, doi: 10.1109/ICRA.2014.6907366.
- [10] H. Tan *et al.*, “An integrated vision-based robotic manipulation system for sorting surgical tools,” *IEEE Conf. Technol. Pract. Robot Appl. TePRA*, vol. 2015-Augus, 2015, doi: 10.1109/TePRA.2015.7219664.
- [11] W. Li and M. Fritz, “Teaching robots the use of human tools from demonstration with non-dexterous end-effectors,” *IEEE-RAS Int. Conf. Humanoid Robot.*, pp. 547–553, 2015, doi: 10.1109/HUMANOIDS.2015.7363586.

- [12] Y. Gao, H. J. Chang, and Y. Demiris, "User modelling for personalised dressing assistance by humanoid robots," *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, vol. 2015-Decem, pp. 1840–1845, 2015, doi: 10.1109/IROS.2015.7353617.
- [13] J. Howse, "Training detectors and recognizers in Python and OpenCV," *2014 IEEE Int. Symp. Mix. Augment. Real.*, pp. 1–2, 2014, doi: 10.1109/ISMAR.2014.6948516.
- [14] J. Lamer, D. Cymbalak, and F. Jakab, "Computer vision based object recognition principles in education," *2013 IEEE 11th Int. Conf. Emerg. eLearning Technol. Appl.*, pp. 253–257, 2013, doi: 10.1109/ICETA.2013.6674439.
- [15] I. Lenz, H. Lee, and A. Saxena, "Deep Learning for Detecting Robotic Grasps arXiv : 1301.3592v2 [cs.LG] 18 Jan 2013," pp. 1–4.
- [16] A. Pas, K. Saenko, and R. Platt, "Combining Grasp Pose Detection with Object Detection Combined Grasp and Object Detec-," pp. 1–3.
- [17] S. Guennouni and A. Ahaitouf, "Multiple Object Detection using OpenCV on an Embedded Platform," pp. 374–377, 2014.
- [18] A. S. Silva, F. M. Q. Severgnini, M. L. Oliveira, V. M. S. Mendes, and Z. M. A. Peixoto, "Object Tracking by Color and Active Contour Models Segmentation," vol. 14, no. 3, pp. 1488–1493, 2016.
- [19] A. T. Chen and K. I. Wang, "Computer Vision Based Chess Playing Capabilities for the Baxter Humanoid Robot," pp. 11–14, 2016.

ANEXOS

ANEXO A: ALGORITMO Y SUBROUTINAS DE IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN

```

def identificarInstrumentos(imagenes, colores):

    # * Se identifica cada cinta de color en la imagen escena y se obtiene sus coordenadas
    # * Se superpone imagen máscara en la misma ubicación de la cinta de color y se realiza una
    # * transformación afín para posicionar correctamente la máscara. Se repite este proceso para cada cinta
    # * de color detectada en la imagen escena inicial

    centros = []
    angulos = []
    matricesRotacion = []

    # Leer imagen completa y crear imagen background donde se agregara las mascaras de cada identificador de
    # instrumento
    imagen = cv2.imread('imagenes/escena.JPG')
    hh, ww = imagen.shape[:2]
    escena_w, escena_h = Image.open('imagenes/escena.JPG').size
    background = Image.new('L', (escena_w, escena_h))
    imagenGray = cv2.cvtColor(imagen, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    contadorContours = 0

    # Se hace un loop para detectar cada color y la mascara obtenida se agrega al background
    # Se obtiene imagen final con todas las mascaras de cada identificador de instrumento
    for index in range(0, len(coloresMask)):

        lower = np.array(coloresMask[index][0], dtype="uint8")
        upper = np.array(coloresMask[index][1], dtype="uint8")
        mask = cv2.inRange(imagen, lower, upper)
        output = cv2.bitwise_and(imagen, imagen, mask=mask)
        outputGray = cv2.cvtColor(output, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
        blur = cv2.GaussianBlur(outputGray, (5, 5), 0)
        otsuValue, resultImage = cv2.threshold(
            outputGray, 0, 255, cv2.THRESH_BINARY+cv2.THRESH_OTSU)
        cv2.imwrite("masks2/escenaMask" + str(index) + ".png", resultImage)
        background = ImageChops.add(background, Image.open(
            "masks2/escenaMask" + str(index) + ".png"), 1.0, 0)

        kernel = np.ones((10, 10), np.uint8)
        clean = cv2.morphologyEx(resultImage, cv2.MORPH_OPEN, kernel)
        kernel = np.ones((13, 13), np.uint8)
        clean = cv2.morphologyEx(clean, cv2.MORPH_CLOSE, kernel)

        contours = cv2.findContours(
            clean, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
        contours = contours[0] if len(contours) == 2 else contours[1]
        contour_img = imagen.copy()

```

```

rotrect_img = imagen.copy()
i = 1

for c in contours:

    cv2.drawContours(contour_img, [c], 0, (0, 0, 255), 2)

    rotrect = cv2.minAreaRect(c)
    (center), (width, height), angle = rotrect
    centros.append(center)
    box = cv2.boxPoints(rotrect)
    boxpts = np.int0(box)

    new_angle = angle

    if(abs(angle) == 90):
        angle = 0
    else:
        if(abs(boxpts[0][0] - boxpts[1][0]) > abs(boxpts[0][0] - boxpts[3][0])):
            angle = abs(angle)
        else:
            angle = -(90 - abs(angle))

    angulos.append(angle)

    cv2.drawContours(rotrect_img, [boxpts], 0, (0, 0, 0), 10)

    angle = new_angle

    if angle < -45:
        angle = -(90 + angle)
    else:
        if width > height:
            angle = -(90 + angle)

        else:
            angle = -angle

    if(contadorContours == 5):
        angle = angle + 180
    neg_angle = -angle
    mask = np.zeros_like(clean)
    cv2.drawContours(mask, [boxpts], 0, 255, -1)
    blob_img = cv2.bitwise_and(clean, mask)
    M = cv2.getRotationMatrix2D(center, neg_angle, scale=1.0)
    matricesRotacion.append(M)

    deskewed = cv2.warpAffine(
        blob_img, M, (ww, hh), flags=cv2.INTER_CUBIC, borderMode=cv2.BORDER_REPLICATE)

    deskewed = cv2.threshold(

