

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**SISTEMA DE SEGURIDAD ADAPTABLE PARA BRAZOS
ROBÓTICOS**

Tesis para obtener el título de Ingeniero Mecatrónico

Jorge Hernán Luna Gutiérrez

ASESOR: Diego Martín Arce Cigüeñas

Lima, diciembre de 2021

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo diseñar un sistema de seguridad para brazos robóticos adaptable a los principales contextos de operación industrial: traslado de materiales, soldadura y ensamble de piezas; con este sistema se espera brindar una solución libre para la implementación de sistemas de seguridad en líneas de producción de modo que los costos y los tiempos de ingeniería se reduzcan considerando el aumento en el uso de brazos robóticos en la industria peruana.

Los objetivos de la tesis son: el diseño de los subsistemas de sensado y actuación del sistema de seguridad, el diseño de un algoritmo para la configuración estándar de los parámetros iniciales del sistema, la implementación de un prototipo que simule el funcionamiento del sistema, y la estimación de los costos totales del proyecto.

Como principal conclusión del trabajo realizado se diseñó un sistema de seguridad adaptable a al menos tres casos comunes de aplicación industrial de los brazos robóticos con un nivel de desempeño PLb según la norma ISO 13849-1:2015. El sistema de seguridad está compuesto por un PLC y tres sensores especializados para aplicaciones de seguridad. El sistema incluye además elementos de alarma sonora y luminosa para comunicar el nivel de peligro cuando un objeto o persona se acerca lo suficiente al área alrededor del brazo, así como un display indicador de cercanía. En caso el objeto o persona acceda a un área de peligro (Zona Danger), un contactor desconectará la alimentación del brazo robótico.

La presente tesis es la continuación de un trabajo de fin de carrera de la misma autoría (Sistema de seguridad adaptable para brazos robóticos. Trabajo de Fin de Carrera, 2019).

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme poner mis capacidades al servicio de su obra redentora.

A mis padres: Dennys Gutiérrez Aguilar y Frank Luna Tay, por su apoyo constante, constante y constante en los cinco años de estudios de pregrado en la universidad. Y a mi hermano: Frank Luna Gutiérrez, gran persona y futuro ingeniero, por su compañía y consejo.

A mi asesor: Mgtr. Ing. Diego Arce Cigüeñas, por su soporte y motivación en el desarrollo de esta tesis desde una etapa temprana de mi carrera universitaria, y su apoyo en mi introducción a la vida académica y profesional.

A Betsy Guerra, por las largas conversaciones y críticas sobre este documento.

Y a todos mis amigos de la PUCP que hicieron ameno mi paso por las aulas, en especial a aquellos miembros de la Rama Estudiantil IEEE-PUCP, la asociación estudiantil de ingeniería civil EERI-PUCP y el equipo de Wushu-Kung Fu.

INDICE DE CONTENIDO

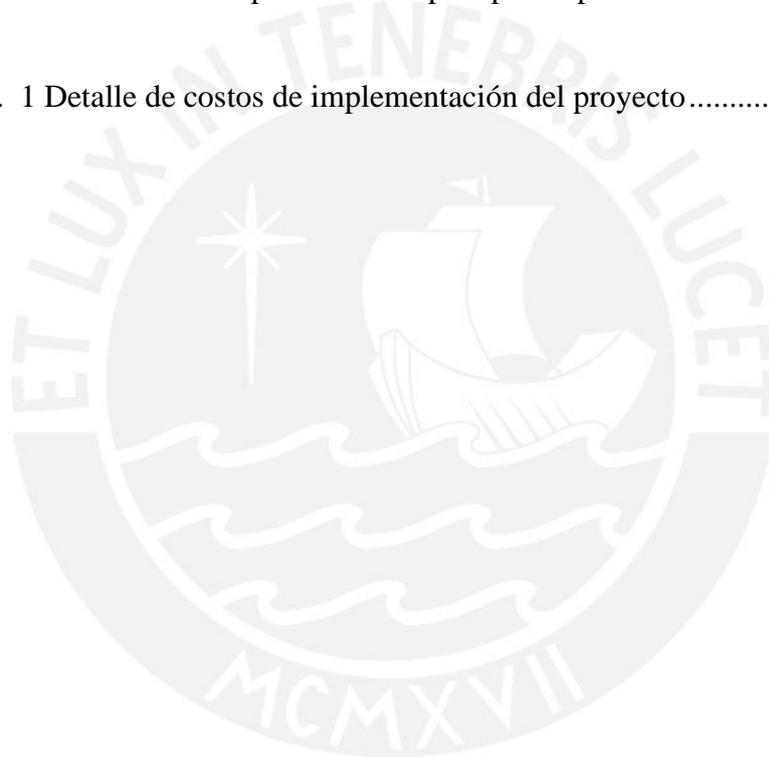
	Pág.
RESUMEN.....	2
AGRADECIMIENTO	3
INDICE DE CONTENIDO.....	I
INDICE DE TABLAS	III
INDICE DE FIGURAS.....	IV
INTRODUCCIÓN	6
ANTECEDENTES.....	7
1.1 Problemática.....	7
1.2 Objetivos	12
1.3 Metodología	13
1.4 Alcance.....	14
1.5 Descripción del concepto de solución óptimo	14
DISEÑO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD PARA BRAZOS ROBÓTICOS.....	16
2.1 Selección de los componentes del sistema.....	16
2.2 Modelo de la estructura y el hardware	29
2.3 Cableado y Conexiones.....	34
2.4 Lógica de control.....	35
IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO	39
3.1 Descripción del experimento.....	40
3.2 Descripción del hardware.....	45
3.3 Resultados del experimento	49
COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	52
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	58

ANEXO A: PLANOS DE FABRICACIÓN DEL SISTEMA.....	60
ANEXO B: DIAGRAMA DE CONEXIONES	61
ANEXO C: PROGRAMA DEL PROTOTIPO	62
ANEXO D: COTIZACIONES DEL SISTEMA.....	66



INDICE DE TABLAS

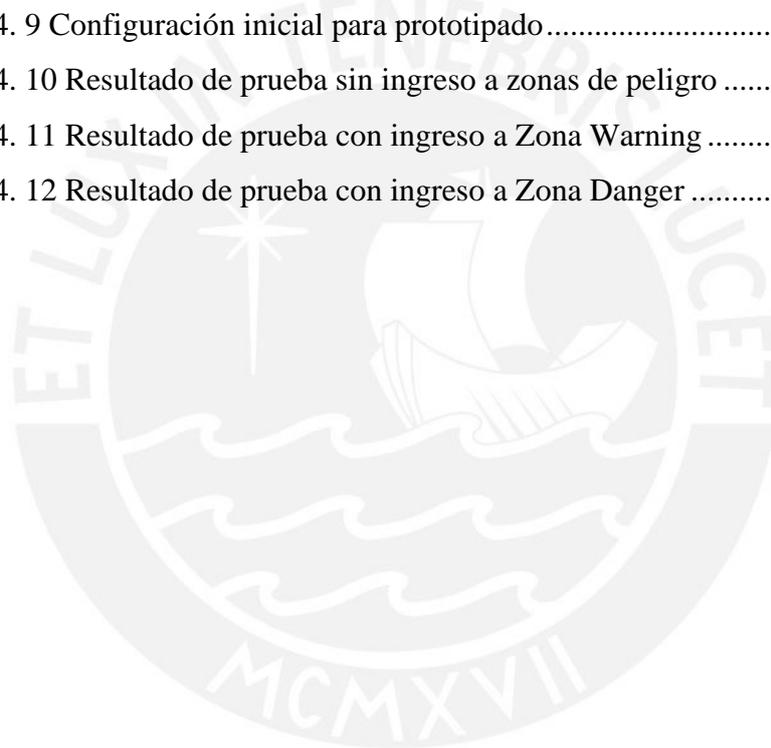
	Pág.
Tabla 2. 1 Selección de sensores escáneres láser	19
Tabla 2. 2 Selección de sensores barreras láser	21
Tabla 2. 3 Selección del PLC de Seguridad.....	26
Tabla 2. 4 Consumo de potencia de los componentes del sistema.....	27
Tabla 2. 5 Definición de variables de control	35
Tabla 3. 1 Coordenadas de puntos límite para prototipado.....	48
Tabla 4. 1 Detalle de costos de implementación del proyecto.....	52



INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. 1 Número de robots industriales instalados por cada 10 mil habitantes en la industria manufacturera en el 2019.....	8
Figura 1. 2 Instalación anual de robots en los 15 mercados más grandes.....	8
Figura 1. 3 Causas de accidentes identificados en el 2020	10
Figura 1. 4 Estadísticas de accidentes en ambientes industriales en el Perú durante el 2018.....	11
Figura 1. 5 Concepto de solución para el sistema.....	15
Figura 3. 1 Diagrama de arquitectura de hardware	17
Figura 3. 2 Diagrama de bloques para conexión de TiM781S.....	20
Figura 3. 3 Conexiones para barrera láser de Tem2 Core.....	22
Figura 3. 4 Botón de parada de emergencia tipo hongo XB5AS8442.....	23
Figura 3. 5 Display LED de 4 cifras	24
Figura 3. 6 Columnas de señalización Harmony XVM.....	25
Figura 3. 7 Contactor TeSysD LC1D18M7	25
Figura 3. 8 Fuente ABL8RPS24050 5A y conexiones	28
Figura 3. 9 Distribución de Zonas del sistema para operaciones en líneas de producción.....	30
Figura 3. 10 Distribución de Zonas del sistema para operaciones de traslado de materiales	30
Figura 3. 11 Modelo 3D del sistema en una aplicación de brazo robótico frente a una faja.....	31
Figura 3. 12 Modelo 3D de la Estación A.....	32
Figura 3. 13 Modelo 3D de la Estación B.....	32
Figura 3. 14 Modelo 3D del panel de control	33
Figura 3. 15 Referencia de posición de los componentes en las estaciones del sistema	33
Figura 3. 16 Modelo 3D del emisor y receptor de la barrera láser.....	34
Figura 3. 17 Opciones de cableado para el sistema	34
Figura 3. 18 Diagrama de Función Principal	37
Figura 3. 19 Diagrama de función Config_System.....	37

Figura 3. 20 Diagrama de función Protect_System	38
Figura 4. 1 Configuraciones de la zona de trabajo.....	41
Figura 4. 2 Definición de puntos de las zonas Warning y Danger.....	42
Figura 4. 3 Definción de la zona intermedia de trabajo	43
Figura 4. 4 Definición de los puntos sensados en el área de interés	44
Figura 4. 5 Diagrama de conexiones del prototipo	46
Figura 4. 6 Prototipado de sensores escáner en las estaciones.....	46
Figura 4. 7 Protoboard con circuitería de control	47
Figura 4. 8 Área de interés para prototipado.....	47
Figura 4. 9 Configuración inicial para prototipado.....	48
Figura 4. 10 Resultado de prueba sin ingreso a zonas de peligro	49
Figura 4. 11 Resultado de prueba con ingreso a Zona Warning	50
Figura 4. 12 Resultado de prueba con ingreso a Zona Danger	50



INTRODUCCIÓN

El escalamiento de la producción y la automatización de las operaciones a nivel global y local han motivado el uso de brazos robóticos como alternativa de solución en procesos de ensamblaje, soldadura, empaquetamiento y transporte en diferentes etapas de líneas de producción. Sin embargo, este crecimiento trajo consigo nuevos riesgos debido a la interacción de estos robots con el entorno de trabajo y el personal de las plantas. La presente tesis ofrece una solución a esta problemática mediante el diseño final de un sistema de seguridad para brazos robóticos industriales, el diseño del algoritmo de control y la construcción del presupuesto final para la implementación.

En el primer capítulo, se plantearán los objetivos, metodología y alcance del trabajo. Asimismo, se describirá el concepto de solución óptimo previamente analizado mediante un trabajo de investigación realizado en materia de seguridad industrial para brazos robóticos (Luna, 2019).

En el segundo capítulo, se realizará el diseño final del sistema mediante la selección de los actuadores y sensores elegidos en el concepto presentado en el Capítulo 1. De la misma manera se presentarán los planos de los elementos estructurales del sistema, así como los diagramas de conexión y control necesarios para su implementación.

En el tercer capítulo, se mostrará la implementación de un prototipo a escala del sistema con el fin de demostrar las capacidades técnicas del sistema. Además, se trabajará con mayor detalle las funciones principales del algoritmo de control presentado en el Capítulo 2 con el fin de aplicarlas en el control del prototipo.

En el cuarto capítulo, se estimarán los costos de la implementación del sistema. Finalmente se presentarán las conclusiones encontradas en el desarrollo de la tesis.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

En el presente capítulo se explica la problemática a solucionar y el contexto global y local que gira en torno a la utilización de brazos robóticos con fines de automatización de procesos de producción. En función al trabajo a realizar, se detallan los objetivos generales y específicos, así como la metodología que se utilizará y el alcance del diseño. Además, se describirá el concepto de solución optimizado en el trabajo de investigación realizado en el 2019 y a partir del cual se elaborará el diseño final.

1.1 Problemática

La automatización ha tenido un despliegue importante respecto a la instalación de robots tanto de servicio como de propósito industrial. Según el reporte anual publicado en 2020 por la Federación Internacional de Robótica, IRF por sus siglas en inglés, el número de robots industriales en operación a nivel global creció en un 12% respecto al 2018, alcanzando la cifra de 2.7 millones de unidades. A partir de la información mostrada en dicho informe, también se aprecia que los países líderes en instalación de robots pertenecen al continente asiático (ver Figura 1), siendo China el primero y habiendo instalado 140 500 unidades en 2019 (ver Figura 2) (Federación Internacional de Robótica, 2020).

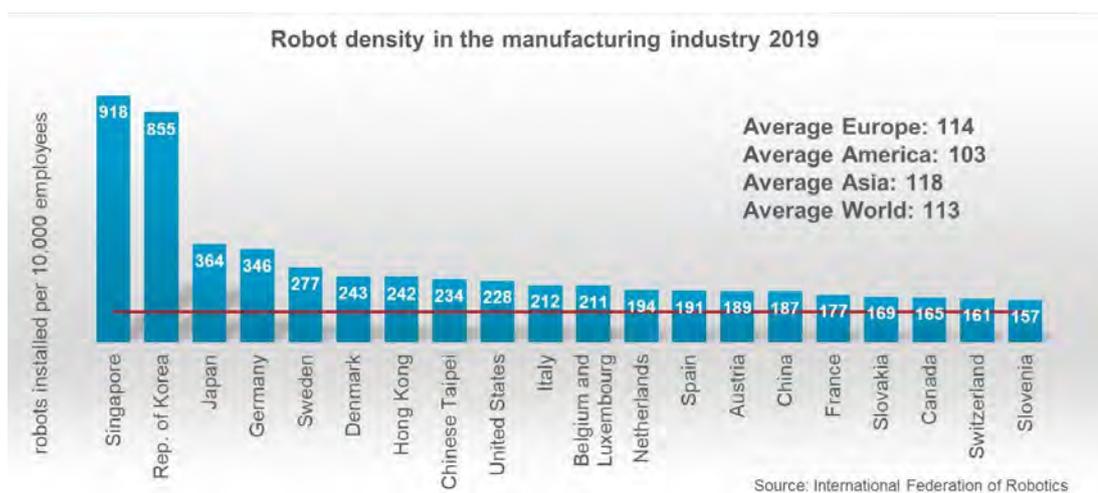


Figura 1. 1 Número de robots industriales instalados por cada 10 mil habitantes en la industria manufacturera en el 2019
Fuente: Federación Internacional de Robótica

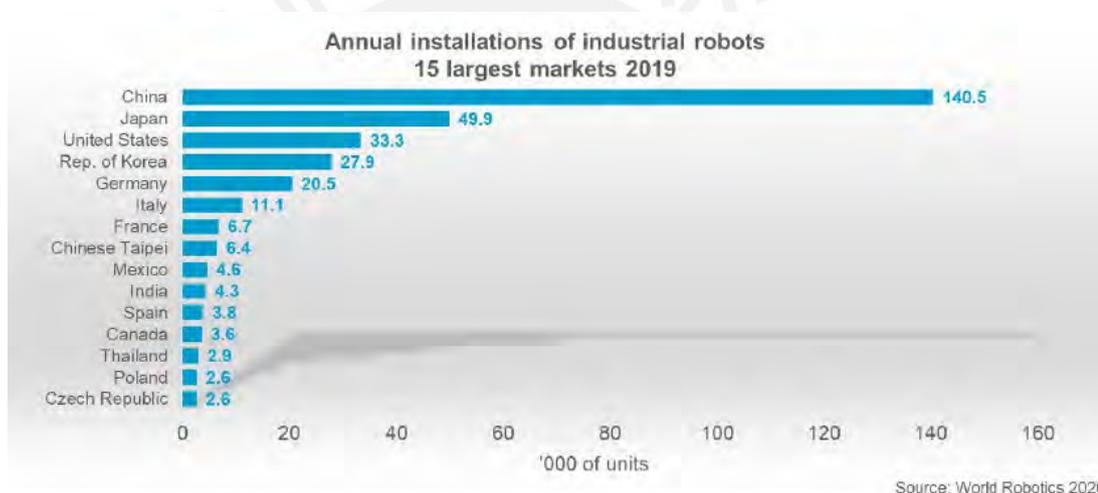


Figura 1. 2 Instalación anual de robots en los 15 mercados más grandes
Fuente: Federación Internacional de Robótica¹

Según el informe “Future of Jobs” publicado el 2020 por el Foro Económico Mundial acerca de la implementación de nuevas tecnologías, más del 60% de las empresas encuestadas implementaría tecnologías de robots no-humanoides (ejem. robots industriales y drones), la cual es una proyección 10% mayor a la prevista en el reporte del 2018 .