```

```

deskewed, 0, 255, cv2.THRESH_BINARY+cv2.THRESH_OTSU)[1]

cntrs = cv2.findContours(
    deskewed, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
cntrs = cntrs[0] if len(cntrs) == 2 else cntrs[1]
cntr = cntrs[0]
x, y, w, h = cv2.boundingRect(cntr)

crop = deskewed[y:y+h, x:x+w]

i = i + 1
contadorContours = contadorContours + 1

factores_imagenes = [
    ((0.975, 1.175), (1.05, 1.4)),
    ((1, 1.45), (1.15, 0.45)),
    ((1, 1.175), (0.925, 0.155)),
    ((1.05, 1.65), (1.05, 1.65))
]

indice = 0
backgroundFinal = Image.new('RGB', (ww, hh))
backgroundNegro = Image.new('RGB', (ww, hh))

for factor in range(0, len(factores_imagenes)):

    instrumento = Image.open(
        'imagenes2/instrumento' + str(factor + 1) + '.png')

    for arreglo in range(0, len(factores_imagenes[factor])):

        indiceImagenOriginal = factor

        if(not indice == 7):

            centroOriginalRotado = np.dot(np.array(matricesRotacion[indice]), np.array(
                [[int(centrosOriginales[indiceImagenOriginal][0]), [int(centrosOriginales[indiceImagenOriginal][1]),
[1]])

            if(angulos[indice] > 0):

                offset = (- int(- centroOriginalRotado[0][0] / factores_imagenes[factor][arreglo][0] +
centros[indice][0]),
                    int(-centroOriginalRotado[1][0] / factores_imagenes[factor][arreglo][1] + centros[indice][1]))

            else:

                offset = (int(-centroOriginalRotado[0][0] / factores_imagenes[factor][arreglo][0] + centros[indice][0]),
                    int(centroOriginalRotado[1][0] / factores_imagenes[factor][arreglo][1] + centros[indice][1] - hh))

            backgroundFinal.paste(instrumento.rotate(

```

```

    angulos[indice]), offset, mask=instrumento.rotate(angulos[indice]))

    indice = indice + 1

backgroundFinal.save("pasted.png")
backgroundFinal.show()

```

```

import cv2
import numpy as np
from PIL import Image
from matplotlib import cm

def generarImagenesHipotesis(imagen1, imagen2):

    # * Se generan las imagenes hipotesis A > B (A superpone a B) y B > A (B superpone a A)
    # * Las dimensiones de cada imagen hipotesis es igual a las dimensiones de la imagen escena original
    hh = 3024
    ww = 4032

    centroOriginalRotado1 = np.dot(np.array(matricesRotacion[indice1]), np.array(
        [[int(centrosOriginales[indiceOriginal1][0]), [int(centrosOriginales[indiceOriginal1][1]), [1]]]])
    centroOriginalRotado2 = np.dot(np.array(matricesRotacion[indice2]), np.array(
        [[int(centrosOriginales[indiceOriginal2][0]), [int(centrosOriginales[indiceOriginal2][1]), [1]]]])

    if(angulos[indice1] > 0):
        offset1 = (- int(- centroOriginalRotado1[0][0] / factores_imagenes[indiceOriginal1][indiceGrupo1][0] +
centros[indice1][0]),
            int(-centroOriginalRotado1[1][0] / factores_imagenes[indiceOriginal1][indiceGrupo1][1] +
centros[indice1][1]))
        else:
            offset1 = (int(-centroOriginalRotado1[0][0] / factores_imagenes[indiceOriginal1][indiceGrupo1][0] +
centros[indice1][0]), int(
                centroOriginalRotado1[1][0] / factores_imagenes[indiceOriginal1][indiceGrupo1][1] + centros[indice1][1] -
hh))

    if(angulos[indice2] > 0):
        offset2 = (- int(- centroOriginalRotado2[0][0] / factores_imagenes[indiceOriginal2][indiceGrupo2][0] +
centros[indice2][0]),
            int(-centroOriginalRotado2[1][0] / factores_imagenes[indiceOriginal2][indiceGrupo2][1] +
centros[indice2][1]))
        else:
            offset2 = (int(-centroOriginalRotado2[0][0] / factores_imagenes[indiceOriginal2][indiceGrupo2][0] +
centros[indice2][0]), int(
                centroOriginalRotado2[1][0] / factores_imagenes[indiceOriginal2][indiceGrupo2][1] + centros[indice2][1] -
hh))

    backgroundFinal = Image.new('RGB', (ww, hh))

    backgroundFinal.paste(imagen2.rotate(
        angulos[indice2]), offset2, mask=imagen2.rotate(angulos[indice2]))

```

```

backgroundFinal.paste(imagen1.rotate(
    angulos[indice1]), offset1, mask=imagen1.rotate(angulos[indice1]))

backgroundFinal.save("hypothesis/3_1_A.png")

backgroundFinal = Image.new('RGB', (ww, hh))

backgroundFinal.paste(imagen1.rotate(
    angulos[indice1]), offset1, mask=imagen1.rotate(angulos[indice1]))

backgroundFinal.paste(imagen2.rotate(
    angulos[indice2]), offset2, mask=imagen2.rotate(angulos[indice2]))

backgroundFinal.save("hypothesis/3_1_B.png")

backgroundFinal.show()

```

```

import cv2
import numpy as np
from PIL import Image
from skimage.feature import hog

def generarImagenesEOH(I, H1, H2):

    # * Se aplica el algoritmo EOH a las imagenes hipotesis y a la imagen original

    fd, I_hog_image = hog(I, orientations=9, pixels_per_cell=(
        8, 8), cells_per_block=(1, 1), visualize=True)

    fd, H1_hog_image = hog(H1, orientations=9, pixels_per_cell=(
        8, 8), cells_per_block=(1, 1), visualize=True)

    fd, H2_hog_image = hog(H2, orientations=9, pixels_per_cell=(
        8, 8), cells_per_block=(1, 1), visualize=True)

    I_EOH = Image.fromarray(I_hog_image).convert("L")
    H1_EOH = Image.fromarray(H1_hog_image).convert("L")
    H2_EOH = Image.fromarray(H2_hog_image).convert("L")

    I_EOH.save('EOH/3_1.png')
    H1_EOH.save('EOH/3_1_H1.png')
    H2_EOH.save('EOH/3_1_H2.png')

```

```

import cv2
import numpy as np
from PIL import Image

```

```
def distanciaEuclidianaHipotesis(l_EOH, H1_EOH, H2_EOH):
```

```
    l_array = np.array(l_EOH)
```

```
    H1_array = np.array(H1_EOH)
```

```
    H2_array = np.array(H2_EOH)
```

```
    l_H1_diff = np.add(l_array, np.negative(H1_array))
```

```
    l_H2_diff = np.add(l_array, np.negative(H2_array))
```

```
    l_H1_sum = np.sum(l_H1_diff)
```

```
    l_H2_sum = np.sum(l_H2_diff)
```

```
    if(min(l_H1_sum, l_H2_sum) == l_H1_sum):
```

```
        print("Minimum distance: ", "H1")
```

```
    else:
```

```
        print("Minimum distance: ", "H2")
```

CÓDIGO MOVIMIENTOS POR COORDENADAS ROBOT BAXTER

```
#!/usr/bin/env python
```

```
import rospy
```

```
import time
```

```
# baxter_interface - Baxter Python API import baxter_interface
```

```
# initialize our ROS node, registering it with the Master rospy.init_node('Hello_Baxter')
```

```
# create an instance of baxter_interface's Limb class limb_r = baxter_interface.Limb('right')
```

```
limb_l = baxter_interface.Limb('left')
```

```
# get the right limb's current joint angles
```

```
angles = limb_l.joint_angles()
```

```
# print the current joint angles print angles
```

```
# home
```

```
wave_1r = {'right_s0': 3.6018e-06, 'right_s1': -0.5486, 'right_e0': -8.2165e-06,  
'right_e1': 0.7519, 'right_w0': -0.0001, 'right_w1': 1.2587, 'right_w2': 3.1497e-06}
```

```
# Posicion_camara
```

```
wave_2r = {'right_s0': 1.0, 'right_s1': -0.8, 'right_e0': -8.2165e-06, 'right_e1': 0.9,  
'right_w0': -0.0001, 'right_w1': 1.4, 'right_w2': 0.2}
```

```
84
```

```

#pre home
wave_3r = {'right_s0': 0.1, 'right_s1': -0.8, 'right_e0': -8.2165e-06, 'right_e1': 0.7519,
'right_w0': -0.0001, 'right_w1': 1.2587, 'right_w2': 3.1497e-06}

# home
wave_1l = {'left_s0': -3.6018e-06, 'left_s1': -0.5486, 'left_e0': -8.2165e-06, 'left_e1':
0.7519, 'left_w0': -0.0001, 'left_w1': 1.2587, 'left_w2': -3.1497e-06}

# Posicion_camara
wave_2l = {'left_s0': -1.0, 'left_s1': -0.8, 'left_e0': -8.2165e-06, 'left_e1': 0.9, 'left_w0': -
0.0001, 'left_w1': 1.4, 'left_w2': -0.2}

#pre home

#wave_3l = {'left_s0': 0.1, 'left_s1': -0.8, 'left_e0': -8.2165e-06, 'left_e1': 0.7519,
'left_w0': -0.0001, 'left_w1': 1.2587, 'left_w2': 3.1497e-06}

#objeto 1
wave_3l = {'left_s0': -0.6, 'left_s1': -0.25, 'left_e0': 0.1, 'left_e1': 0.7, 'left_w0': 0.0,
'left_w1': 1.1, 'left_w2': 0.4}

#objeto 2
wave_4l = {'left_s0': -0.4, 'left_s1': -0.25, 'left_e0': 0.1, 'left_e1': 0.7, 'left_w0': 0.0,
'left_w1': 1.1, 'left_w2': 0.4}

#objeto 3
wave_5l = {'left_s0': -0.2, 'left_s1': -0.25, 'left_e0': 0.1, 'left_e1': 0.7, 'left_w0': 0.0,
'left_w1': 1.1, 'left_w2': 0.6}

limb_r.move_to_joint_positions(wave_2r)
limb_r.move_to_joint_positions(wave_3r)
limb_r.move_to_joint_positions(wave_1r)

limb_l.move_to_joint_positions(wave_2l)
limb_l.move_to_joint_positions(wave_3l)
limb_l.move_to_joint_positions(wave_2l)
limb_l.move_to_joint_positions(wave_4l)
limb_l.move_to_joint_positions(wave_2l)
limb_l.move_to_joint_positions(wave_5l)
limb_l.move_to_joint_positions(wave_2l)

limb_l.move_to_joint_positions(wave_1l)

# quit quit()

```

ANEXO B: COTIZACIONES

A continuación, se muestra una tabla con los correspondientes enlaces que incluyen el precio de venta de cada componente electrónico provisto por su distribuidor y las proformas de cotización de componentes mecánicos elaborados por las propias empresas proveedoras.

Tabla B.1 Enlaces de cotización componentes electrónicos

Fuente: Elaboración propia

Componente	Enlace de cotización
Arduino UNO	https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3
Fuente alimentación 12V	https://www.ebay.com/itm/US-DC-Power-Adapter-12V-1A-12W-AC-100-240V-Plug-Supply-Cord-For-Led-Light-Strip
Electroimán	https://www.ebay.com/itm/DC-12V-4W-Holding-Electromagnet-Lift-Solenoid-5Kg-11lbs-50N-25mm-New-P-25/141609695166
Celda de carga	https://www.futek.com/store/load-cells/s-beam-load-cells/miniature-s-beam-LSB200/FSH01559
Amplificador de voltaje Hx711	https://electropeak.com/analog-digital-hx711
Cámara DSLR	https://www.amazon.com/-/es/0-709-2-165-3-5-5-6G-adaptador-inversor-corriente
Caja de paso octogonal	https://www.promart.pe/caja-de-luz-octogonal-4-x4--21657/p?gclid=CjwKCAjwr_uCBhAFEiwAX8YJgVxYxTClXirWUN2zQ7roiiw_tVQj6orC_AHIGOyn57gfaLflqG6DxoCTasQAvD_BwE

VEO VICERRECTORADO ADMINISTRATIVO DEL PUCP
PUCP CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MANUFACTURA DIGITAL VEO 3D

FORMATO DE COTIZACIÓN ORDEN N° 16 180
 FECHA 23/11/2016

ESTIMADO (A) Gerardo Valencia -

DATOS DEL CLIENTE
 RUC | DNI | CÓDIGO PUCP
 CORREO ELECTRÓNICO valenciag@pucp.pe
 DIRECCIÓN

DATOS DE SERVICIO
 NOMBRE DE PIEZA | NOMBRE DE ARCHIVO | CANTIDAD | IMPRESORA | MATERIAL | COLOR | COSTO UNITARIO | COSTO TOTAL

NOMBRE DE PIEZA	NOMBRE DE ARCHIVO	CANTIDAD	IMPRESORA	MATERIAL	COLOR	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
Impresión grippers		1	De Vinci	ABS	S/.	151.1	S/.	151.1

SUB TOTAL S/.