¹ Federación Internacional de Robótica. (2018). Informe Anual.

Las principales funciones que realizan los robots instalados hasta el 2019 se encontraban en el sector automotriz (34%), eléctrico/electrónico (25%) y de metal y mecanizado (10%). Además, sus principales aplicaciones fueron las de manipulación (45%), soldadura (24%) y ensamblaje (11%), la automatización de estos procesos también se realiza en el Perú.

Según un estudio realizado conjuntamente por Real Time Management y la Escuela de Dirección de la Universidad de Piura, el 30% de las industrias peruanas ya incluye robots en su proceso productivo; mientras que otro 17% está realizando pruebas con ellos (Ríofrío, 2018). Muestra de este avance es la presencia de marcas internacionales de fabricación de brazos robóticos en el Perú, como lo son KUKA, ABB y Yaskawa, las cuales también lideran dicho sector a nivel global.

Debido a la automatización de las líneas de producción y a la interacción que tienen los brazos robóticos con los productos y el ambiente compartido han aparecido nuevos riesgos para la seguridad del personal que opera y transita en las plantas, evidencia de ello son los múltiples informes de accidentes. En julio de 1984 se documentó el primer caso de la muerte de un empleado en una fábrica de Estados Unidos, el cual intentaba realizar una limpieza de material conglomerado en una zona estrecha y cerca de un robot en funcionamiento (Sanderson, Collins, & McGlothlin, 1986). En los últimos 10 años se han reportado 13 casos de accidentes relacionados a robots a la Administración de Seguridad Ocupacional y Salud del Departamento de Trabajo de Estados Unidos (OSHA), siendo el último en enero del 2021 el cual documenta un accidente fatal por atrapamiento en un robot paletizador.

Ya en la década de los 80's se avizoraba una creciente necesidad de sistemas de seguridad especializados y que permitieran mayor interacción de los operarios con el entorno. Las soluciones de seguridad tradicionales como guardas, vallas y rejas no parecen ser suficientemente efectivas en la prevención de accidentes y son necesarios sistemas con nuevas tecnologías que permitan reducir riesgos cuando el trabajo manual se sitúa muy cerca de la operación del robot (Rahimi, 1986). Entre las principales causas de accidentes relacionadas al comportamiento de los trabajadores se encuentran:

- Ingreso a la zona de peligro alrededor del robots para reparar, realizar mantenimiento o programar secuencias
- Acceso de operadores curiosos
- Ingreso de personal sin autorización a una zona de trabajo con robots
- Operadores realizando ajustes y posicionamientos
- Operadores realizando un cambio de herramienta

En el Perú, según los reportes mensuales del Ministerio de Trabajo y Producción del Empleo, en el año 2020 se informaron de 1048 accidentes cuyas causas fueron Máquinas y Equipos en General como se observa en la Figura 1. 3.

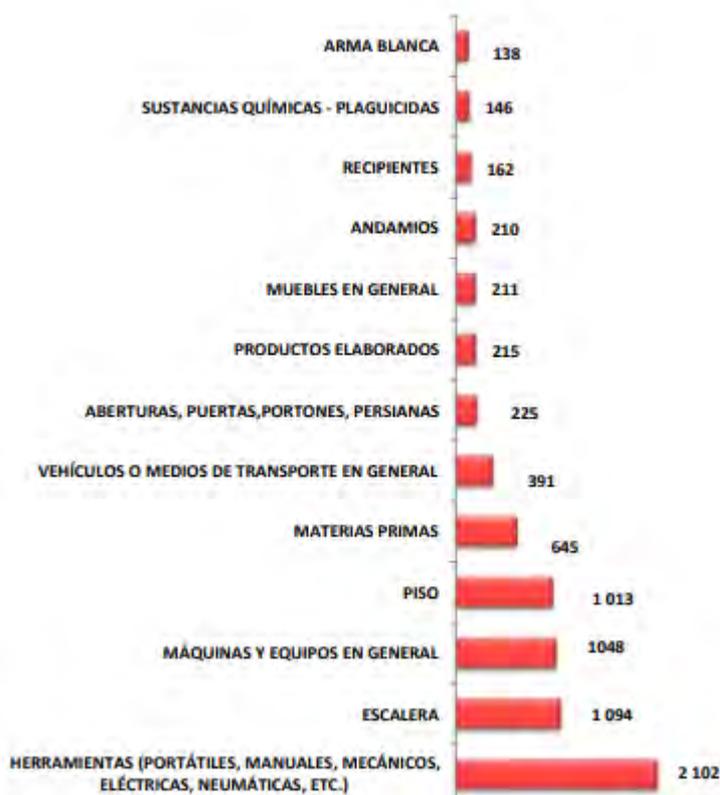


Figura 1. 3 Causas de accidentes identificados en el 2020
Fuente: Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo²

² Empleo, M. d. (2020). Informe Anual

Con esta misma caracterización en el 2018, como se muestra en la Figura 1. 3, el 12% de los accidentes especificados fueron también por Máquinas y Equipos en General.

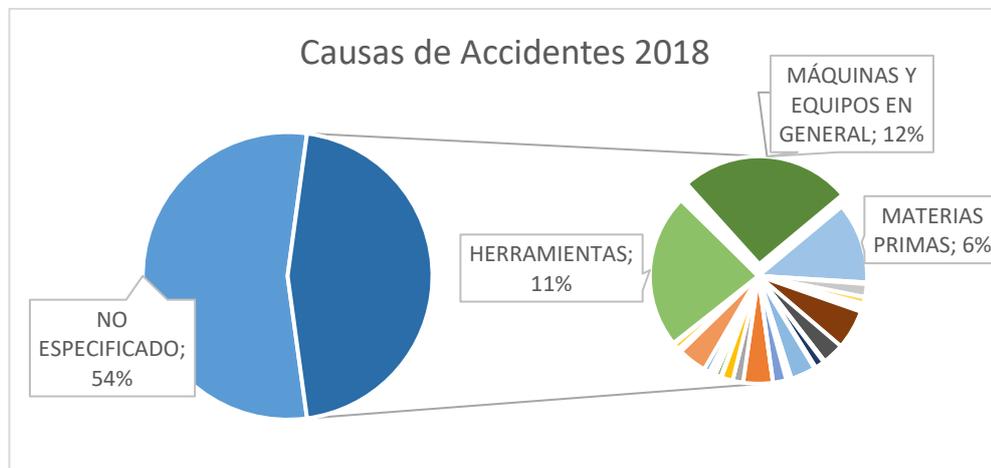


Figura 1. 4 Estadísticas de accidentes en ambientes industriales en el Perú durante el 2018.
Fuente: Elaboración Propia a partir de la data del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo³

Así podemos concluir que la automatización es un proceso que se está llevando a cabo a nivel mundial en el ambiente industrial y ello no es ajeno a la industria peruana, además que este crecimiento trae consigo mayor presencia de robots en áreas de trabajo compartido con personal de planta y que esto puede acarrear nuevos riesgos de accidentes fatales. Observamos así la necesidad de la implementación de sistemas de seguridad para brazos robóticos en el Perú que incluyan dispositivos de detección eficiente del ingreso de personal en un área alrededor del robot y que permitan la emisión de alarmas o paradas de emergencias automáticas.

En la actualidad en el Perú ya se ofertan diferentes sensores con certificación de seguridad para su uso en ambientes industriales; sin embargo, el diseño del sistema de seguridad aislado, la integración con el sistema de control general de la planta y la puesta en operación son tareas que requieren de un análisis de seguridad conforme a

³ Empleo, M. d. (2018). Data de accidentes anuales por categorías.

estándares y que requieren de recurso humano y material cada vez que se realice una nueva instalación.

La presente tesis intenta contribuir con la reducción de tiempos y recursos en las etapas de estudio de riesgos y diseño para sistemas de seguridad para brazos robóticos mediante la elaboración de un diseño adaptable a diferentes disposiciones del ambiente de trabajo; al mismo tiempo, este sistema cumplirá con estándares internacionales que avalen que el Tiempo Promedio a la Falla Peligrosa calculado se asemeje al real. Asimismo, el sistema podrá construirse con elementos comprados en el mercado local y conectarse con mediante protocolos estándar de comunicación con el sistema de control general de la planta. Los beneficios económicos resultantes de la reducción de tiempos y recursos de ingeniería fungirán de motivación para que se implementen más de estos sistemas en el país y las tasas de accidentes no aumenten con la nueva maquinaria a instalar.

1.2 Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema de seguridad para brazos robóticos adaptable a diferentes distribuciones del espacio de trabajo, que cumpla con un nivel de desempeño “b” (PLb) según la norma europea ISO 13849-1:2015 y que permita su escalabilidad en una línea de producción.

Objetivos Específicos:

- Diseñar un sistema de detección de presencia dentro de un área definida como peligrosa o de cuidado alrededor de un brazo robótico, que excluya la detección dentro del área de trabajo del mismo
- Diseñar un sistema de corte de energía y alarma
- Diseñar los elementos estructurales necesarios para la implementación del sistema

- Diseñar un algoritmo de control de señales de alarma que permita variar las definiciones de las áreas de protección y el área de trabajo
- Comprobar las capacidades técnicas de protección del sistema mediante un prototipo a escala con materiales de bajo costo
- Estimar los costos de la implementación del sistema de seguridad con materiales disponibles en el mercado local

1.3 Metodología

Se utilizará la siguiente metodología de trabajo para la realización del objetivo general de la tesis:

Se realizará el diseño del sistema de seguridad adaptable para brazos robóticos industriales a través del dimensionamiento y selección de los equipos mediante la comparación de opciones comerciales en el mercado local. Para los componentes de sensado y control a seleccionar se verificará especialmente que se cumpla con el nivel de desempeño PLb mínimo exigido en el diseño del sistema.

Después, se diseñará el diagrama de conexiones a realizar entre los componentes seleccionados considerando las entradas y salidas de cada uno de ellos y el protocolo de comunicación que estos manejen. Se propondrán, además, opciones de instalación del cableado alrededor del área de detección.

A continuación, se diseñará el algoritmo de control del sistema de manera genérica para su implementación en controladores industriales de seguridad, considerando que los parámetros de alarma deben ser transmitidos luego a un sistema de mayor nivel mediante algún protocolo de comunicación estándar.

Luego, se construirá un prototipo a escala del sistema, replicable, con materiales de bajo costo y que permita la verificación de las capacidades técnicas de adaptabilidad a diferentes áreas de trabajo bajo el mismo algoritmo, y de correcto funcionamiento de los sensores.

Finalmente, se estimarán los costos totales de la implementación a partir de cotizaciones de compra a empresas de distribución y fabricación peruanas.

1.4 Alcance

En la presente tesis se realizará el dimensionamiento y selección de componentes de los sistemas de detección y alarma para luego estimar los costos finales del sistema a partir de los precios de venta para el mercado local de los equipos, cableado y elementos estructurales seleccionados.

Además, se realizará el prototipado del sistema presentando el algoritmo y código a implementar considerando al menos tres configuraciones diferentes del área de trabajo.

1.5 Descripción del concepto de solución óptimo

El sistema de seguridad adaptable para brazos robóticos industriales a diseñar contará con un display que muestre la distancia del objeto más cercano al brazo y el estado del sistema, es decir si hay un objeto intruso en una zona peligrosa o de alarma al cercana brazo. La zona peligrosa se muestra en la Figura 1. 5 como Zona Danger y la zona de alarma como Zona Warning.

El sistema tendrá detección de presencia por todos los flancos, detrás de la línea de trabajo se encontrará una barrera láser y en el lado del brazo se encontrarán dos estaciones con sensores escáner de presencia, cada estación incluirá una estructura de metal tipo poste. En caso de producirse algún evento en las Zonas Danger o Warning se activarán las luces de una baliza y, de ser necesario, se cortará la energía del brazo mediante la apertura de un contactor de seguridad. El control de la lógica del sistema será centralizado en un PLC de seguridad con alimentación diferenciada.

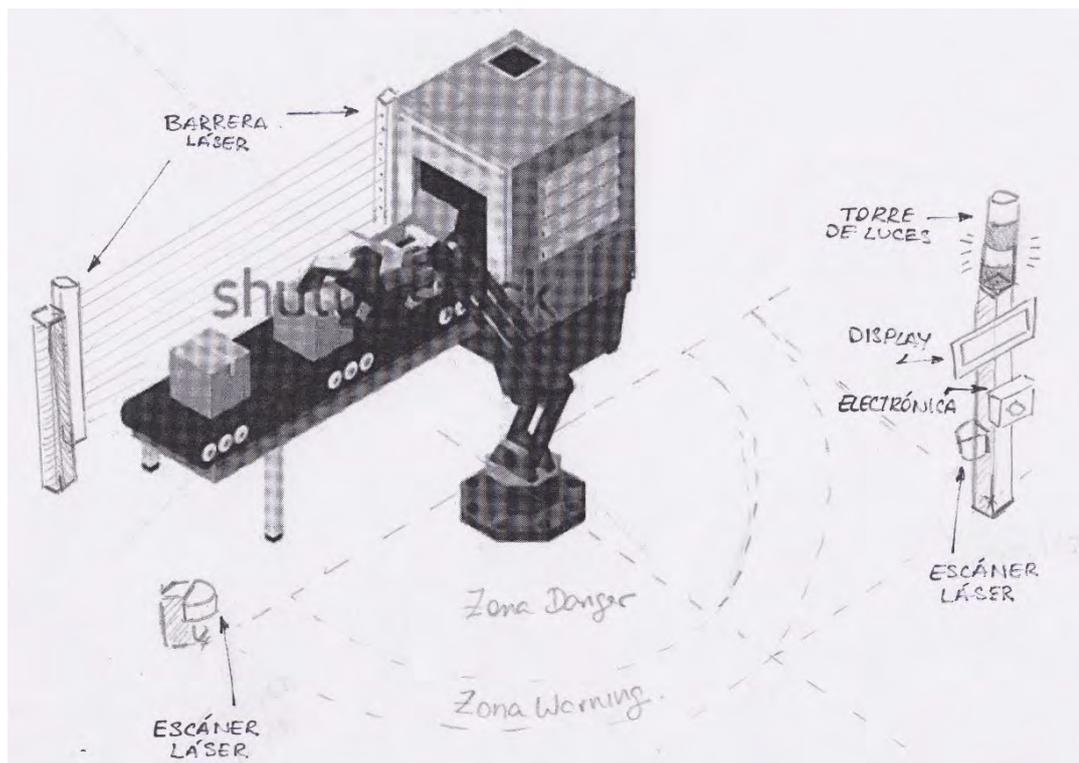
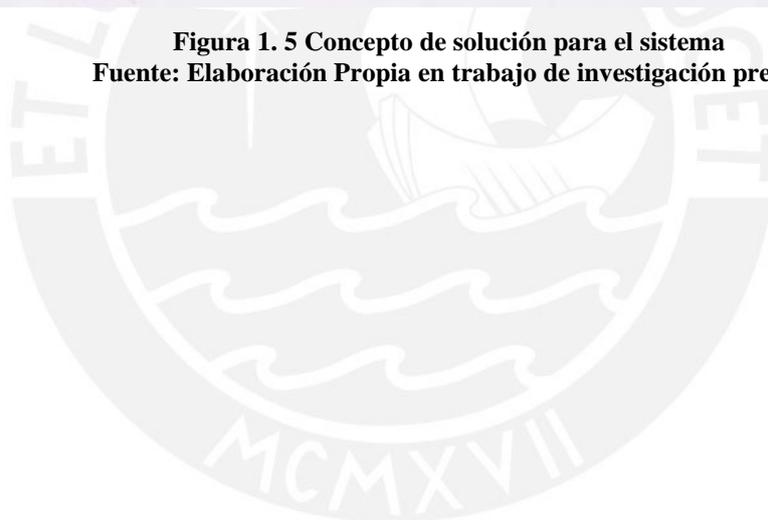


Figura 1.5 Concepto de solución para el sistema
Fuente: Elaboración Propia en trabajo de investigación previo



CAPÍTULO 2

DISEÑO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD PARA BRAZOS ROBÓTICOS

En el presente capítulo se realizará la selección de componentes a partir del diseño conceptual optimizado en el Capítulo 1. Para cada componente a seleccionar se presentarán tres opciones encontradas en el mercado local, las cuales serán comparadas en sus parámetros más importantes. Luego, se presentará el modelo 3D del sistema así como la distribución de los componentes en el área de interés alrededor del brazo robótico. Finalmente, se presentarán los diagramas de control para la implementación de la lógica del sistema.

2.1 Selección de los componentes del sistema

Debido a que para la programación y configuración del sistema es necesario conocer el tipo de salidas y entradas de los componentes y estos varían según la marca, se realizará la selección de los modelos de los equipos a utilizar en el sistema antes de presentar el diagrama de conexiones y modelo 3D final. Los componentes a utilizar se muestran en la Figura 3. 1.