IGV 18% S/.

TOTAL S/.

DATOS DE ENTREGA
 TIEMPO DE ENTREGA REFERENCIAL 3 días útiles después de emitida la boleta o factura de pago.
 VIGENCIA DE COTIZACIÓN 30 días.

MÉTODO DE PAGO
 PARA FACTURA O BOLETA: RESEARCHER PUCP. El pago se realiza personalmente con el número de giro emitido por el área.
 PISA: El pago se realiza personalmente en la sala de manufactura digital VEO 3D.
 SOLAMENTE PARA FACTURAS: CENTRO COMERCIAL VEO PUCP. N° 193-215-1409-0-52
 Código Interbancario N° 002-719-002161409012-70

DATOS DE CONTACTO
 FANTASMA INGENIERÍA CARRERA DEL PUCP
 Av. Universidad 1901, San Miguel, Lima 12, Perú
 +51 1 438 0390 Dónde PISA
 Email: veo@pucp.pe
 Web: www.veo.pucp.pe

Figura B.1 Cotización impresión 3D VEO PUCP

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C:

HOJAS DE DATOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Plastic Silicon Rectifiers **multicomp**^{PRO}

**RoHS
Compliant**



Features:

- Low cost
- Diffused junction
- Low leakage
- Low forward voltage drop
- High current capability
- Easily cleaned with Freon, Alcohol, Isopropanol and similar solvents
- The plastic material carries U/L recognition 94V-0

Mechanical Data:

Case	: JEDEC DO-41
Case Material	: Molded Plastic
Terminals	: Axial lead, solderable per MIL-STD-202, Method 208
Polarity	: Colour band denotes cathode
Weight	: 0.012 ounces, 0.34 grams
Mounting position	: Any

Max. Ratings and Electrical Characteristics @T_A = 25°C unless otherwise specified

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit
Max. Recurrent peak reverse voltage	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1,000	V
Max. RMS voltage	V _{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Max. DC blocking voltage	V _{DC}	50	100	200	400	600	800	1,000	V
Max. average forward rectified current 9.5mm lead lengths, @ T _A = 75°C	I _{F(AV)}	1							A
Peak forward surge current 8.3ms single half-sine-wave superimposed on rated load @ T _J = 125°C	I _{FSM}	40							A
Max. instantaneous forward voltage @ 1.0 A	V _F	1							V
Max. reverse current @ T _A = 25°C at rated DC blocking voltage @ T _A = 100°C	I _R	5 50							μA
Typical junction capacitance (Note1)	C _J	15							pF
Typical junction capacitance (Note2)	R _{θJA}	50							°C/W
Operating junction temperature range	T _J	-55 to +150							°C
Storage temperature range	T _{STG}	-55 to +150							°C

Note:

1. Measured at 1MHz and applied reverse voltage of 4V DC.
2. Thermal resistance from junction to ambient.

Newark.com/multicomp-pro
Farnell.com/multicomp-pro
Element14.com/multicomp-pro

multicomp^{PRO}

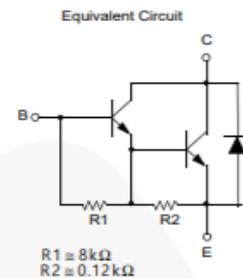
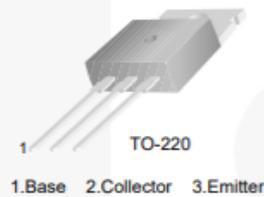


November 2014

TIP120 / TIP121 / TIP122 NPN Epitaxial Darlington Transistor

Features

- Medium Power Linear Switching Applications
- Complementary to TIP125 / TIP126 / TIP127



Ordering Information

Part Number	Top Mark	Package	Packing Method
TIP120	TIP120	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP120TU	TIP120	TO-220 3L (Single Gauge)	Rail
TIP121	TIP121	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP121TU	TIP121	TO-220 3L (Single Gauge)	Rail
TIP122	TIP122	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP122TU	TIP122	TO-220 3L (Single Gauge)	Rail

Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	TIP120	60
		TIP121	80
		TIP122	100
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	TIP120	60
		TIP121	80
		TIP122	100
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	8	A
I_B	Base Current (DC)	120	mA
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature Range	-65 to 150	$^\circ\text{C}$

Precision Metal Film Fixed Resistor Axial Leaded

multicomp PRO



Features

- EIA standard colour-coding
- Non-Flame type available
- Low noise and voltage coefficient
- Low temperature coefficient range
- Wide precision range in small package
- Too low or too high ohmic value can be supplied on a case to case basis
- Nichrome resistor element provides stable performance in various environments
- Multiple epoxy coating on vacuum-deposited metal film provides superior moisture protection

Performance Specification

Temperature Coefficient	: Within the maximum temperature coefficient specified.
Short Time Overload	: $\pm(0.5\% + 0.05\Omega)$ Max. with no evidence of mechanical damage.
Insulation Resistance	: Min. 1,000M Ω
Dielectric Withstanding Voltage	: No evidence of flashover, mechanical damage, arcing or insulation breakdown.
Pulse Overload	: $\pm(1\% + 0.05\Omega)$ Max. with no evidence of mechanical damage.
Terminal Strength	: No evidence of mechanical damage.
Resistance to Soldering Heat	: $\pm(1\% + 0.05\Omega)$ Max. with no evidence of mechanical damage.
Solderability	: Min. 95% coverage
Resistance to Solvent	: No deterioration of protective coating and markings
Temperature Cycling	: $\pm(1\% + 0.05\Omega)$ Max. with no evidence of mechanical damage.
Humidity (Steady state)	: $\pm(2\% + 0.05\Omega)$ Max. with no evidence of mechanical damage.
Load Life in Humidity	: Normal Type : $\pm(1.5\% + 0.05\Omega)$ Max. Non-Flame Type : $\pm(5\% + 0.05\Omega)$ Max.
Load Life	: Normal Type : $\pm(1.5\% + 0.05\Omega)$ Max. Non-Flame Type : $\pm(5\% + 0.05\Omega)$ Max.