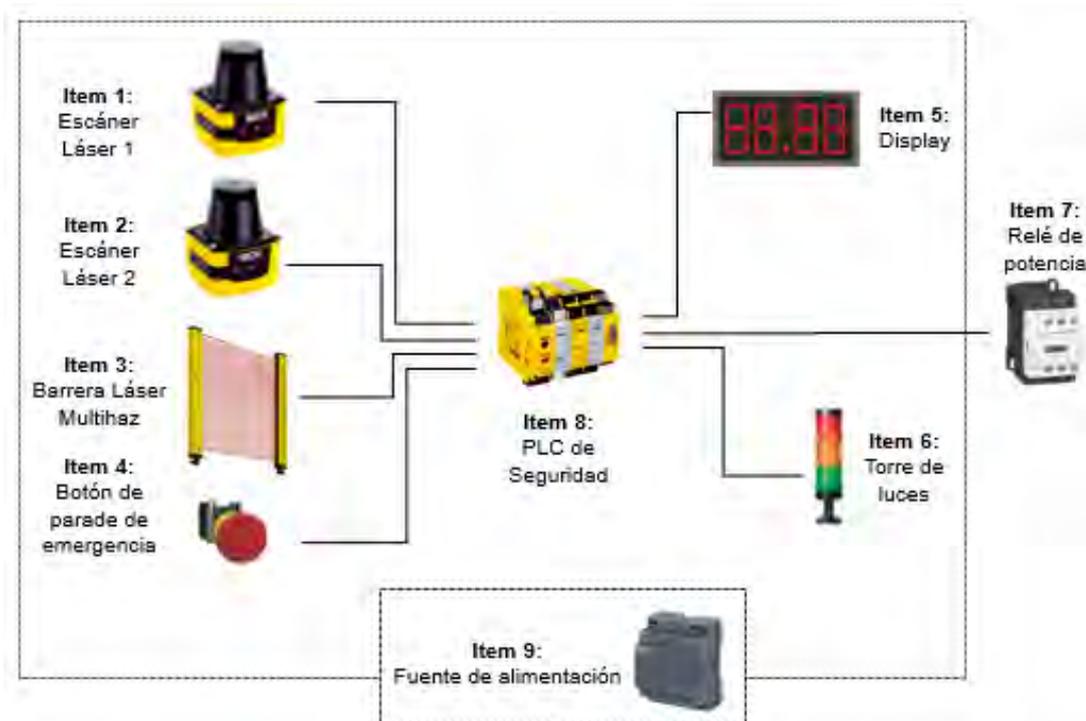


Figura 3. 1 Diagrama de arquitectura de hardware
Fuente: Elaboración Propia

Es preciso señalar que en este documento no se considera la selección por comparación de los ítems del 4 al 7 ya que los parámetros no varían ampliamente entre los diferentes modelos y marcas. Sin embargo, se debe considerar que el relé de potencia y el botón de parada de emergencia tienen una afectación directa al nivel de desempeño del sistema (PL); por ello se presentará el rango de valores que permita al componente mantener el PLb del sistema a diseñar. Cabe resaltar que el parámetro de “Datos de Seguridad” siempre será crítico en la selección de los componentes.

Además, la selección de la Fuente de alimentación se realizará mediante un dimensionamiento de la potencia de consumo de los otros componentes.

A continuación, se presenta la selección de componentes más importantes a partir de la comparación de los parámetros técnicos-comerciales más importantes y la justificación de la elección según el caso.

1. Selección de sensores Escáner Láser

Los escáneres láser serán utilizados para sensar la presencia de objetos intrusos dentro del área peligrosa denominada en este documento como Zona Danger. Los parámetros de selección más importantes para este componente son:

- Alcance 2D de la Zona Danger, debido a que ser capaz de cubrir el área hasta 5,5 metros alejada radialmente del brazo robótico.
- Ángulo de barrido, debido a que debe poder realizar la cobertura del área en la posición dispuesta por el diseño preliminar.

Además, el sensor escáner debe permitir la lectura de los datos de ubicación 2D del objeto intruso detectado en la Zona Warning, así como la escritura de los puntos pertenecientes al borde de la Zona Danger.

Para la selección de los escáneres láser se tuvieron en consideración los modelos mostrados en la siguiente tabla:

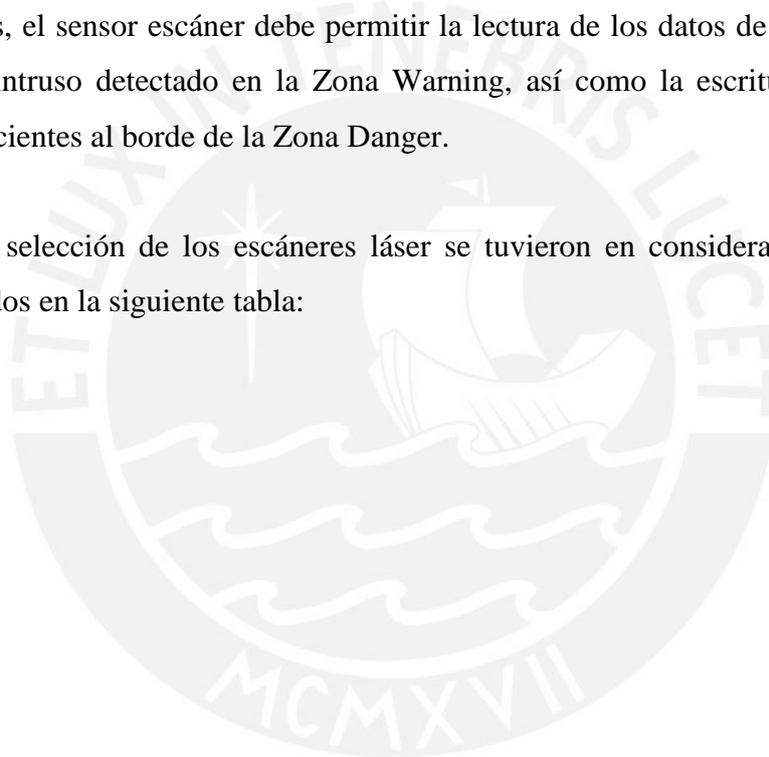


Tabla 2. 1 Selección de sensores escáneres láser
Fuente: Elaboración Propia

Marca	Requisitos	DataLogic ⁴	SICK ⁵	OMROM ⁶
Modelo		Laser Sentinel SLS – B5	TiM781S 2D LiDAR	OS32C
Imagen referencial				
Alcance 2D de la Zona Danger	> 4700 mm	5500 mm Zona Warning de 40000 mm	5000 mm Zona Warning de 25000 mm	4000 mm Zona Warning de 15000 mm
Ángulo de barrido	> 90°	275°	270°	270°
Alimentación	24 VDC	24 VDC	24 VDC	24 VDC
Número de Salidas		3 Según configuración en software	3	2
Datos de seguridad	>= PLb	PLd	PLb	PLd
Tiempo de respuesta		62 - 482	67 - 134	80 - 680
Programación		Software Propio (Sentinel DL). Conexión por Ethernet	Software Propio (SOPAS). Conexión Ethernet y USB.	Software Propio. Conexión por Ethernet

El modelo de la marca OMROM no cumple con el requerimiento de alcance, por lo que se descarta de la selección. Se selecciona el modelo TiM781S 2D LiDAR de la marca SICK debido a que cumple con los parámetros mínimos requeridos y además el tiempo de respuesta tiene un intervalo menor que el de los otros dos modelos.

⁴ <https://www.datalogic.com/eng/manufacturing/safety/laser-sentinel-pd-829.html>

⁵ http://www.brammertz.com/es/contenido.php?452/productos/dispositivos_proteccion_optoelectronicos_sick.html

<https://www.sick.com/ag/en/detection-and-ranging-solutions/2d-lidar-sensors/tim7xx/tim781s-2174104/p/p594149>

⁶ <http://delind.cl/producto/rels-electromecnicos-20/>

Las conexiones necesarias para este modelo se muestran en la Figura 3. 2. De este diagrama podemos observar que se requieren los siguientes componentes para la instalación de los 2 equipos al sistema:

- 02 Cables Ethernet
- 02 Fusibles de corte rápido de 0.8A
- 02 Cables M12 – 5 polos hembra

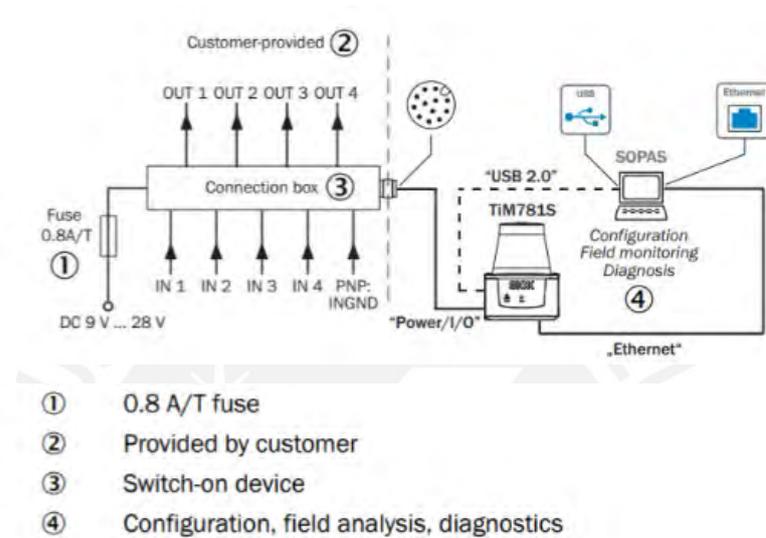


Figura 3. 2 Diagrama de bloques para conexión de TiM781S
 Fuente: SICK⁷

2. Selección de sensores Barreras Láser

Las barreras láser serán utilizados en el sistema para sensar el ingreso de objetos intrusos por el flanco alrededor del área de trabajo que no está ocupada por el brazo robótico y que no interrumpe el flujo de material en el proceso. El parámetro de selección más importante para este componente es:

- Distancia de cobertura, debido a que la zona de sensado puede tener una extensión de hasta 5.5 metros con el fin de cubrir el área requerida por el brazo robótico.

⁷ SICK. (2019). Operating Instructions: TiM781S, Safety related 2D LiDAR sensor.

Tabla 2. 2 Selección de sensores barreras láser
Fuente: Elaboración Propia

Marca	Requisitos	SICK ⁸	Banner ⁹	Leuze ¹⁰
Modelo		deTem2 Core IP69K	SAB-497RB1LP6-Q5E	MLD300-T4
Imagen referencial				
Distancia de cobertura	> 5500 mm	Hasta 15'500 mm	Hasta 1'000 mm	Hasta 50'000 mm
Altura de cobertura		900 mm	497 mm	900 mm
Número de haces		4	6	4
Distancia entre haces		300 mm	82.55 mm	300 mm
Número de Salidas		2	1	1 (pulsos)
Datos de seguridad	>= PLb	PLc	No mencionado	PLd
Tiempo de respuesta		20 ms	1.5 ms	No mencionado

Se selecciona el modelo deTem2 Core de la marca SICK debido a que la distancia de cobertura es mayor a 5500 mm y además es la opción posiblemente más barata bajo la condición de certificación de seguridad PL y tiempo de respuesta. Ya que un mayor nivel de performance exige mayores condiciones de probabilidad de falla peligrosa a los equipos.

A continuación se muestran las conexiones necesarias para la integración del sensor de barrera láser al sistema. En la Figura 3. 3 se muestra las conexiones del sensor seleccionado con el relé de seguridad UE48-20S de la marca SICK, el cual no será implementado en el sistema ya que el nivel de performance requerido (PLb) no exige mayores mecanismos de seguridad. Para la implementación se tomará en cuenta que

⁸ <https://www.sick.com/es/es/dispositivos-de-proteccion-optoelectronicos/barreras-fotoelectricas-de-seguridad-multihaz/detem2-core-ip69k/m2c-sb04301a102c-m2c-eb04300a10/p/p534661>

⁹ <https://www.directindustry.es/prod/carlo-gavazzi/product-6077-733965.html>

¹⁰ <https://www.directindustry.es/prod/banner-engineering-corp/product-7106-1301877.html>

las salidas OSSD (Output Signal-Switching Device) serán conectadas a las entradas digitales del PLC de seguridad.

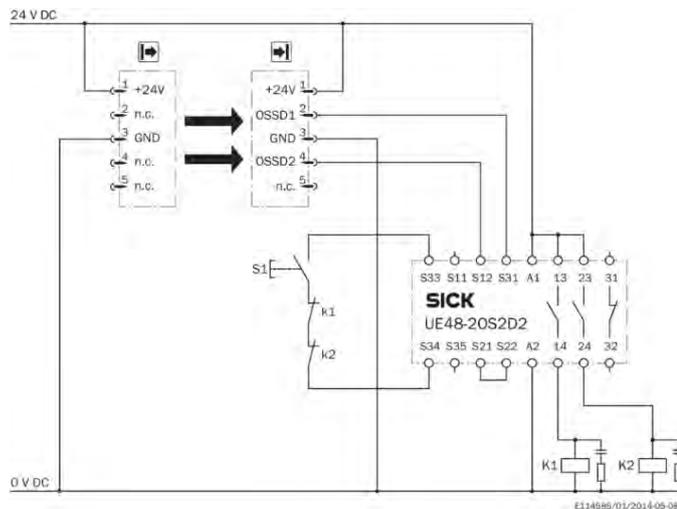


Figura 3. 3 Conexiones para barrera láser de Tem2 Core
Fuente: SICK¹¹

A partir de lo mostrado en el diagrama de conexiones del sensor se observa que se requerirán los siguientes componentes adicionales para la implementación del sistema:

- 02 Cables M12 – 5 polos hembra

3. Selección del botón de parada de emergencia

Los parámetros más importantes para la selección del botón de parada son:

- Voltaje de trabajo: 24 VDC
- Número de ciclos de tiempo de vida: Máximo 100000 ciclos

Este último valor para el número de ciclos se limita de esta manera ya que fue con el que se dimensionó el PL de la solución ganadora. Se permite la utilización de cualquier modelo en tanto cumpla con estas condiciones.

¹¹ <https://www.sick.com/es/es/dispositivos-de-proteccion-optoelectronicos/barreras-fotoelectricas-de-seguridad-multihaz/detem2-core-ip69k/m2c-sb0430la102c-m2c-eb04300a10/p/p534661>

Para fines de diseño se selecciona el siguiente componente: Pulsador de parada de emergencia \varnothing 22, marca Schneider Electric, modelo XB5AS8442¹² mostrado en la Figura 3. 4.



Figura 3. 4 Botón de parada de emergencia tipo hongo XB5AS8442
Fuente: Schneider Electric¹³

4. Selección del display

Para la selección del display se considerarán los siguientes parámetros:

- Voltaje de trabajo: 24VDC o 220VAC
- Conexión: Por protocolo de comunicación industrial abierto
- Cantidad de cifras: Cuatro cifras con un punto decimal medio

Se permite la utilización de cualquier modelo en tanto cumpla con estas condiciones; para fines de diseño se selecciona el siguiente componente: Display, marca Neoled Perú, 4 cifras y 16 x 32 cm para interiores con comunicación Ethernet/IP¹⁴.

En la Figura 3. 5 se muestra el display led de cuatro cifras cotizado por la empresa Neoled. Se muestra también el tamaño de cifra elegido, este fue seleccionado de esta manera debido a que se espera que pueda ser visualizado a la distancia tomando como referencia otros paneles led para indicadores industriales disponibles en el mercado.

¹² <https://www.se.com/es/es/product/XB4BS8445/parada-de-emergencia-%C3%B8-22---cabeza-%C3%B8-40---girar-para-desenclavar-1nc%2B1na/>

¹³ <https://www.se.com/es/es/product/XB5AS8442/parada-de-emergencia-%C3%B8-22---cabeza-seta-%C3%B8-40---girar-para-desenclavar-1nc/>

¹⁴ <https://www.neoledperu.com/>



Figura 3. 5 Display LED de 4 cifras
Fuente: Cotización de Neoled Perú S.A.

5. Selección de la torre de luces

Para la selección de la torre de luces se considerarán los siguientes parámetros:

- Voltaje de trabajo: 24VDC o 220VAC
- Número de luces: 3 (rojo, amarillo/naranja y verde)
- Emisión de sonido: Sí

Se permite la utilización de cualquier modelo en tanto cumpla con estas condiciones; para fines de diseño se selecciona el siguiente componente: Torre de luces, marca Schneider Electric, Harmony XVM 45mm¹⁵.

En la Figura 3. 6 se muestran las distintas posibilidades de armado de las torres o columnas de luces Harmony XVM, para el sistema diseñado se utilizarán 3 unidades de luces y una base con alarma, la sujeción a la base a utilizar será como la mostrada en el componente ubicado al lado izquierdo de la figura.

¹⁵ Schneider Electric. (2019). Schneider Electric: Página Institucional. Obtenido de <https://www.se.com/pe/es/>



Figura 3. 6 Columnas de señalización Harmony XVM
Fuente: Schneider Electric¹⁶

6. Selección del relé de potencia

Para la selección del relé de potencia se considerarán los siguientes parámetros:

- Voltaje de señal de corte: 220VAC
- Voltaje de señal de baja: 24VDC
- Seguridad: $MTTF_D$ mayor o igual a 210 años. PL mayor o igual a PLb

Este último valor para el tiempo promedio antes de la falla peligrosa (MTTF) se limita de esta manera ya que fue con el que se dimensionó el PL de la solución ganadora. Se permite la utilización de cualquier modelo en tanto cumpla con estas condiciones; para fines de diseño se selecciona el siguiente componente: Contactor TeSys D - 3P(3 NO) marca Schneider, modelo LC1D18M7¹⁷. A continuación se muestra una imagen referencial del componente en cuestión.