Newark.com/multicomp-pro
Farnell.com/multicomp-pro
Element14.com/multicomp-pro

multicomp PRO



Caja Octogonal 4x4"

Nicoll 21657



FICHA TÉCNICA

Características Caja octogonal con acabado PVC, para instalación doméstica y residencial, diseñado como soporte principal para instalar diversos tipos de luminarias, además me permite el paso de los cables y tuberías en conexiones eléctricas.

Observaciones Diseñado para socket, plafones, lamparas colgantes, etc, además es exclusivamente para ductos de hasta 3/4" tipo SAP y 1" tipo SEL.

Recomendaciones De Uso Tener en cuenta siempre usar las herramientas adecuadas antes de realizar la instalación.

Modelo 4x4

Ancho Del Producto 10 cm

Material PVC

Número de piezas 1

Advertencia de uso No manipule con las manos mojadas y mantener fuera del alcance de los niños.

Garantía 1 Año

Profundidad Del Producto 10 cm

Altura Del Producto 4.5 cm

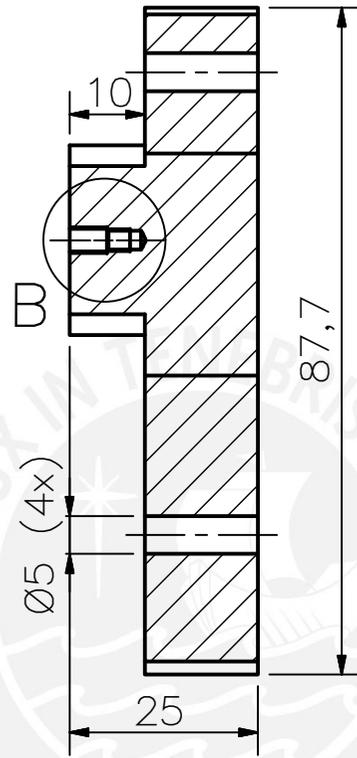
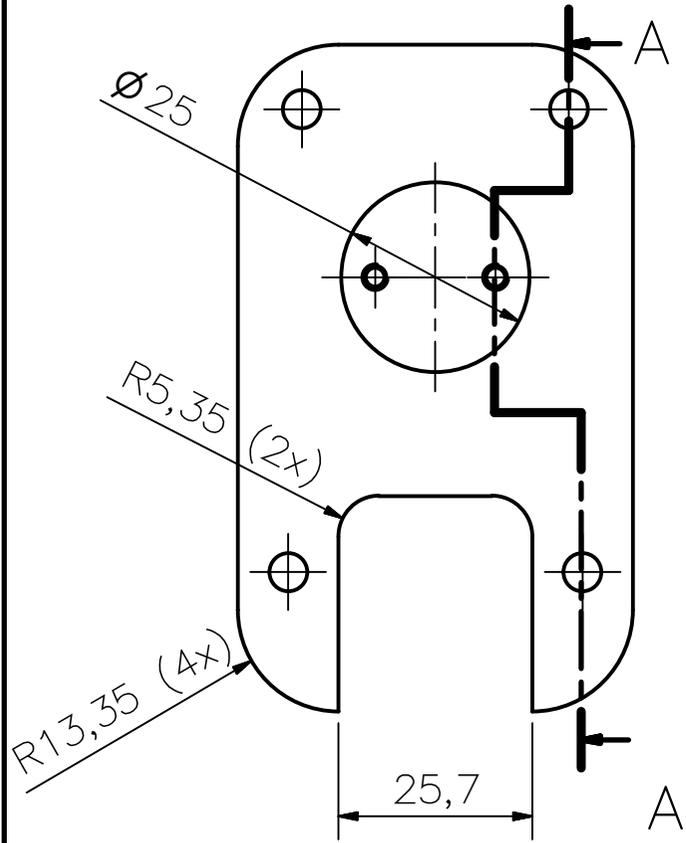
Tipo de Producto Caja

Sub Tipo de Producto Octogonal

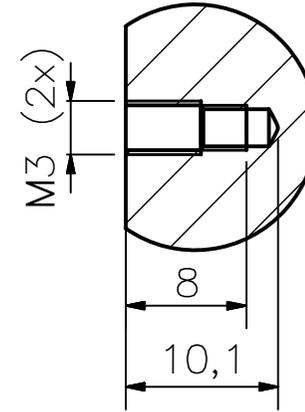
Color Gris

Marca Nicoll

SECCION A - A



DETALLE B

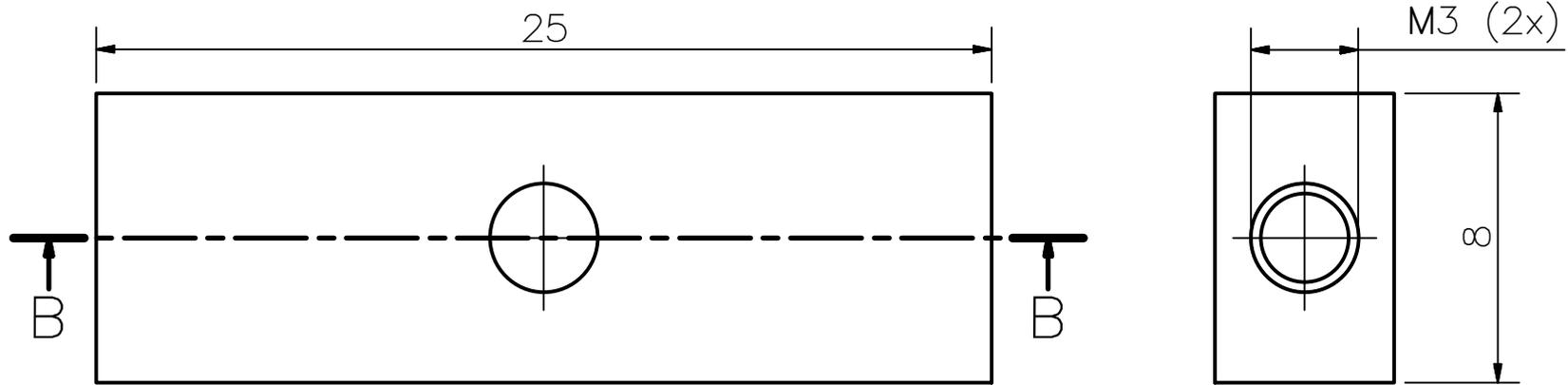


ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ABS
---------------------	--------------------	-----------------