Figura 3. 7 Contactor TeSysD LC1D18M7
Fuente: Schneider Electric¹⁸

¹⁶ Schneider Electric. (2019). Schneider Electric: Página Institucional. Obtenido de <https://www.se.com/pe/es/>

¹⁷ <https://es.rs-online.com/web/p/reles-de-seguridad/4555251/>

¹⁸ Schneider Electric. (2019). Schneider Electric: Página Institucional. Obtenido de <https://www.se.com/pe/es/>

7. Selección del PLC de seguridad

Para la selección del PLC de seguridad se tuvieron en consideración los siguientes modelos y parámetros:

Tabla 2. 3 Selección del PLC de Seguridad
Fuente: Elaboración Propia

Marca	Requisitos	Allen Bradley ¹⁹	ABB ²⁰	SICK ²¹
Modelo		SmartGuard 1752-L24BBBE	AC500-S	Flexi Soft
Imagen referencial				
Tipo de PLC		Compacto	Modular	Modular
Alimentación	24 VDC	24 VDC	24 VDC	24 VDC
Número de Entradas	> 5 entradas discretas y 2 analógicas	16	Módulos de 2, 4, 8 y 16 entradas	Módulos de 4,6 y 8 entradas
Número de Salidas	> 4 salidas discretas	8	Módulos de 4, 8 y 16 entradas	Módulos de 4,6 y 8 salidas
Conexión		Mediante un RSLink (Gateway) se puede utilizar EtherNet/IP	ProfiSafe vía ProfiNet	Módulo Gateway EtherNet/IP™
Datos de seguridad	>= PLb	PLe	PLd - PLe	PLe

Se selecciona el modelo Flexi Soft de SICK ya que permite la expansión del PLC hasta el mínimo requerido por sistema, lo que permite ahorrar espacio y costos. Además, ya que se ha seleccionado el sensor barrera láser marca SICK, la integración de estos dos equipos sería más fácil e intuitiva al ser de la misma marca. Otra ventaja de este modelo es que cuenta con la posibilidad de agregar un módulo de EtherNet/IP, lo que facilitará el trabajo con el display sin necesidad de usar un convertidor a otro protocolo de comunicación.

¹⁹ <https://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers/SmartGuard-600-Controllers-with-Safety#selection>

²⁰ <https://new.abb.com/plc/es/automatas-programables-plc/plc-seguridad-ac500s>

²¹ <https://www.sick.com/cl/es/senscontrol-soluciones-de-control-seguras/controladores-de-seguridad/flexi-soft/c/g186176>

8. Fuente de Alimentación

Para la selección de la fuente de alimentación se realizará la suma de la potencia de consumo máximo según el manual de los componentes. Esta información se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla 2. 4 Consumo de potencia de los componentes del sistema
Fuente: Elaboración Propia

Item	Componente	Consumo de Potencia (Watts)
1	Escáner Láser 1	16
2	Escáner Láser 2	16
3	Barreras Láser multihaz	4.5
4	Botón de parada de emergencia tipo hongo	1
5	Display	5
6	Torre de luces	24
7	Relé de potencia	1.5
8	PLC de seguridad	12.5
	Total	80.5

Se permite la utilización de cualquier modelo en tanto cumpla con la condición de entregar una salida de 24 VDC y una potencia disponible de al menos 120 Watts (FS=1.5); para fines de diseño se selecciona la siguiente fuente: Fuente de alimentación Schneider Universal - IP20 ABL8RPS24050 5A²². A continuación se muestra una imagen referencial del componente en cuestión y las conexiones en los terminales de alimentación de la fuente según el tipo de red eléctrica disponible.

²² <https://www.automation24.biz/siemens-logo-power-24v-4-0a-6ep3333-6sb00-0ay0>



Figura 3. 8 Fuente ABL8RPS24050 5A y conexiones
Fuente: Schneider Electric²³

A continuación, se muestra la lista final de componentes seleccionados del sistema:

- a) 02 Escáneres Láser 2D LiDAR, marca SICK, modelo TiM781S
- b) 01 Barrera fotoeléctrica de seguridad multihaz, marca SICK, modelo deTem2 Core
- c) 01 Pulsador de parada de emergencia \varnothing 22, marca Schneider, modelo XB4BS8442
- d) 01 Display, marca Neoled Perú, 4 cifras y 16 x 32 cm para interiores con comunicación Ethernet
- e) 01 Torre de luces multicolor programable, marca Banner, modelo TL50
- f) 01 Contactor TeSys D - 3P(3 NO), modelo LC1D18M7
- g) PLC Modular Flexi Soft, marca SICK: 01 Módulo Principal FX3-CPU320002, 01 módulo de entradas analógicas FX3-ANA020002, 01 módulo de entradas y salidas digitales seguras FX3-XTIO84002 y 01 módulo Gateway EtherNet/IP FX0-GENT00000
- h) 01 Fuente de alimentación Schneider Universal - IP20, modelo ABL8RPS24050 5A

²³ Schneider Electric. (2019). Schneider Electric: Página Institucional. Obtenido de <https://www.se.com/pe/es/>

2.2 Modelo de la estructura y el hardware

Ya que se han seleccionado los componentes, se procederá a detallar la distribución de los mismos y la designación de las Zonas Danger y Warning alrededor del brazo robótico.

En el sistema de seguridad, el radio de la Zona Danger está dado por el alcance máximo del brazo robot. Asimismo, el radio mínimo de la Zona Warning es un metro mayor que el de la Zona Danger; esto debido a que la distancia alcanzada con dos pasos o un paso y el brazo extendido de un hombre adulto es aproximadamente un metro. Por otro lado, se denomina Zona de Trabajo al área de operación del robot y que comúnmente no es accesible por las personas.

En el sistema, los componentes están sujetos al ambiente a través de 4 postes anclados al suelo; los dos primeros compondrán las estaciones A y B, y los dos últimos servirán de sujeción para el emisor y receptor de la barrera láser. La Estación A y B soportan un escáner láser cada una y se ubican en dos extremos de la Zona Warning. Mientras que el emisor y receptor de la barrera láser se encuentran detrás de la Zona de Trabajo, ubicándose el receptor a menor distancia de la Estación A que el emisor.

La distribución descrita anteriormente es adaptable a diferentes contextos de aplicación industrial. Dos de los casos más comunes se muestran en la Figura 3. 9 y en la Figura 3. 10. En este punto cabe resaltar que el uso de dos escáneres láser de manera simultánea es importante para los casos de aplicación con una distribución de Zonas de Trabajo semejante a la mostrada en la Figura 3. 10.

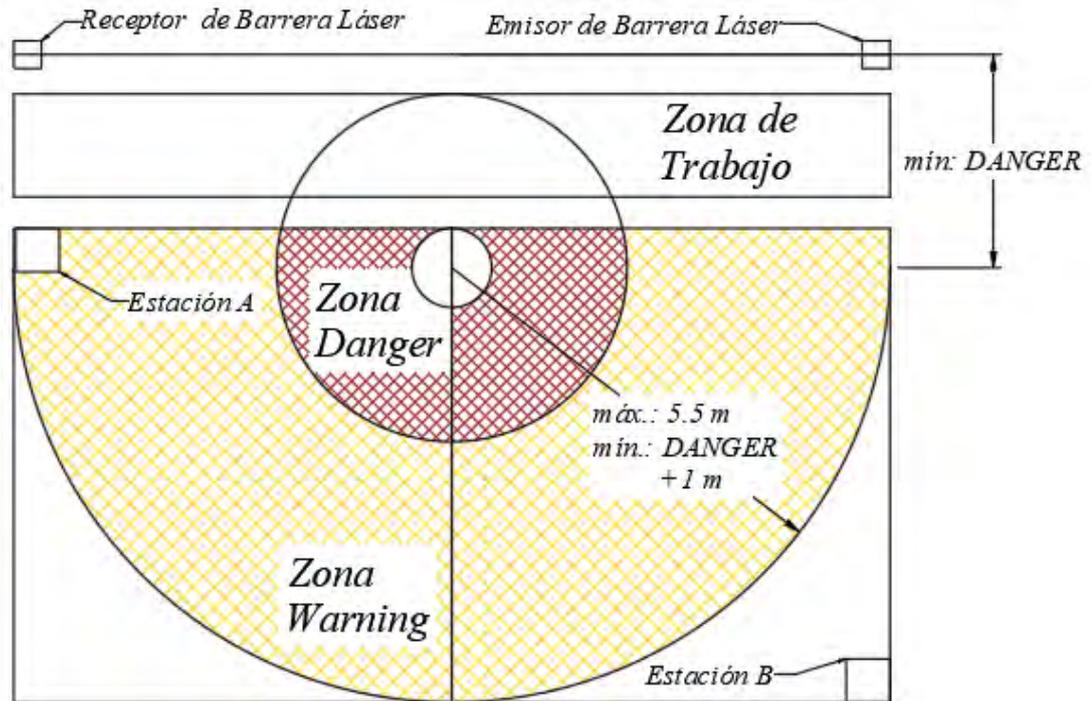


Figura 3. 9 Distribución de Zonas del sistema para operaciones en líneas de producción
Fuente: Elaboración Propia

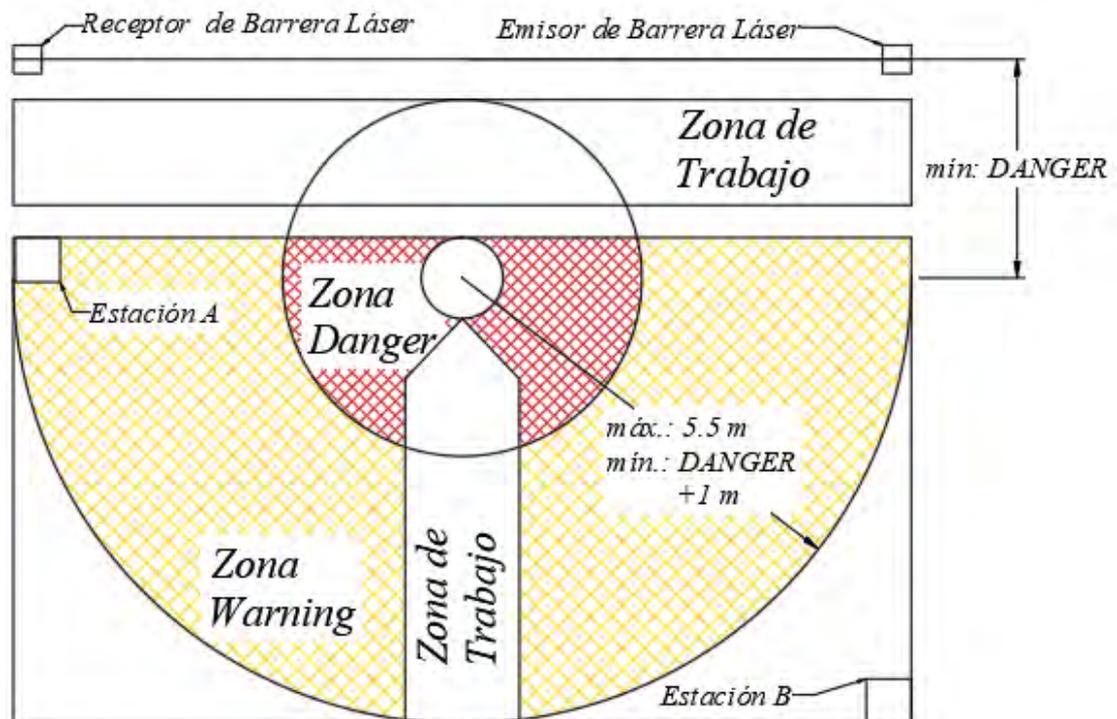


Figura 3. 10 Distribución de Zonas del sistema para operaciones de traslado de materiales
Fuente: Elaboración Propia

Para el modelamiento 3D del sistema se utilizó el software Autodesk Inventor 2018. En la Figura 3. 11 se muestra el Sistema de Seguridad Adaptable para Brazos Robóticos adaptado a un contexto de aplicación en el que la Zona de Trabajo está frente al brazo y es una faja en una línea de producción.



Figura 3. 11 Modelo 3D del sistema en una aplicación de brazo robótico frente a una faja
Fuente: Elaboración Propia

La Estación A, mostrada en la Figura 3. 12 , se ubica en la posición más cercana a la Zona de Trabajo y contiene un escáner láser TiM781S sujeto al poste de la estación por medio de un soporte que ha sido fabricado por impresión 3D. Los planos de fabricación del Poste 2 y el soporte se encuentran en el Anexo A.



Figura 3. 12 Modelo 3D de la Estación A
Fuente: Elaboración Propia

En la imagen anterior también se puede apreciar el método de anclaje al suelo, este se realizará por pernos del anclaje de acero expansivos de $\frac{1}{4}$ " x $1\frac{3}{4}$ " para concreto.

Además, para la sujeción del soporte del escáner láser y de la barrera láser a los dispositivos se utilizarán tornillos socket M3 x 20 y M5 x 60.

La Estación B, mostrada en la Figura 3. 13, se ubica en la posición más lejana a la Zona de Trabajo y contiene a la torre de luces, al display, a un escáner láser TiM781S y al panel del control detallado en la Figura 3. 14. Los planos de fabricación del Poste 1 de la Estación B se encuentran en el Anexo A.

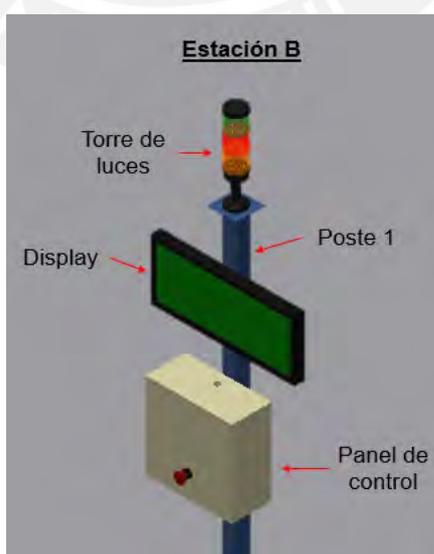


Figura 3. 13 Modelo 3D de la Estación B
Fuente: Elaboración Propia

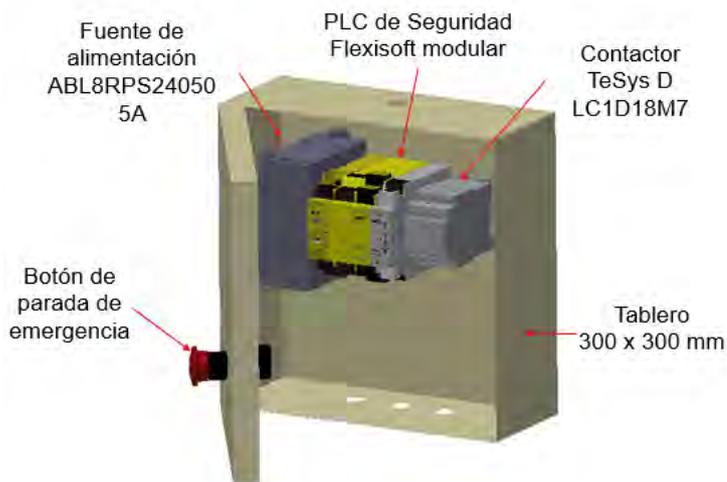


Figura 3. 14 Modelo 3D del panel de control
Fuente: Elaboración Propia

La altura de posición de los componentes en los postes 1 y 2 para las estaciones A y B se muestra en el siguiente esquema, ver Figura 3. 15.

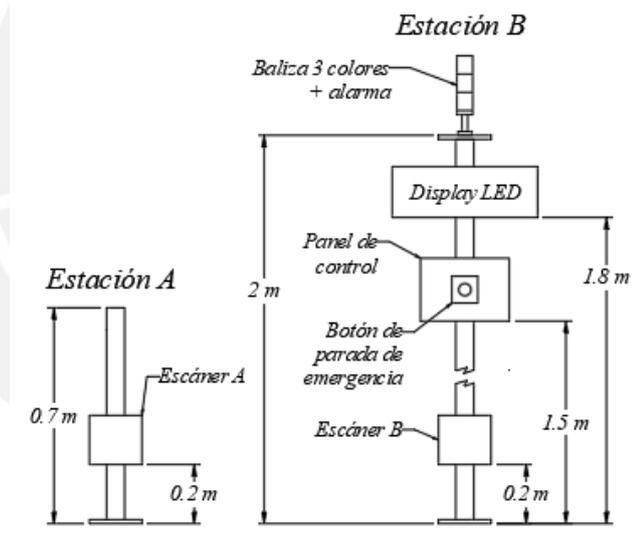


Figura 3. 15 Referencia de posición de los componentes en las estaciones del sistema
Fuente: Elaboración Propia

Por último, se ha modelado las estaciones de sujeción del emisor y receptor de la barrera láser mostradas en la Figura 3. 16. Para la sujeción del emisor y receptor de la barrera láser se han diseñado soportes cuyos planos de fabricación se encuentran en el Anexo A. La fabricación de los soportes puede ser realizada por impresión 3D.

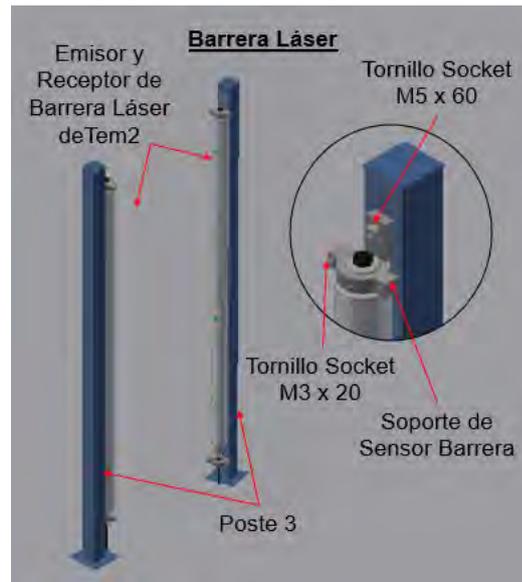


Figura 3. 16 Modelo 3D del emisor y receptor de la barrera láser
Fuente: Elaboración Propia

2.3 Cableado y Conexiones

Otro aspecto importante de la implementación del sistema es la disposición del cableado entre las estaciones. El transporte de los cables para el sistema diseñado se puede realizar a través de canaletas en el techo o por suelo como se muestra en la Figura 3. 17, esto dependerá del ambiente de operación y de la disposición de las canaletas.



Figura 3. 17 Opciones de cableado para el sistema
Izquierda: Cableado por suelo. Derecha: Cableado por aire o techo.
Fuente: Elaboración Propia

Los detalles de las conexiones a realizar se encuentran en el Diagramas de Conexiones adjuntado en el Anexo B.

2.4 Lógica de control

Durante el funcionamiento del sistema pueden ejecutarse dos procesos de forma no simultánea: el proceso de configuración de parámetros (Config_System) y el proceso de protección (Protect_System). La ejecución de dichos procesos se realizará en el controlador de seguridad Flexisoft seleccionado. Sin embargo, el ingreso de algunos datos solo podrá realizarse por medio de una interfaz que no será diseñada por encontrarse fuera del alcance de la tesis.

El proceso de configuración contempla subprocesos de captación de puntos críticos. Son puntos críticos aquellas posiciones coordenadas del borde de las Zonas Danger o Warning utilizados para definirlos.

A continuación se definirán las variables a utilizar en los diagramas de control:

Tabla 2. 5 Definición de variables de control
Fuente: Elaboración Propia

Nombre de la variable	Descripción
config	Variable de activación del proceso de configuración del sistema. El valor es modificado a través de la interfaz mediante un botón.
btn_ini	Variable de activación del proceso de protección del sistema. El valor es modificado a través de la interfaz mediante un botón.
alarm_buzzer	Variable de activación de la alarma sonora de la torre de luces. La variable se conecta directamente con la salida. Cuando alarm_buzzer = 1, entonces se activa la alarma sonora; si alarm_buzzer = 0, entonces se desactiva la alarma sonora.
alarm_lightyellow	Variable de activación de la luz amarilla o naranja de la torre de luces. La variable se conecta directamente con la salida. Cuando alarm_lightyellow = 1, entonces se enciende la luz; si alarm_lightyellow = 0, entonces se apaga la luz.
alarm_lightred	Variable de activación de la luz roja de la torre de luces. La variable se conecta directamente con la salida. Cuando alarm_lightred = 1, entonces se enciende la luz; si alarm_lightred = 0, entonces se apaga la luz.
stop	Variable de activación de la señal de control del contactor de corte eléctrico para el brazo robótico. Si stop = 1, el contactor corta la alimentación del brazo; si stop = 0, el contactor se mantiene cerrado.

btn_warning	Lectura del estado del Botón Warning en la interfaz. Al presionar este botón la variable se setea en 1. El botón mencionado se utilizará para iniciar el proceso de captación de puntos críticos de la Zona Warning.
btn_danger	Lectura del estado del Botón Danger en la interfaz. Al presionar este botón la variable se setea en 1. El botón mencionado se utilizará para iniciar el proceso de captación de puntos críticos de la Zona Danger.
select_PC	Lectura del estado del botón de captación de puntos críticos. Si el botón se presiona durante algún subproceso de configuración, la posición del intruso más cercano a alguno de los escáneres se utilizará para definir el borde de la Zona Warning o Danger.
arrangePC_warn	Arreglo de variables en las que se guardan las coordenadas de los puntos críticos de la Zona Warning.
arrangePC_dang	Arreglo de variables en las que se guardan las coordenadas de los puntos críticos de la Zona Danger.
dist1, dist2	Distancia del intruso al escáner láser 1 o 2.
dist1_warn, dist2_warn	Distancia mínima de acceso a la Zona Warning para un ángulo de barrido específico. Esta se define a partir de arrangePC_warn.
dist1_dang, dist2_dang	Distancia mínima de acceso a la Zona Danger para un ángulo de barrido específico. Esta se define a partir de arrangePC_dang.
btn_emerg	Variable de activación del botón de parada de emergencia. Si btn_emerg = 1, entonces el botón ha sido presionado; si btn_emerg = 0, entonces el botón no está siendo presionado.
laser_bar	Variable de activación de la señal OSSD de la barrera láser. Si laser_bar = 1, entonces la barrera láser ha detectado un intruso; si laser_bar = 0, entonces la barrera láser no ha detectado intrusos.

Cabe mencionar que la lectura de los datos de los escáneres láser y la escritura de los puntos que definan las Zonas Warning y Danger se realizará a través del protocolo CoLaB de manejo de telegrama.

A continuación se presentan los diagramas de control de los procesos y subprocesos:

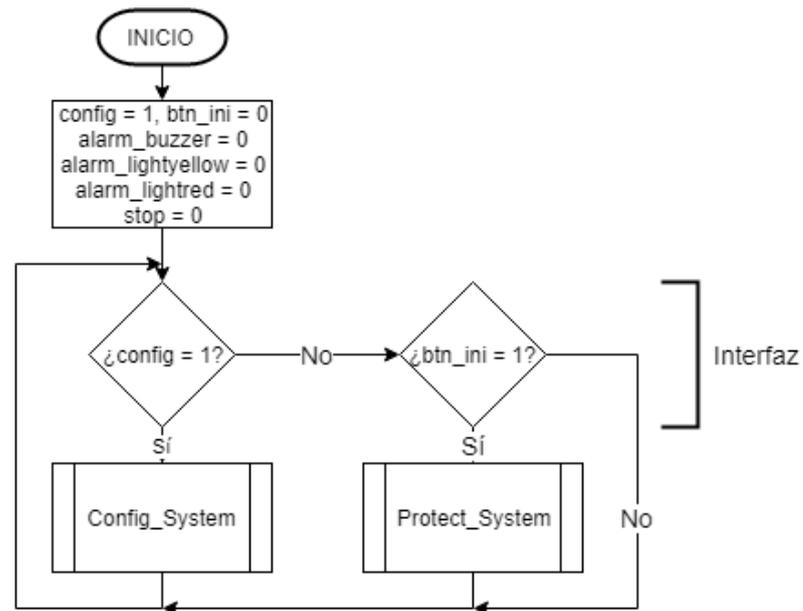


Figura 3. 18 Diagrama de Función Principal
Fuente: Elaboración Propia

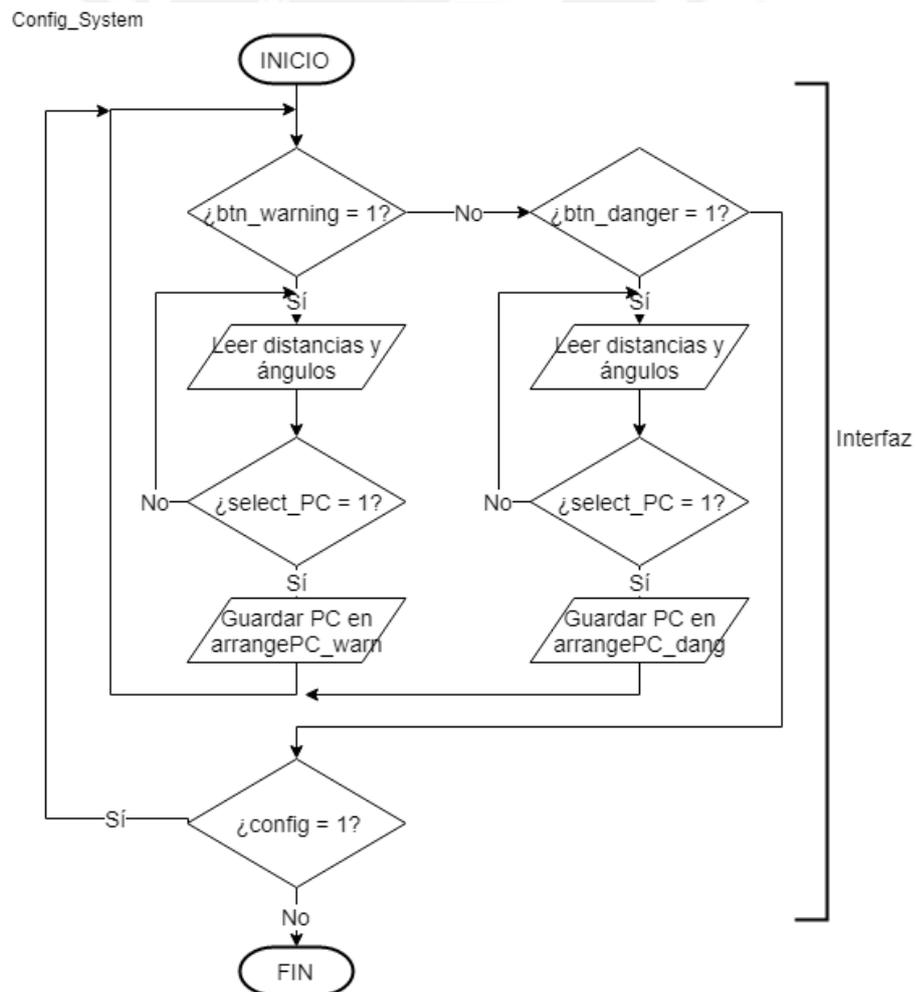


Figura 3. 19 Diagrama de función Config_System
Fuente: Elaboración Propia

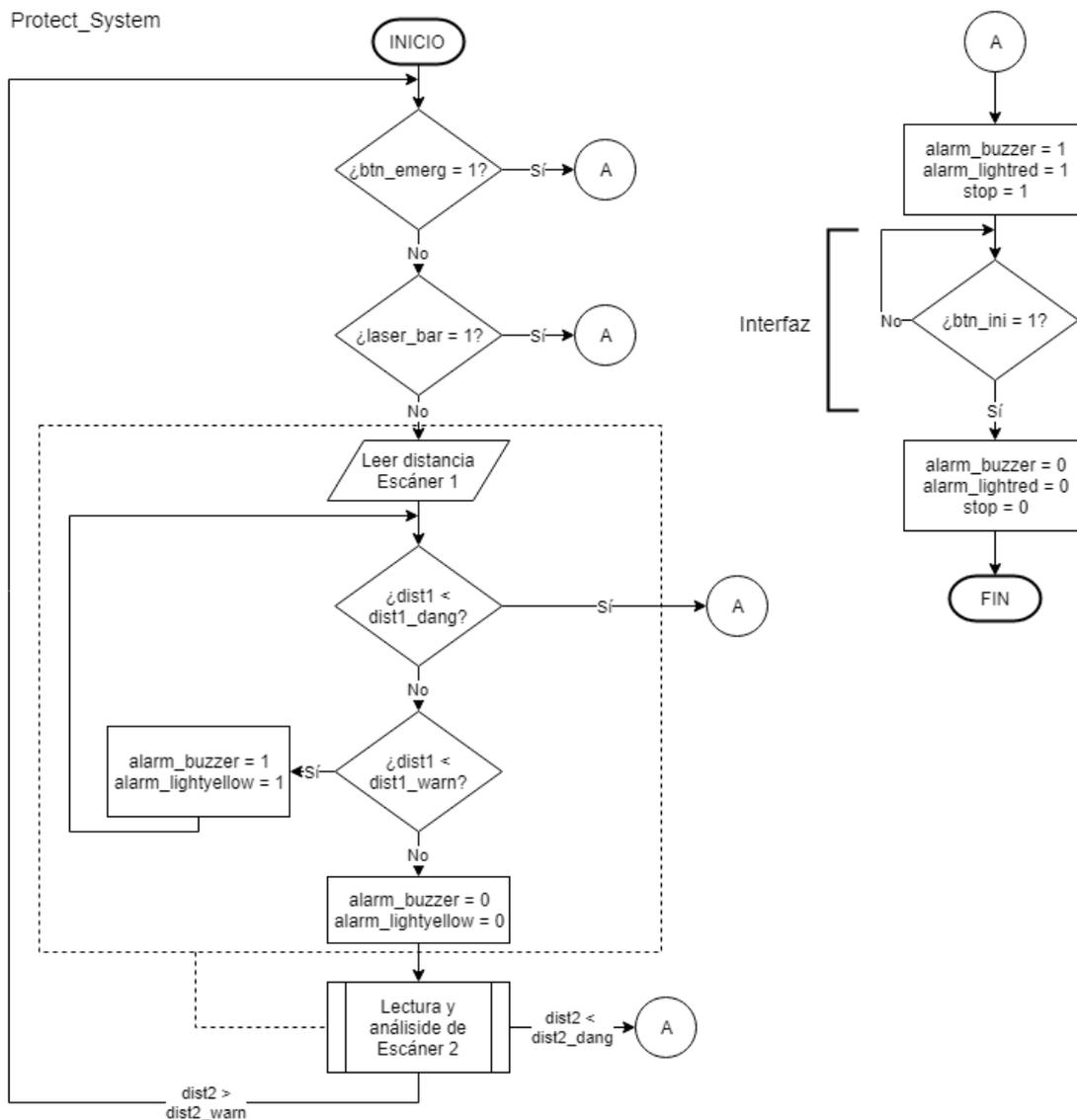


Figura 3. 20 Diagrama de función Protect_System
Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 3

IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

En el presente capítulo se detallará el hardware y la lógica de control de un prototipo a escala del Sistema de Seguridad Adaptable para Brazos Robóticos previamente diseñado en el Capítulo 2.

El objetivo del prototipado es el de comprobar la detección coordinada de objetos en un área delimitada previamente, la cual es definida en la etapa inicial de la instalación a través de un computador en el programa principal del PLC de seguridad del sistema. Este experimento validará también las cualidades del sistema en cuanto a seguridad y adaptabilidad.

En la primera sección se describirá el experimento presentando las estrategias de definición de áreas para la etapa de configuración inicial del sistema y la lógica de del manejo de las variables del programa. Las áreas a definir son: Área Danger, Área Warning y Área de Trabajo. Luego, en la segunda sección, se detallarán los componentes del sistema prototipo. Finalmente, en la tercera sección se mostrarán los resultados obtenidos.

3.1 Descripción del experimento

Para validar la cualidad de seguridad del sistema se debe corroborar que los dos escáneres láser que se utilizan en las estaciones A y B pueden trabajar de manera coordinada utilizando los datos de ángulo y distancia de lectura que se entregan al PLC.

Para validar la cualidad de adaptabilidad, se debe corroborar que la posición de las estaciones permite definir un Área Warning y un Área Danger en diferentes disposiciones del Área de Trabajo. Para ello se debe tomar en cuenta que los escáneres láser solo detectan objetos en un rango de 180 grados.

En la presente sección se detalla la estrategia de definición de límites para las diferentes áreas consideradas en el sistema y la lógica de detección de intrusos necesaria para validar las cualidades mencionadas.

Con el fin de mantener las características de adaptabilidad del sistema es necesario que las estrategias sean útiles para diferentes configuraciones del Área de Trabajo. Considerando que el caso crítico es aquel en el cual el brazo robótico trabaja frente a la línea de producción se plantean las siguientes configuraciones:

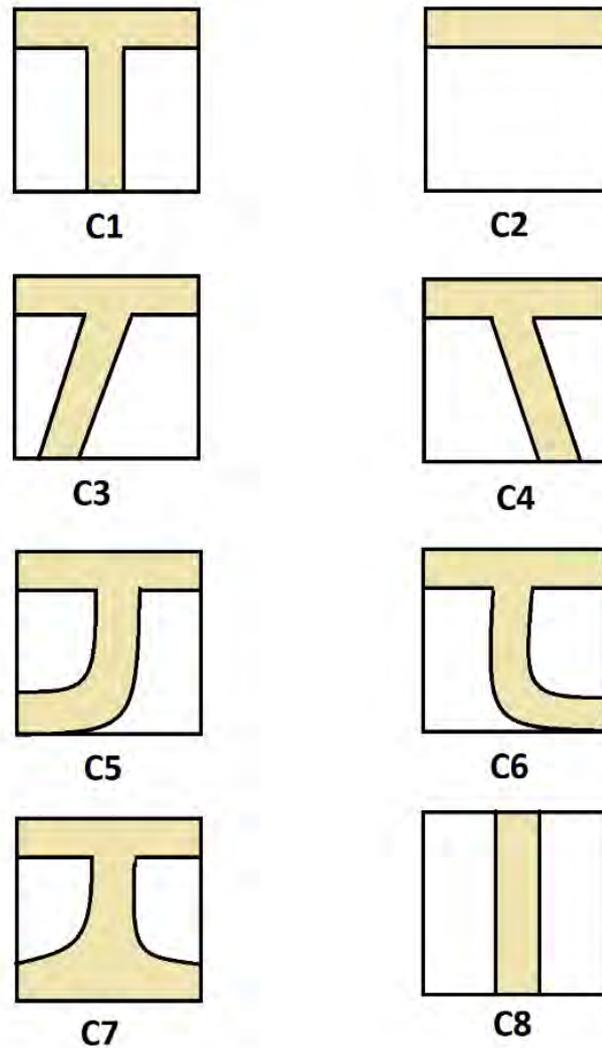


Figura 4. 1 Configuraciones de la zona de trabajo
Fuente: Elaboración Propia

En la figura anterior, las zonas coloreadas de beige representan el Área de Trabajo y las zonas en blanco son las áreas a proteger. Se observa que las configuraciones críticas son las C3, C4 y C7 ya que los límites están compuestos por rectas inclinadas o curvas; para los límites en C3 y C4 se utilizarán dos puntos para definir rectas inclinadas y tres puntos para linealizar las rectas curvas en C7.

A partir de este momento se definirá un sistema de coordenadas XY centrado en el brazo robótico con el eje X a lo largo de la línea de producción y el eje Y alejándose perpendicularmente a ella. Se considerará, además, que los límites están conformados por líneas rectas, con lo cual podemos definir sus tramos a partir de dos puntos.