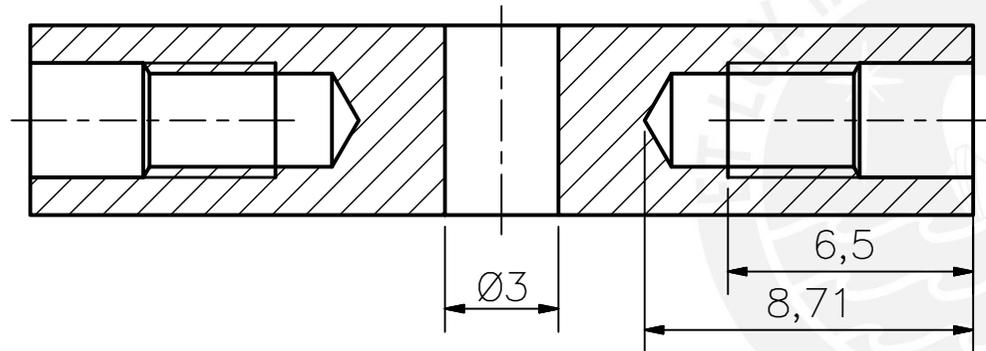
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA

VELOCIDAD MÁXIMA DE IMPRESIÓN	180 mm/s
DENSIDAD	1.04 g/cm ³
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.6 mm
RESOLUCIÓN DE CAPA	200 um
DATOS IMPRESIÓN 3D	

MÉTODO DE PROYECCIÓN	GRIPPER ROBOT BAXTER	ESCALA
	DESPIECE PIEZA SUPERIOR	1:1
ASESOR: A. ANGULO		FECHA: 2020.10.02
VALENCIA MESÍAS, GERARDO ELEAZAR		LÁMINA: P01-A4



SECCION B - B

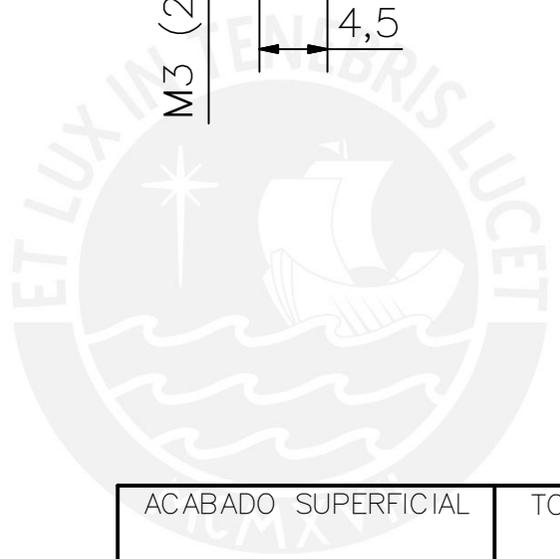
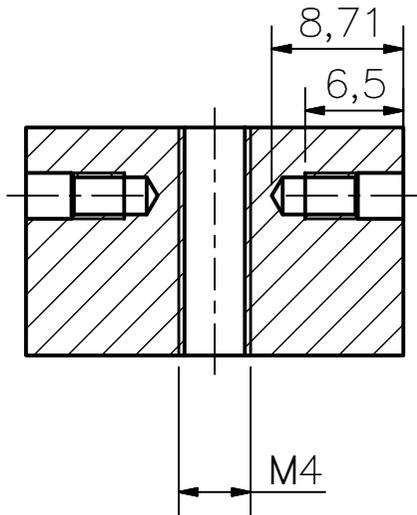
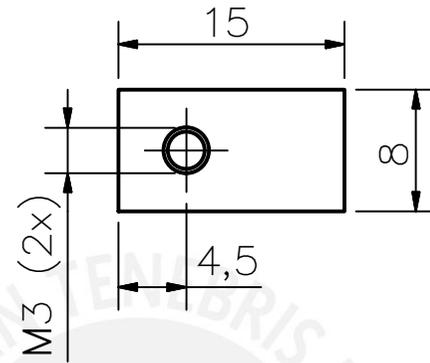


ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ABS
---------------------	--------------------	-----------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

VELOCIDAD MÁXIMA DE IMPRESIÓN	180 mm/s
DENSIDAD	1.04 g/cm ³
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.6 mm
RESOLUCIÓN DE CAPA	200 um
DATOS IMPRESIÓN 3D	

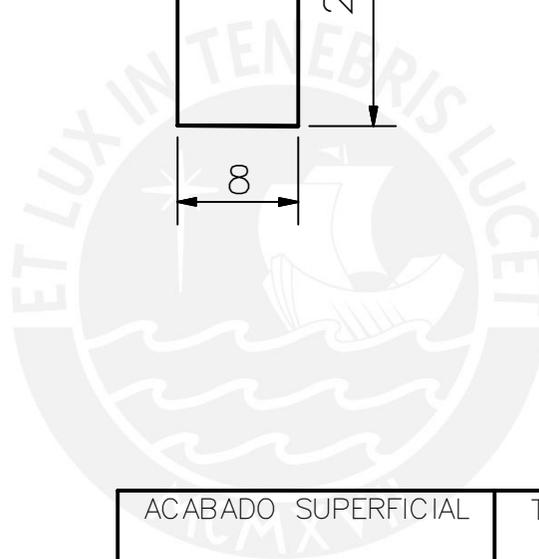
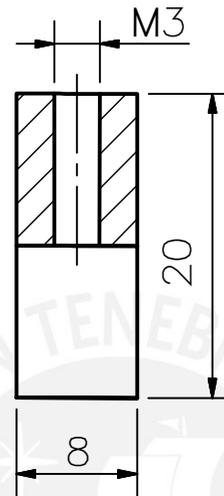
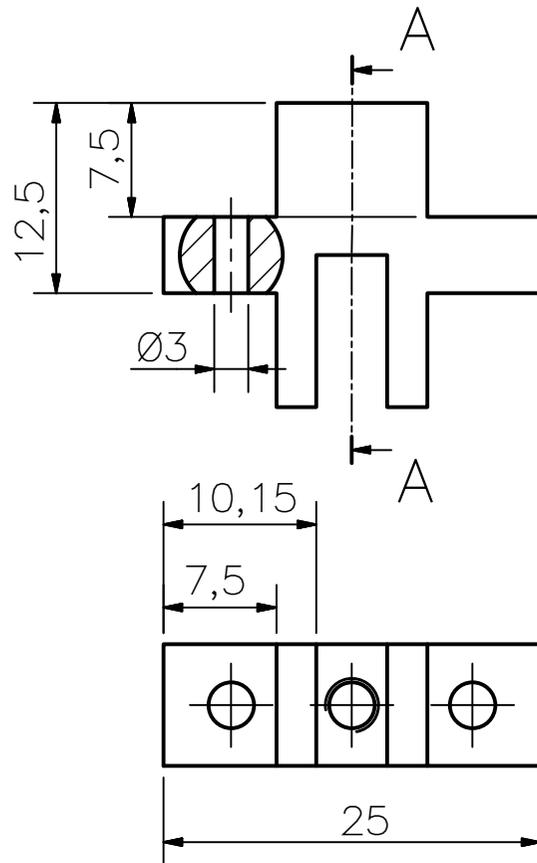
MÉTODO DE PROYECCIÓN	GRIPPER ROBOT BAXTER	ESCALA
	DESPIECE UNION HORIZONTAL	5:1
ASESOR: A. ANGULO		FECHA: 2020.10.02
VALENCIA MESÍAS, GERARDO ELEAZAR		LÁMINA: P03-A4