Se analizará ahora la definición del Área Warning y Área Danger. Con fines de prototipado se utilizarán dos puntos colineales de modo que los límites sean siempre paralelos a los ejes coordenados. Los puntos que definen el Área Warning se denominan $P_1^W(x_1^W, y^W)$ y $P_2^W(x_2^W, y^W)$ y los puntos que definen el Área Danger se denominan $P_1^D(x_1^D, y^D)$ y $P_2^D(x_2^D, y^D)$. A continuación se muestran estos puntos en el plano cartesiano centrado en el brazo robótico:

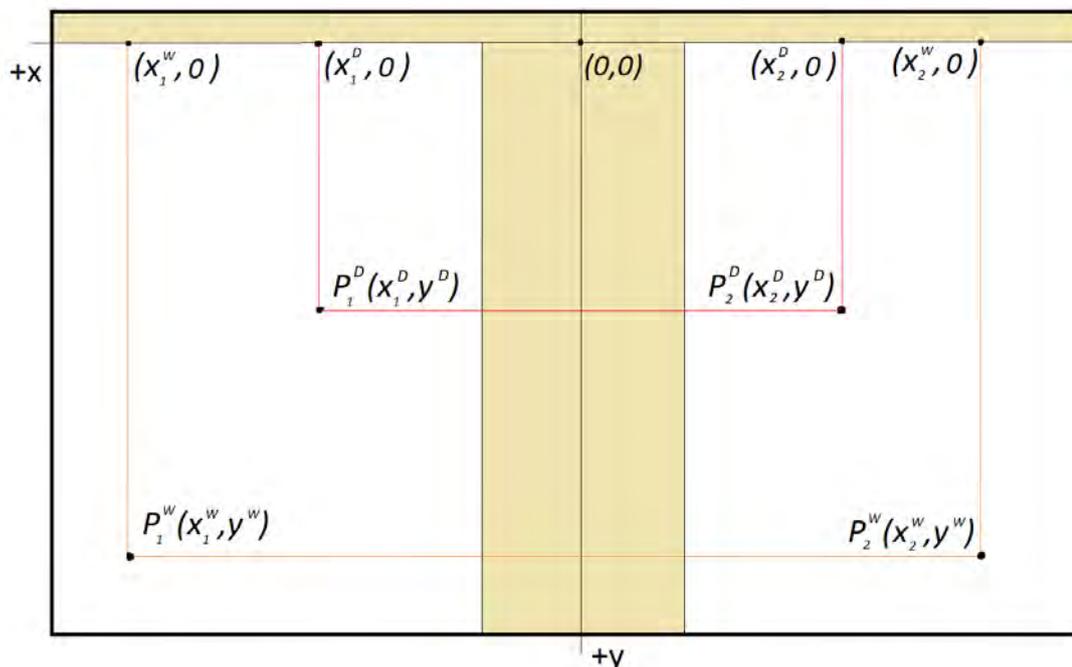


Figura 4. 2 Definición de puntos de las zonas Warning y Danger
Fuente: Elaboración Propia

Se observa entonces que el Área Danger incluye a todos los puntos (x,y) tal que $x_1^D < x < x_2^D$ y $0 < y < y^D$. Del mismo modo, los puntos (x,y) que están en el Área Warning cumplen con que $x_1^W < x < x_2^W$, $0 < y < y^W$ y no pertenecen al Área Danger.

Se considerará ahora los casos C3 y C7 que son críticos y representativos. En ellos el Área de trabajo se determinará utilizando dos rectas y cada recta se definirá por medio de dos puntos. Los puntos serán $P_{11}^T(x_{11}^T, y_{11}^T)$ y $P_{12}^T(x_{12}^T, y_{12}^T)$ para el caso de los puntos ubicados en la dirección X positivo; y $P_{21}^T(x_{21}^T, y_{21}^T)$ y $P_{22}^T(x_{22}^T, y_{22}^T)$ para los puntos ubicados en el lado negativo del eje X. De esta manera se puede obtener el siguiente esquema:

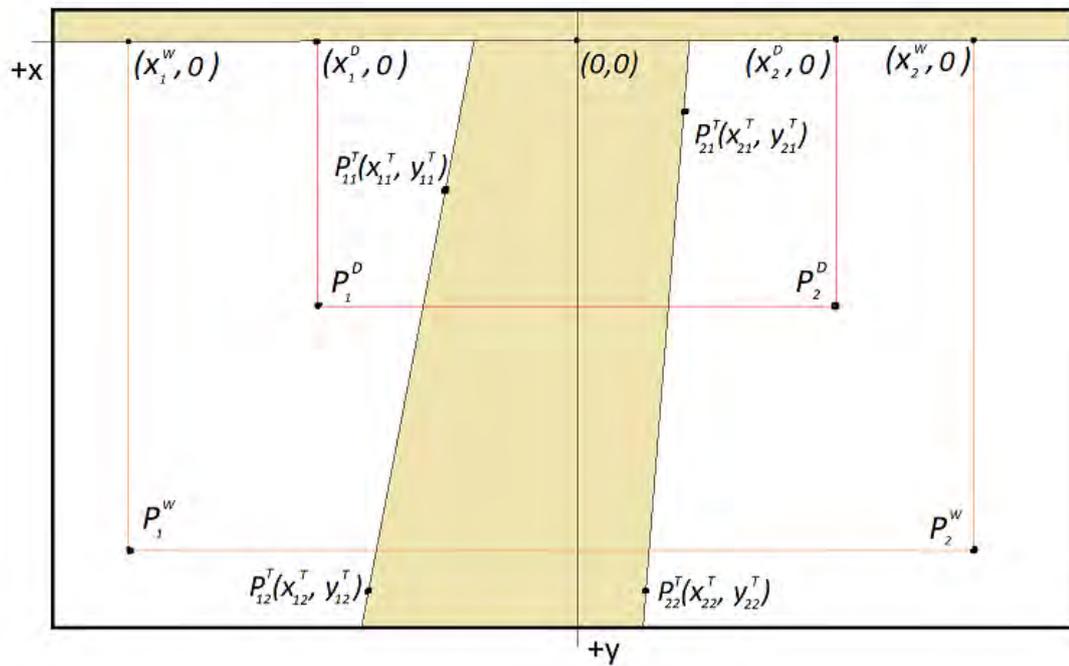


Figura 4. 3 Definición de la zona intermedia de trabajo
Fuente: Elaboración Propia

Añadiendo al esquema los puntos P_1 y P_2 sensados por las estaciones A y B respectivamente, se puede definir la distancia r_1 y el ángulo α_1 para la estación A en la posición P_A ; y la distancia r_2 y el ángulo α_2 para la estación B en la posición P_B . Los ángulos α_1 y α_2 se definen en el plano a partir de la horizontal y en el sentido horario. A continuación se muestran los parámetros descritos:

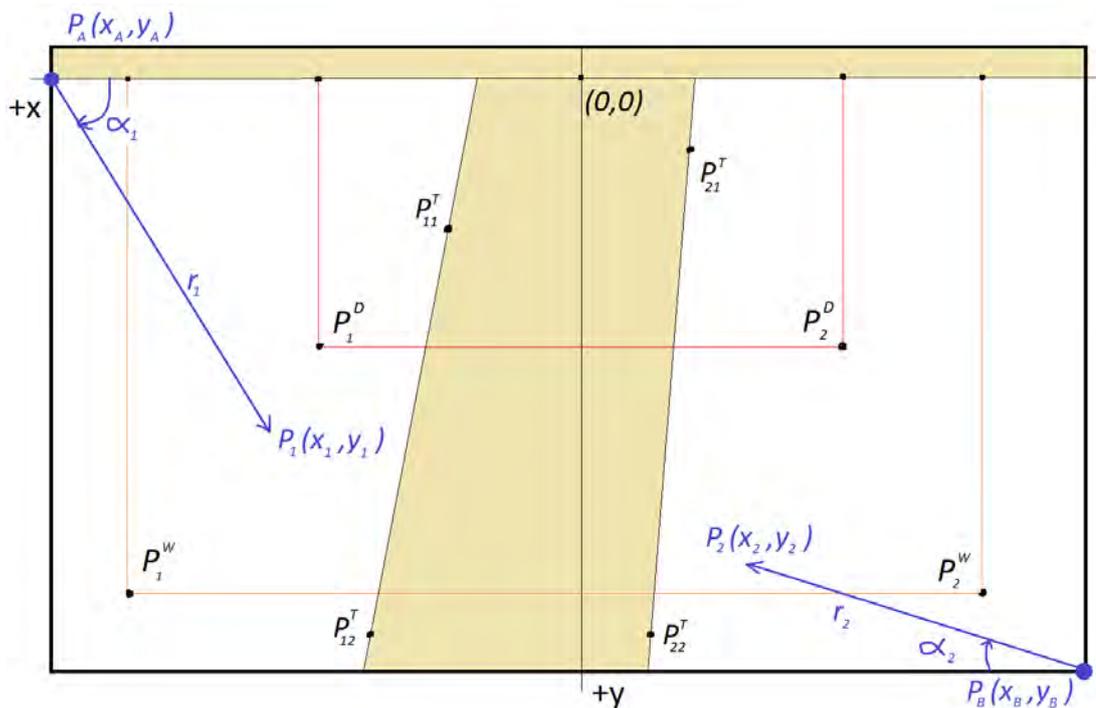


Figura 4. 4 Definición de los puntos sensados en el área de interés
Fuente: Elaboración Propia

Además, se pueden relacionar las coordenadas x e y de los puntos sensados con las distancias y los ángulos, los cuales son salidas directas de los sensores escáner. Las relaciones son las siguientes:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_A - r_1 * \cos(\alpha_1) \\ y_1 &= y_A + r_1 * \sen(\alpha_1), \quad \text{con } y_A = 0 \\ x_2 &= x_B + r_2 * \cos(\alpha_2) \\ y_2 &= y_B - r_2 * \sen(\alpha_2) \end{aligned}$$

Finalmente, las expresiones matemáticas de las condiciones de un punto sensado en el área de interés, ya sea a la derecha o izquierda del eje y , son:

$$x_2 < \left(\frac{x_{22}^T - x_{21}^T}{y_{22}^T - y_{21}^T} \right) * y_2 + \frac{y_{22}^T * x_{21}^T - y_{21}^T * x_{22}^T}{y_{22}^T - y_{21}^T}$$

$$y_2 > 0$$

$$x_1 > \left(\frac{x_{12}^T - x_{11}^T}{y_{12}^T - y_{11}^T} \right) * y_1 + \frac{y_{12}^T * x_{11}^T - y_{11}^T * x_{12}^T}{y_{12}^T - y_{11}^T}$$

$$y_1 > 0$$

Las condiciones para considerar a un punto dentro de la Zona Warning, además de cumplir con las inecuaciones anteriores, son:

$$x_1 < x_1^W, \quad y_1 < y^W, \text{ o bien}$$

$$x_2 > x_2^W, \quad y_2 < y^W$$

Y las condiciones para considerar a un punto dentro de la Zona Danger, además de cumplir con las inecuaciones anteriores, son:

$$x_1 < x_1^D, \quad y_1 < y^D, \text{ o bien}$$

$$x_2 > x_2^D, \quad y_2 < y^D$$

A partir de estas expresiones matemáticas se puede codificar el programa de control para el prototipo, el cual se muestra en el Anexo C. Cabe resaltar que las mismas definiciones de los puntos y las configuraciones de las áreas de trabajo pueden ser utilizadas para la programación y configuración del sistema de control real a implementar.

3.2 Descripción del hardware

El hardware del prototipo consta de las dos estaciones A y B señaladas en el Capítulo 2 y un controlador. Cada estación está compuesta de un servomotor SG99 y un sensor ultrasonido HG75 solidario a eje de giro del servomotor. Las señales de ambas estaciones se centralizan en un controlador ESP32, programado con el IDE de Arduino, el cual procesa la data y enciende 3 leds de color verde, amarillo y rojo para indicar el estado del sistema emulando la acción de la baliza de luces seleccionada. A continuación se muestra un diagrama de arquitectura de hardware con los componentes mencionados:

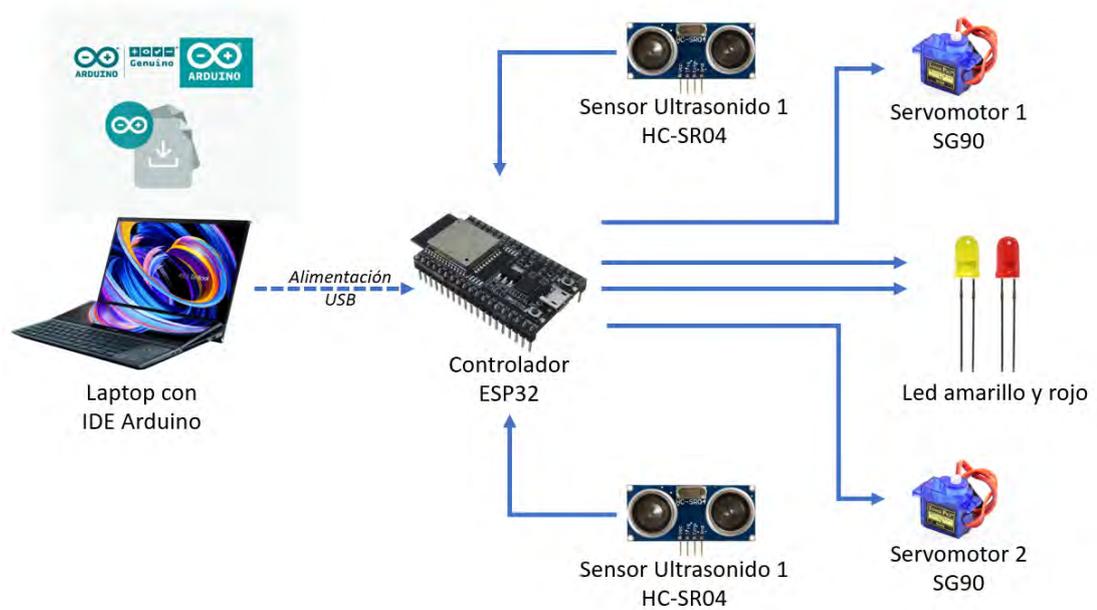


Figura 4. 5 Diagrama de conexiones del prototipo
Fuente: Elaboración Propia

Las estaciones están posicionadas según lo diseñado en el Capítulo 2 y sobre un área de 1,20 x 1 metros, lo que permite que el experimento tenga una escala aproximada de 1:5 en comparación el área máxima para la cual es sistema real está diseñado. El aspecto de las estaciones, el controlador y las conexiones es el siguiente:



Figura 4. 6 Prototipado de sensores escáner en las estaciones
Fuente: Elaboración Propia

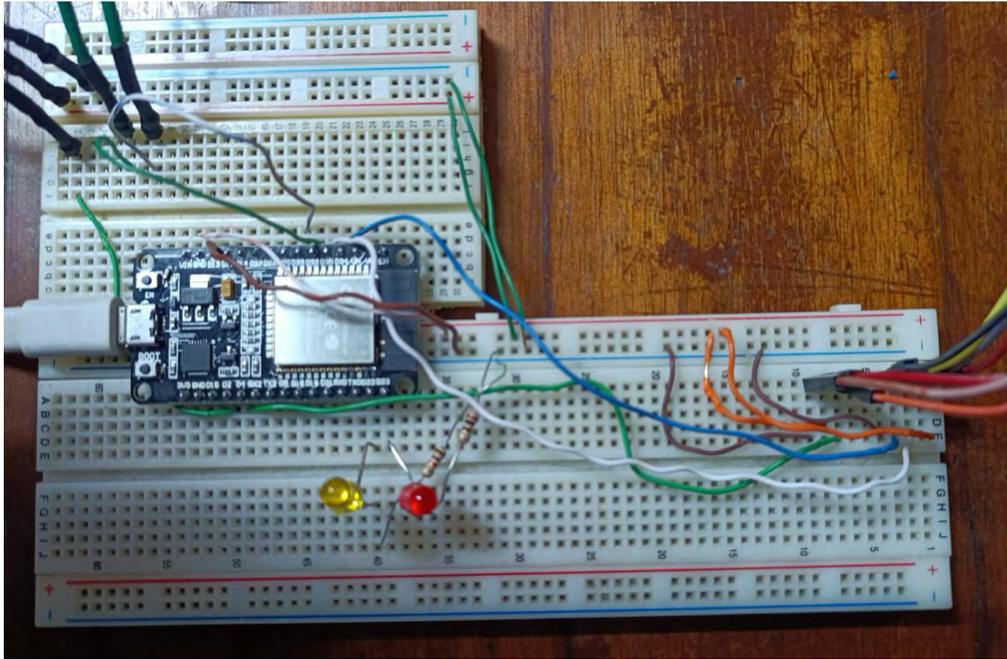


Figura 4. 7 Protoboard con circuitería de control
Fuente: Elaboración Propia

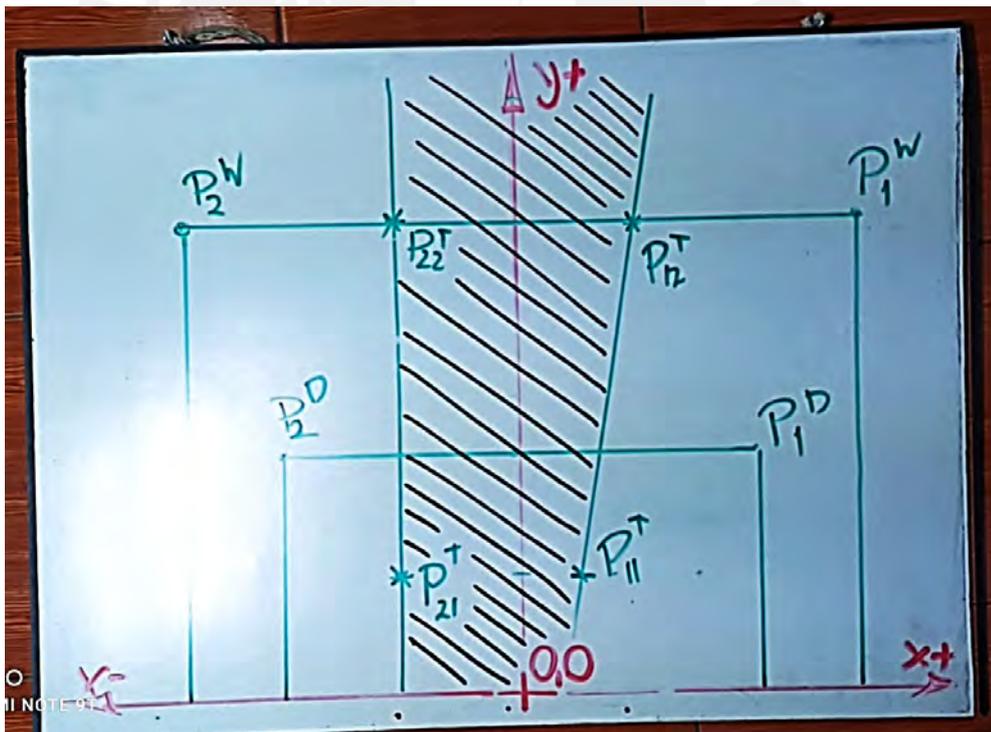


Figura 4. 8 Área de interés para prototipado
Fuente: Elaboración Propia

Sobre el área de interés escalada se han marcado los puntos definidos en el subcapítulo 1 como se muestra en la Figura 4. 7 y cuyos valores de coordenadas en centímetros son los siguientes:

Tabla 3. 1 Coordenadas de puntos límite para prototipado
Fuente: Elaboración Propia

Punto	X	Y
P_{11}^T	$x_{11}^T = 5$	$y_{11}^T = 10$
P_{12}^T	$x_{12}^T = 10$	$y_{12}^T = 40$
P_{21}^T	$x_{21}^T = -10$	$y_{21}^T = 10$
P_{22}^T	$x_{22}^T = -10$	$y_{22}^T = 40$
P_1^W	$x_1^W = 28$	$y^W = 40$
P_2^W	$x_2^W = -28$	$y^W = 40$
P_1^D	$x_1^D = 20$	$y^D = 20$
P_2^D	$x_2^D = -20$	$y^D = 20$

Además se colocaron las estaciones en las posiciones :

$$P_A(x_A, y_A) = (28, 0) \text{ y } P_B(x_B, y_B) = (-39, 40)$$

La vista final de planta es la siguiente:

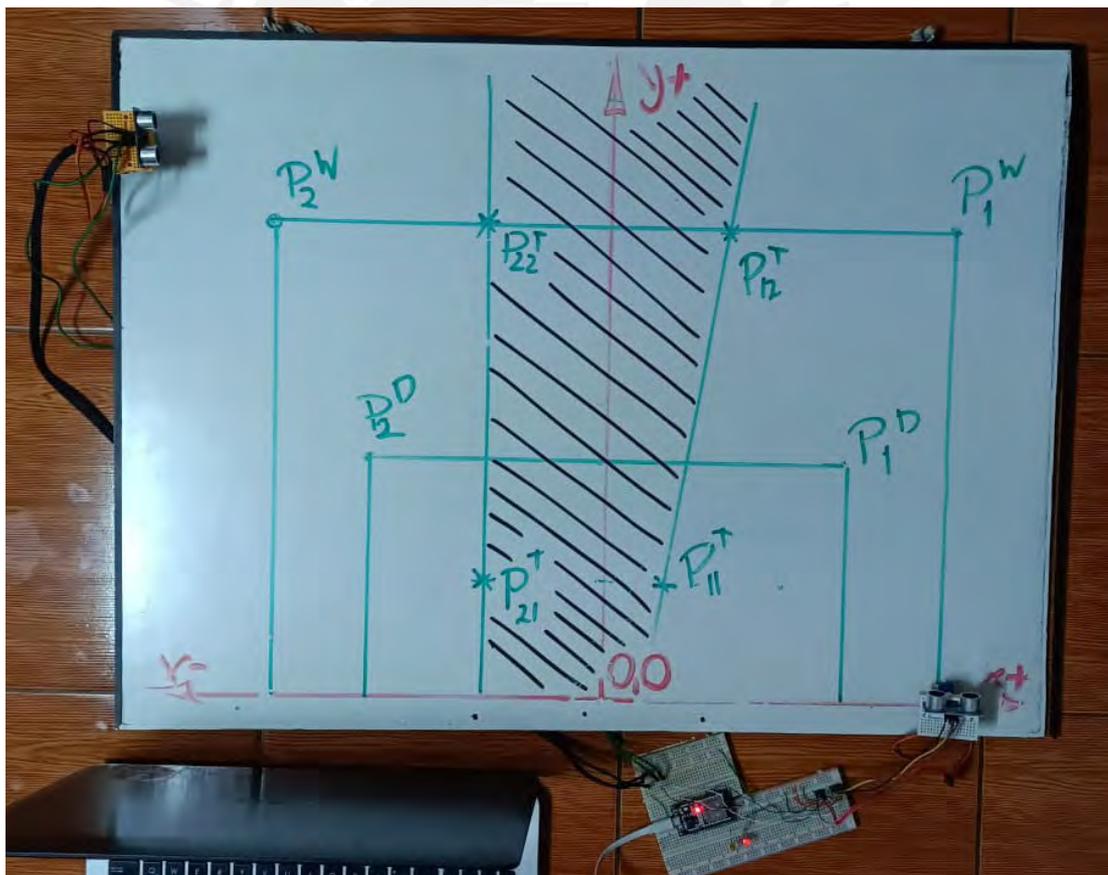


Figura 4. 9 Configuración inicial para prototipado
Fuente: Elaboración Propia

3.3 Resultados del experimento

A continuación se muestran imágenes con 3 casos de prueba con resultado satisfactorio:

- a. Ingreso en la zona de interés pero sin ingreso a las Zonas Warning ni Danger y sin ninguna alarma encendida

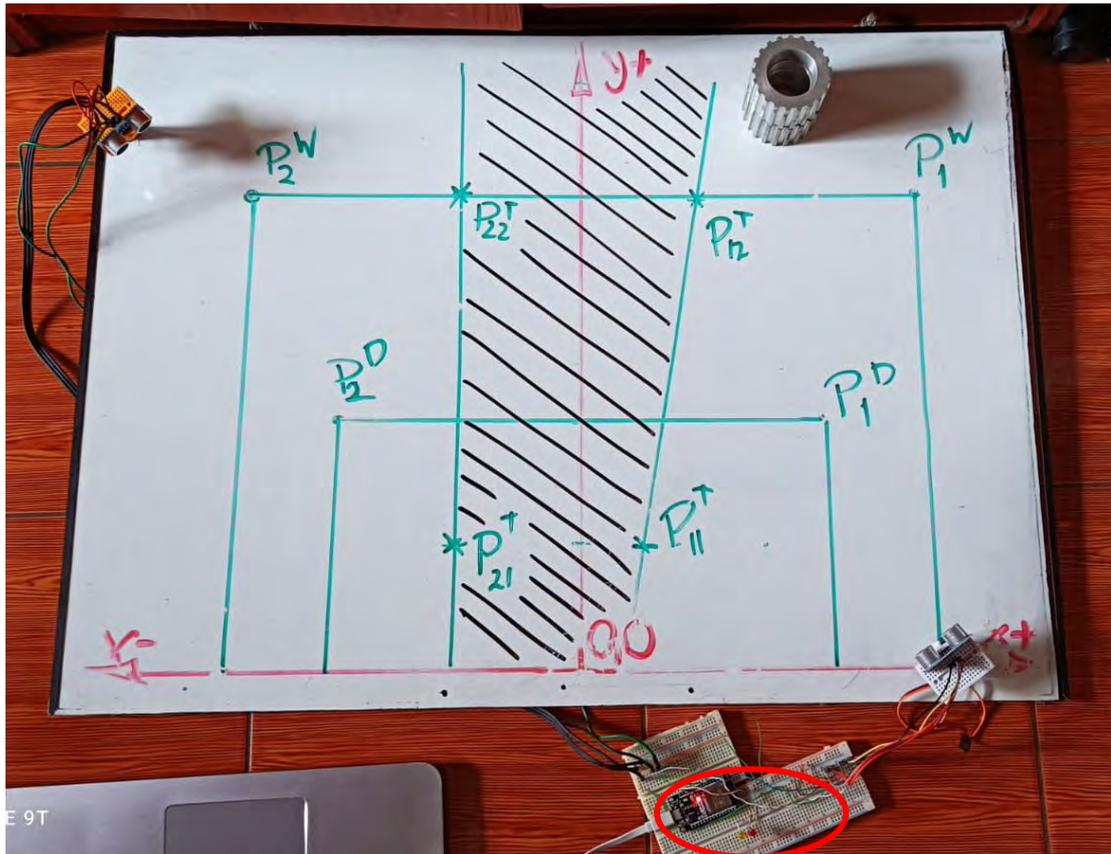


Figura 4. 10 Resultado de prueba sin ingreso a zonas de peligro
Fuente: Elaboración Propia

- b. Ingreso en la Zona Warning con led amarillo encendido detectando un objeto intruso en el área de la izquierda

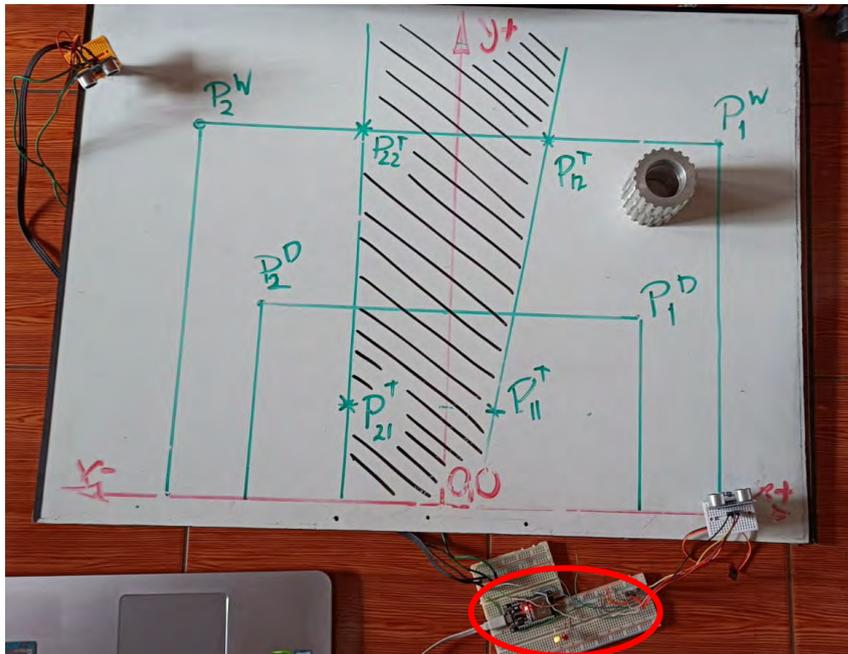


Figura 4. 11 Resultado de prueba con ingreso a Zona Warning
Fuente: Elaboración Propia

- c. Ingreso en la Zona Danger con led rojo encendido detectando un objeto intruso en el área de la derecha

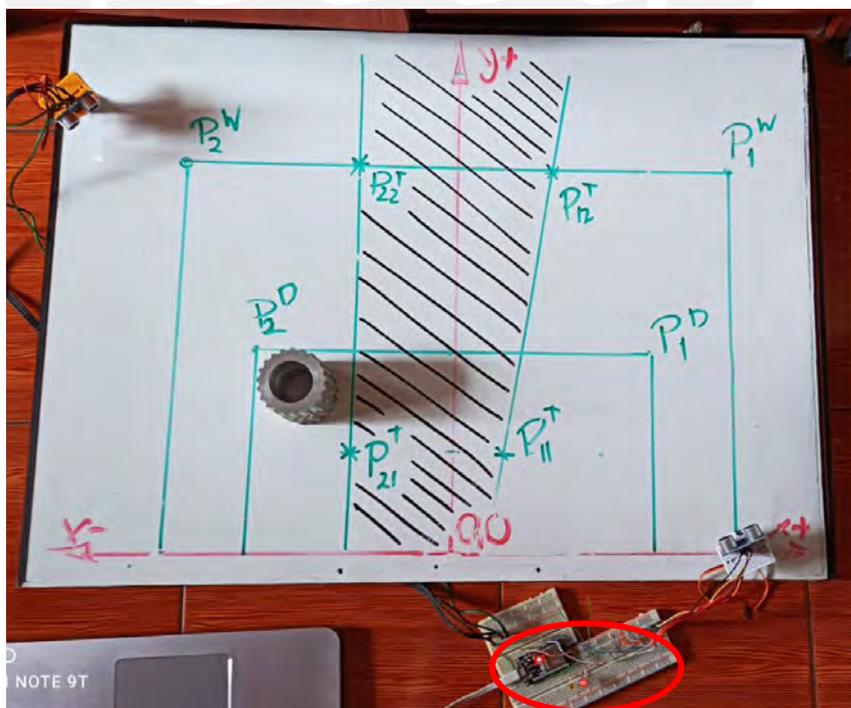
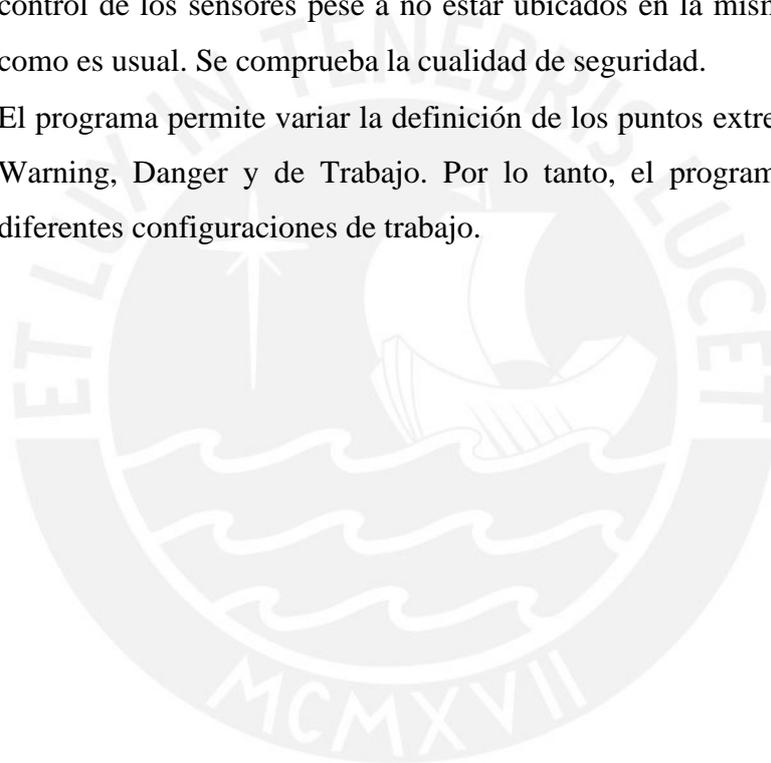


Figura 4. 12 Resultado de prueba con ingreso a Zona Danger
Fuente: Elaboración Propia

Después de probarse la funcionalidad del prototipo en las configuraciones de zona C3 se obtuvieron los siguientes resultados:

- El sistema prototipo es capaz de coordinar el control de las señales de dos sensores ultrasonido. Por lo tanto el sistema real será capaz de coordinar en el PLC de seguridad dos sensores escáner.
- La distribución de las estaciones permite la detección correcta de objetos intrusos aún cuando los escáneres no funcionan de manera radial respecto al brazo, como se estila normalmente. Por lo tanto el sistema podrá realizar el control de los sensores pese a no estar ubicados en la misma base del robot, como es usual. Se comprueba la cualidad de seguridad.
- El programa permite variar la definición de los puntos extremos de las Zonas Warning, Danger y de Trabajo. Por lo tanto, el programa es adaptable a diferentes configuraciones de trabajo.



CAPÍTULO 4

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

En el presente capítulo se detallarán los costos del sistema diseñado a partir de las cotizaciones realizadas en el mercado local para los equipos seleccionados en el Capítulo 3.

Costos del Sistema

En la Tabla 4.1 se muestra el desglose de los costos del sistema diseñado según la lista final de equipos y las estructuras propuestas en los planos finales del sistema. Las cotizaciones y sustentos de los precios se encuentran en el Anexo D: Cotizaciones Finales del Sistema. Los precios incluyen IGV y no incluyen descuentos condicionados a la compra de todos los materiales cotizados.

Tabla 4. 1 Detalle de costos de implementación del proyecto
Fuente: Elaboración Propia a partir de cotizaciones adjuntadas en el Anexo D

Cant.	Descripción	Precio Unitario	Precio Total	Proveedor
	Equipos del sistema			
2	Escáneres Láser 2D LiDAR, marca SICK, modelo TiM781S	S/.12'626.00	S/.25'252.00	Brammertz Ings. S.A.
1	Receptor de barrera fotoeléctrica de seguridad multihaz, marca SICK, modelo deTem2 Core de 4 haces	S/.3'958.90	S/.3'958.90	Brammertz Ings. S.A.
1	Emisor de barrera fotoeléctrica de seguridad multihaz, marca SICK, modelo deTem2 Core de 4 haces	S/.2'660.90	S/.2'660.90	Brammertz Ings. S.A.