VELOCIDAD MÁXIMA DE IMPRESIÓN	180 mm/s
DENSIDAD	1.04 g/cm ³
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.6 mm
RESOLUCIÓN DE CAPA	200 um
DATOS IMPRESIÓN 3D	

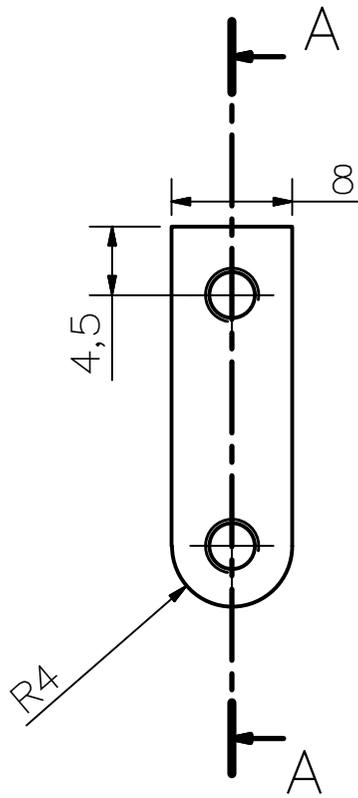
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ABS
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	GRIPPER ROBOT BAXTER	ESCALA
	DESPIECE UNION HORIZONTAL ELECTROIMAN	2:1
ASESOR: A. ANGULO		FECHA: 2020.10.02
VALENCIA MESÍAS, GERARDO ELEAZAR		LÁMINA: P05-A4

SECCION A- A

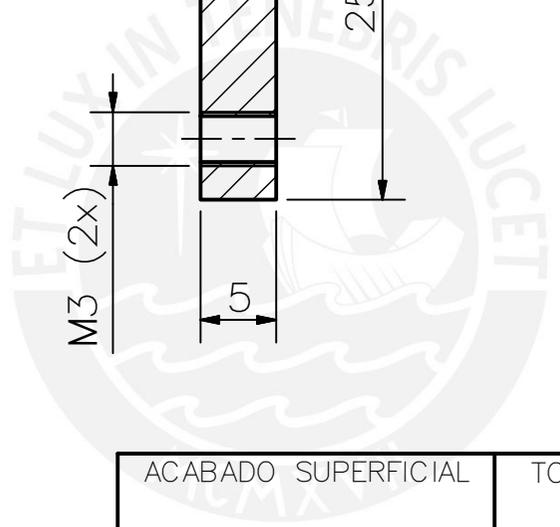
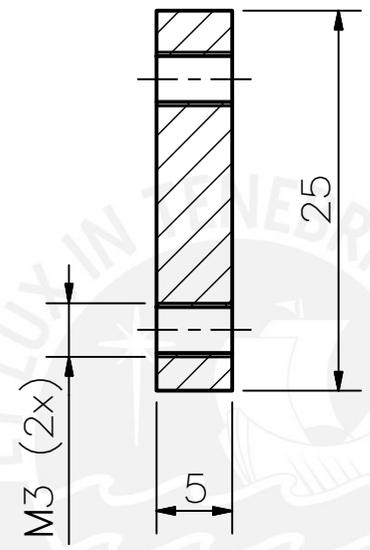


VELOCIDAD MÁXIMA DE IMPRESIÓN	180 mm/s
DENSIDAD	1.04 g/cm ³
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.6 mm
RESOLUCIÓN DE CAPA	200 um
DATOS IMPRESIÓN 3D	

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ABS
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	GRIPPER ROBOT BAXTER	ESCALA 5:1
	DESPIECE UNION MEDIA	FECHA: 2020.10.02
ASESOR: A. ANGULO	VALENCIA MESÍAS, GERARDO ELEAZAR	LÁMINA: P02-A4



SECCION A - A

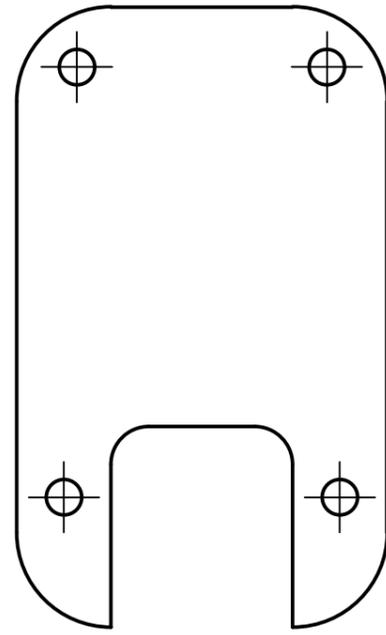


ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ABS
---------------------	--------------------	-----------------

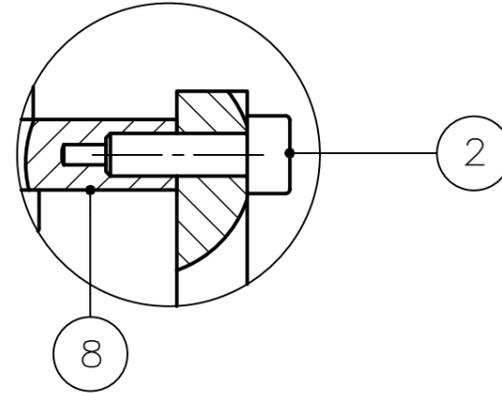
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

VELOCIDAD MÁXIMA DE IMPRESIÓN	180 mm/s
DENSIDAD	1.04 g/cm ³
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.6 mm
RESOLUCIÓN DE CAPA	200 um
DATOS IMPRESIÓN 3D	

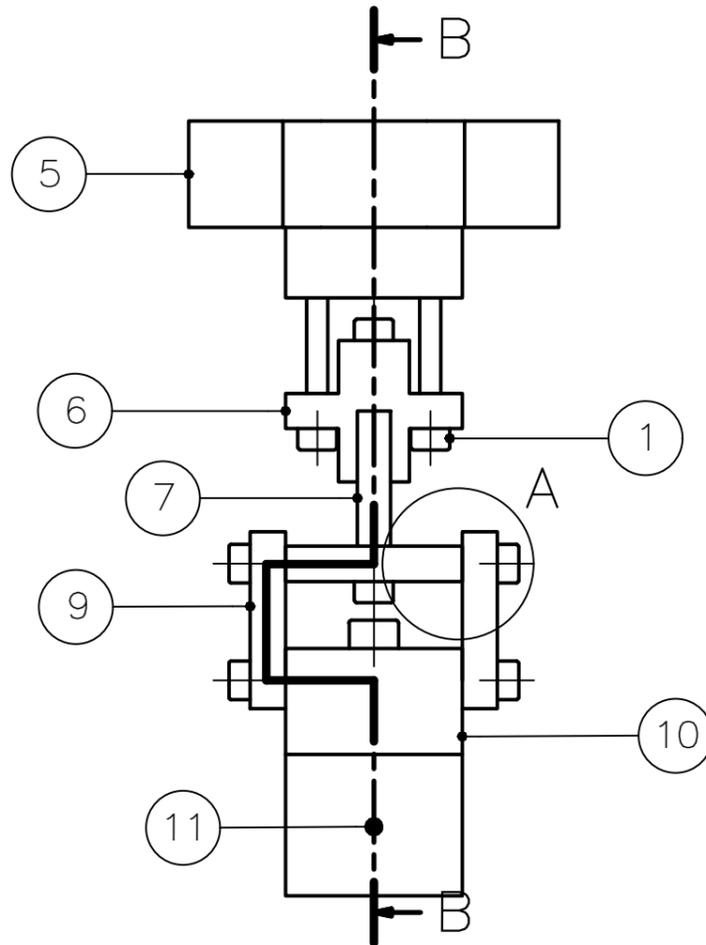
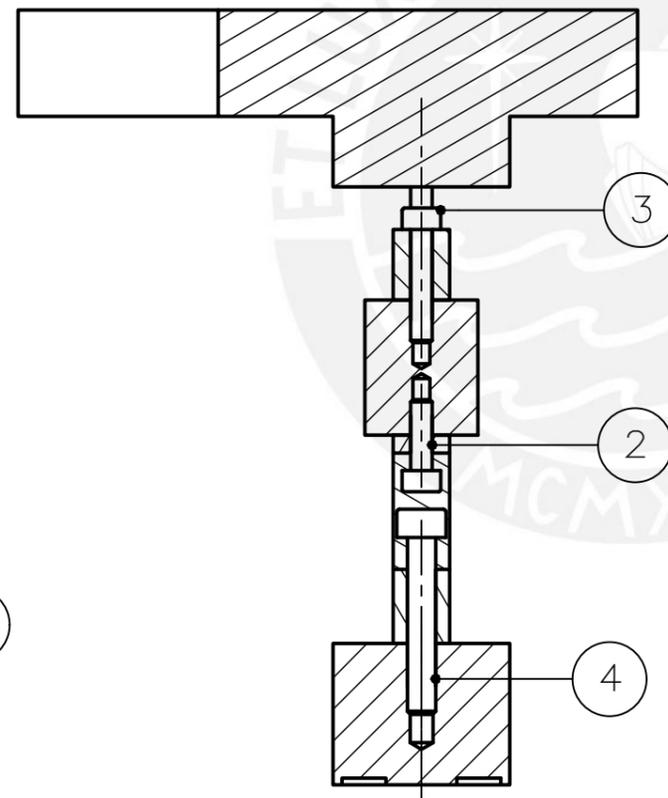
MÉTODO DE PROYECCIÓN	GRIPPER ROBOT BAXTER	ESCALA
	DESPIECE UNION VERTICAL	2:1
ASESOR: A. ANGULO		FECHA: 2020.10.02
VALENCIA MESÍAS, GERARDO ELEAZAR		LÁMINA: P04-A4



DETALLE A
ESCALA 2 : 1



SECCION B-B
ESCALA 1 : 1



1	2	TORNILLO ALLEN M3x25	ISO 4762	AIISI 440C	
2	5	TORNILLO ALLEN M3x10	ISO 4762	AIISI 440C	
3	1	TORNILLO ALLEN M3x16	ISO 4762	AIISI 440C	
4	1	TORNILLO ALLEN M4x25	ISO 4762	AIISI 440C	
5	1	PIEZA SUPERIOR		ABS	PLANO P01
6	1	UNION MEDIA		ABS	PLANO P02
7	1	CELDA DE CARGA		ABS	
8	1	UNION HORIZONTAL		ABS	PLANO P03
9	2	UNION VERTICAL		ABS	PLANO P04
10	1	UNION HORIZONTAL ELECTROIMAN		ABS	PLANO P05
11	1	ELECTROIMAN		ABS	

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
------	-------	-------------	-------	----------	---------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	GRIPPER ROBOT BAXTER	ESCALA
	ENSAMBLE GRIPPER ROBOT BAXTER	1:1
ASESOR: A. ANGULO		FECHA: 2020.10.02
	VALENCIA MESÍAS, GERARDO ELEAZAR	LÁMINA: P00-A3

VELOCIDAD MÁXIMA DE IMPRESIÓN	180 mm/s
DENSIDAD	1.04 g/cm ³
DÍAMETRO DE BOQUILLA	0.6 mm
RESOLUCIÓN DE CAPA	200 um
DATOS IMPRESIÓN 3D	