1	Pulsador de parada de emergencia ø 22 mm, modelo XB5AS8442	S/.80.17	S/.80.17	Schneider Electric Perú S.A. ²⁴
1	Display, marca Neoled Perú, 4 cifras y 16 x 32 cm para interiores con comunicación Ethernet	S/.1'500.00	S/.1'500.00	Neoled Perú
1	Torre de luces XVM 45mm, marca Schneider Con buzzer, elementos luminosos verde, rojo y naranja de 230 VAC tipo LED	S/.403.30	S/.403.30	M. Electro S.A.
1	Contactador TeSys D, modelo LC1D18M7	S/.251.59	S/.251.59	Schneider Electric Perú S.A.
1	PLC Modular Flexi Soft, marca SICK: Módulo Principal FX3-CPU320002	S/.2'154.68	S/.2'154.68	Brammertz Ings. S.A.
1	Módulo de entradas analógicas FX3-ANA020002	S/.2'336.40	S/.2'336.40	Brammertz Ings. S.A.
1	Módulo de entradas y salidas digitales seguras FX3-XTIO84002	S/.1'908.06	S/.1'908.06	Brammertz Ings. S.A.
1	Módulo Gateway EtherNet/IP FX0-GENT00000	S/.2'375.34	S/.2'375.34	Brammertz Ings. S.A.
1	Fuente de alimentación Schneider Universal - IP20, modelo ABL8RPS24050 5A	S/.1'021.76	S/.1'021.76	Schneider Electric Perú S.A.
Cableado				
1	Conector del Sistema PLC FX3	S/.293.70	S/.293.70	Brammertz Ings. S.A.
2	Cable conector YF2A15 hembra M12 de 5 pines para barrera fotoeléctrica. 5 metros de largo	S/.102.54	S/. 205.08	Brammertz Ings. S.A.
1	Cable conector DSL CPU-PLC, longitud 2 metros, 4 hilos, sin apantallar	S/.440.97	S/.440.97	Brammertz Ings. S.A.
Estructura				
1	Tubo de perfil cuadrado LAC ASTM 50 mm, 3 mm de espesor. Unidades de 6 metros.	S/.84.84 ²⁵	S/.84.84	Aceros Comerciales S.C.R.L.
1	Armario marca Rittal, dimensiones 300 x 300 x 210 mm	S/.204.75	S/.204.75	M. Electro S.A.
2	Soporte de escáner y barreras laser	S/.98.8	S/. 197.8	Sala VEO3D
1	Riel DIN Perforado 37 x 7,5 mm, unidades de 2 metros	S/.8.88	S/.8.88	M. Electro S.A.
			Costo Total	S/.47'982.42

De la tabla anterior obtenemos que el costo de la compra de los equipos, cableado y estructura es de S/.47'982.42. Cabe resaltar que el precio de los dos sensores escáner

²⁴ Los precios de materiales proporcionados por la empresa Schneider Electric Perú S.A. han sido obtenidos de su Lista de Precios Oficial 2019

²⁵ Precio obtenido por consulta telefónica según catálogo de <https://aceroscomerciales.com.pe/producto/tubos-cuadrados-lac/>

representa el 53% del valor total de los equipos y demás. Por ello, se recomienda realizar una evaluación simple al sistema: si este no necesita de más de un escáner láser para cubrir la Zona Danger, entonces se puede utilizar un único sensor reduciendo así los costos a S/. 35'356.42.

No se han considerado cotizaciones de servicios debido a que los procesos de ensamblaje del tablero eléctrico, conexión de equipos y armado de postes son simples y pueden ser realizados por el mismo equipo de implementación del proyecto.



CONCLUSIONES

A partir del trabajo realizado se concluye lo siguiente:

- Se diseñó un subsistema de detección de presencia. Los elementos seleccionados para el subsistema fueron una barrera láser de cuatro haces de Tem2 y dos escáneres LiDAR TiM781S de la marca SICK. Adicionalmente se agregó un botón de emergencia para realizar la detección de cercanía al área de riesgo por medio de la activación manual. La lectura de las señales de los componentes se realiza a través de un PLC de seguridad modular Flexisoft de marca SICK.
- Se diseñó un subsistema de alarma y corte. Los elementos seleccionados para el subsistema fueron un contactor o relé de potencia TeSysD LC1D18M7 de la marca Schneider Electric, una interfaz de comunicación usuario-sistema tipo display con comunicación Ethernet/IP de la marca Neoled y una torre de luces o baliza Harmony de la marca Schneider Electric. El control de las señales de activación de los componentes se realiza a través de un PLC de seguridad modular Flexisoft de marca SICK.
- Se diseñó la red de alimentación eléctrica para el sistema, la cual consta de una línea de 24VDC separada de la red eléctrica general a través de una fuente de energía de 5 amperios de la marca Schneider Electric. La energía consumida por el sistema es aproximadamente 80.5 Watts.
- Se realizaron los planos de fabricación de la estructura del sistema y la disposición de los elementos del sistema. Los componentes se integran al sistema a través de 2 estaciones y un flanco cubierto por una barrera láser de Tem2 de la marca SICK; cada una de las estaciones cuenta con un escáner láser TiM781S LiDAR de la marca SICK para la detección de presencia en el área de acceso al brazo robótico (Zonas Danger y Warning).

- Se diseñaron los diagramas de conexiones y de control para el cableado y programación del sistema. El cableado puede ser realizado a través de canaletas por suelo o techo. Por otro lado, la programación incluye el uso del protocolo de comunicación CoLaB de la marca SICK para la lectura de los datos de posición de intrusos obtenidos por los sensores LiDAR TiM781S.
- A través del prototipado se corroboró las cualidades de seguridad y adaptabilidad del sistema para una configuración de espacio de trabajo genérica y representativa. Además, se definió la nomenclatura para los puntos que delimitan las Zonas Danger, Warning y de Trabajo la cual puede ser utilizada en la programación del sistema real.
- Se presupuestaron los costos de implementación del sistema, obteniéndose un valor de S/.47'982.42 incluyendo IGV. Cabe mencionar que la cotización de todos los componentes se realizó de manera local tal y como se requirió al inicio de la tesis.

RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las recomendaciones para la implementación del sistema:

- El 21% del valor del sistema equivale al costo de los escáneres láser de seguridad, por lo que eventualmente se puede obviar el uso de uno de ellos. La distribución de zonas de trabajo en la que es obligatorio el uso de ambos escáneres es aquella en donde la Zona de Trabajo divide en dos las Zonas Danger y Warning (Caso Pick&Place en el Capítulo 2).
- Durante la implementación del sistema se puede utilizar la misma nomenclatura y fórmulas que en el Capítulo 3 Implementación del Prototipo realizando ajustes para que las áreas no sean únicamente cuadradas sino polinómicas. Se recomienda utilizar el mismo sistema de ejes coordenados centrado en el brazo robótico.
- El sistema cuenta con un módulo de comunicación Ethernet/IP, lo que facilita el escalamiento de la transmisión de los datos a un sistema superior. Se recomienda que se utilicen los datos de la cantidad de paradas por ingreso a la zona Warning y la cantidad de paradas por ingreso a la zona Danger para mostrarlos en paneles HMI generales de la línea, sistemas SCADA o historiadores.

BIBLIOGRAFÍA

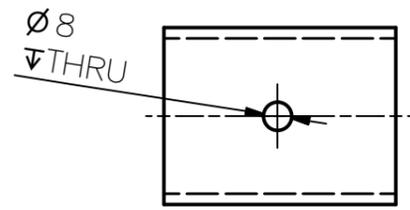
- Allen Bradley. (s.f.). *Dispositivos de seguridad de detección de presencia*. Recuperado el 30 de Enero de 2018, de <http://ab.rockwellautomation.com/es/Sensors-Switches/Operator-Safety>
- Automation, S. (s.f.). *Bordes Sensibles. Gama System*. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <http://www.starautomation.es/productos/bordes-gamma-system>
- BBC. (17 de Marzo de 2017). *Qué países tienen más robots en sus fábricas y cuán cierto es que nos están robando los puestos de trabajo*. Recuperado el Febrero de 2018, de <http://www.bbc.com/mundo/noticias-39267567>
- CEPYME. (2006). *Guía Técnica de Seguridad en Robótica*. Obtenido de ConectaPyme: www.conectapyme.com/documentacion/2006robotica.pdf
- Certificazioni Tecniche Ambiente Industria. (s.f.). *Functional Safety - Machinery*. Milano.
- Congreso de la República. (s.f.). *Decreto Supremo 42F*. Lima.
- Dils, J. (16 de Enero de 2004). *Estados Unidos Patente n° US 2004/0194594 A1*.
- Duane Cofer, D. (8 de Junio de 2001). *Estados Unidos Patente n° US 7768549*.
- Empleo, M. d. (2018). Data de accidentes anuales por categorías.
- Federación Internacional de Robótica. (2018). Informe Anual.
- Federación Internacional de Robótica. (2020). *Informe Anual*.
- Gestión, R. (2015). *¿Robots peligrosos? Modelo cooperativo aspira a una relación robot-humano segura*. *Diario Gestión*. Obtenido de <https://gestion.pe/tecnologia/robots-peligrosos-modelo-cooperativo-aspira-relacion-robot-humano-segura-98556>
- Hoffman, G. (2 de Febrero de 1982). *Estados Unidos Patente n° US 4532501*.
- ISO 13849-1. (2015). *Safety of machinery - Safety-related parts of control systems. Part 1: General Principle of design*.
- Knackstedt, H. (s.f.). *ISO 13849-1 PL Calculations Simplified*. Ohio: C&E Sales, inc.
- Luna, J. H. (2019). *Sistema de Seguridad Adaptable para Brazos Robóticos*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- OMRON. (s.f.). *Celda de carga robótica por visión o empaquetador de surtido*. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <https://industrial.omron.es/es/solutions/packaging/packaging-machine-automation-solutions/robotic-infeed-module>

- PEPPERL+FUCHS. (s.f.). *Sensores de Seguridad*. Recuperado el 29 de Enero de 2018, de https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid_45.htm
- Rahimi, M. (1986). Systems safety for robots: An energy barrier analysis. *Journal of Occupational Accidents*, 127-138.
- Ríofrío, M. M. (26 de Setiembre de 2018). El 30% de las industrias peruanas dice que ya utiliza robots. *El Comercio*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2021, de <https://elcomercio.pe/economia/negocios/30-industrias-peruanas-dice-utilizan-robots-noticia-561511-noticia/>
- Robótica Industrial: Seguridad* (2014). [Película]. Recuperado el 29 de Enero de 2018, de <https://www.youtube.com/watch?v=WrwNKveMBNs>
- Rockwell Automation. (2011). *Safebook 4*.
- Sanderson, L. M., Collins, J. W., & McGlothlin, J. D. (1986). Robot-related fatality involving a U.S. manufacturing plant employee: case report and recommendations. *Journal of Occupational Accidents*, 13-23.
- Schneider Electric. (2019). *Schneider Electric: Página Institucional*. Obtenido de <https://www.se.com/pe/es/Seguridad Industrial, Protección de Maquinaria, guardas y barreras físicas> (2014). [Película]. Recuperado el 29 de Enero de 2018, de <https://www.youtube.com/watch?v=d0dksGa9Gjo>
- SICK. (2019). Operating Instructions: TiM781S, Safety related 2D LiDAR sensor.
- SICK. (s.f.). *Dispositivos de protección optoeléctricos*. Recuperado el 6 de Febrero de 2018, de https://www.sick.com/es/es/c/PRODUCT_ROOT#g184853
- SIEMENS. (s.f.). *Sirius 3SK1 Safety Relays*. Obtenido de <https://novedadesautomatizacion.net/sirius-3sk1-modulo-seguridad/>
- Wander Abramo, L., & Salazar, G. (s.f.). *El trabajador frente a la automatización: efectos sociales y percepción de los trabajadores*. Obtenido de https://www-jstor-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/stable/3540584?seq=9#metadata_info_tab_contents

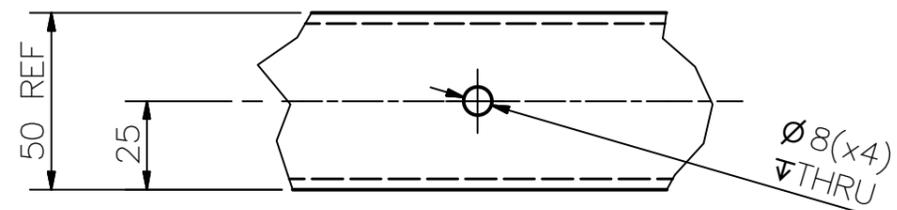
ANEXO A: PLANOS DE FABRICACIÓN DEL SISTEMA

En el presente anexo se adjuntan los siguientes planos de fabricación de los componentes estructurales del sistema y los planos de ensamblaje del sistema y el panel de control:

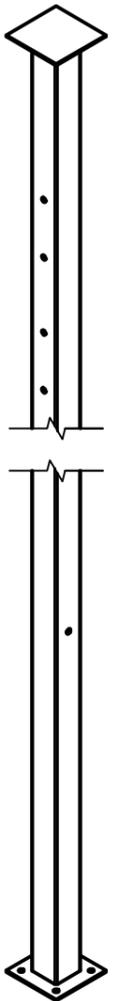
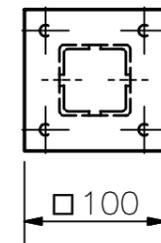
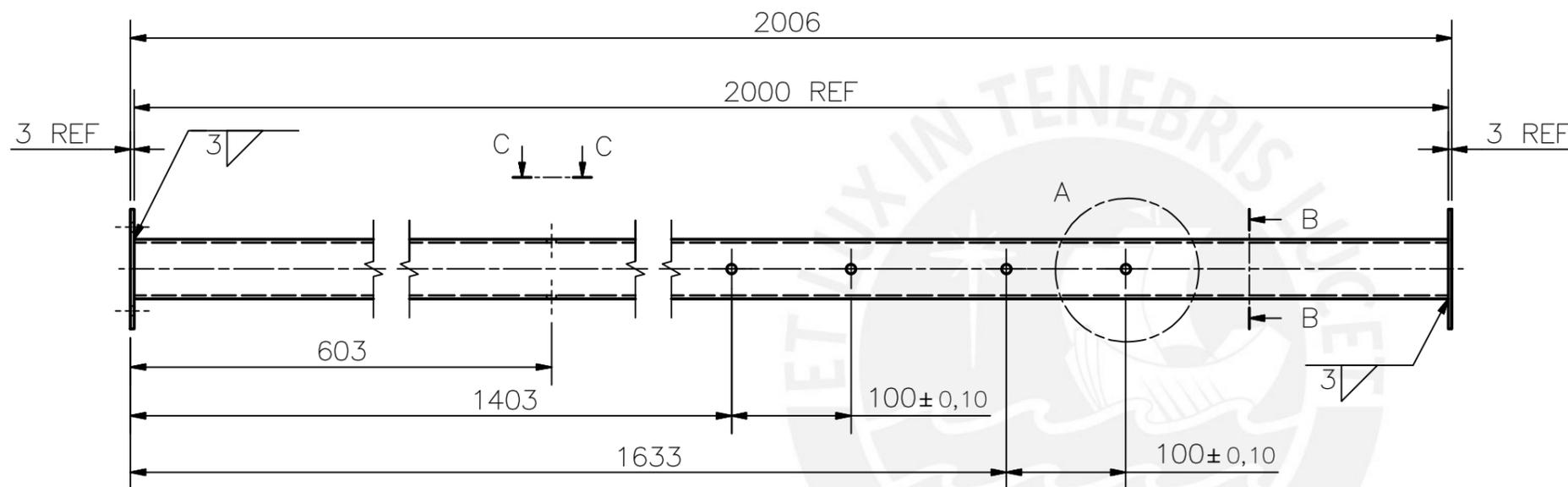
Código	Nombre	Tipo	Tamaño
D001	Poste 1	Despiece	A3
D002	Poste 2	Despiece	A3
D003	Poste 3	Despiece	A3
D004	Soporte de Barrera Láser 1	Despiece	A3
D005	Soporte de Barrera Láser 2	Despiece	A3
D006	Soporte de Escáner Láser	Despiece	A3
E001	Ensamblaje Total	Ensamblaje	A2
E002	Estación A	Ensamblaje	A3
E003	Estación B	Ensamblaje	A3
E004	Estación de Barrera Láser	Ensamblaje	A3
E005	Panel de Control	Ensamblaje	A2



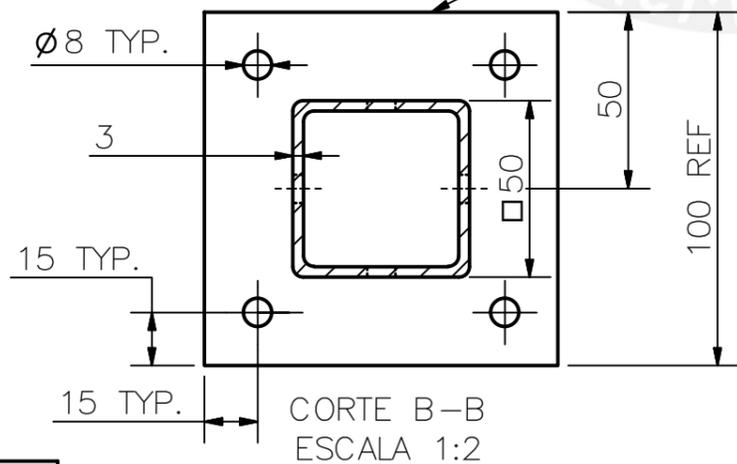
VISTA C-C



DETALLE A
ESCALA 1 : 2



100 mm x 100 mm x 3 mm
ACERO DE BAJO CARBONO - (2 UN.)



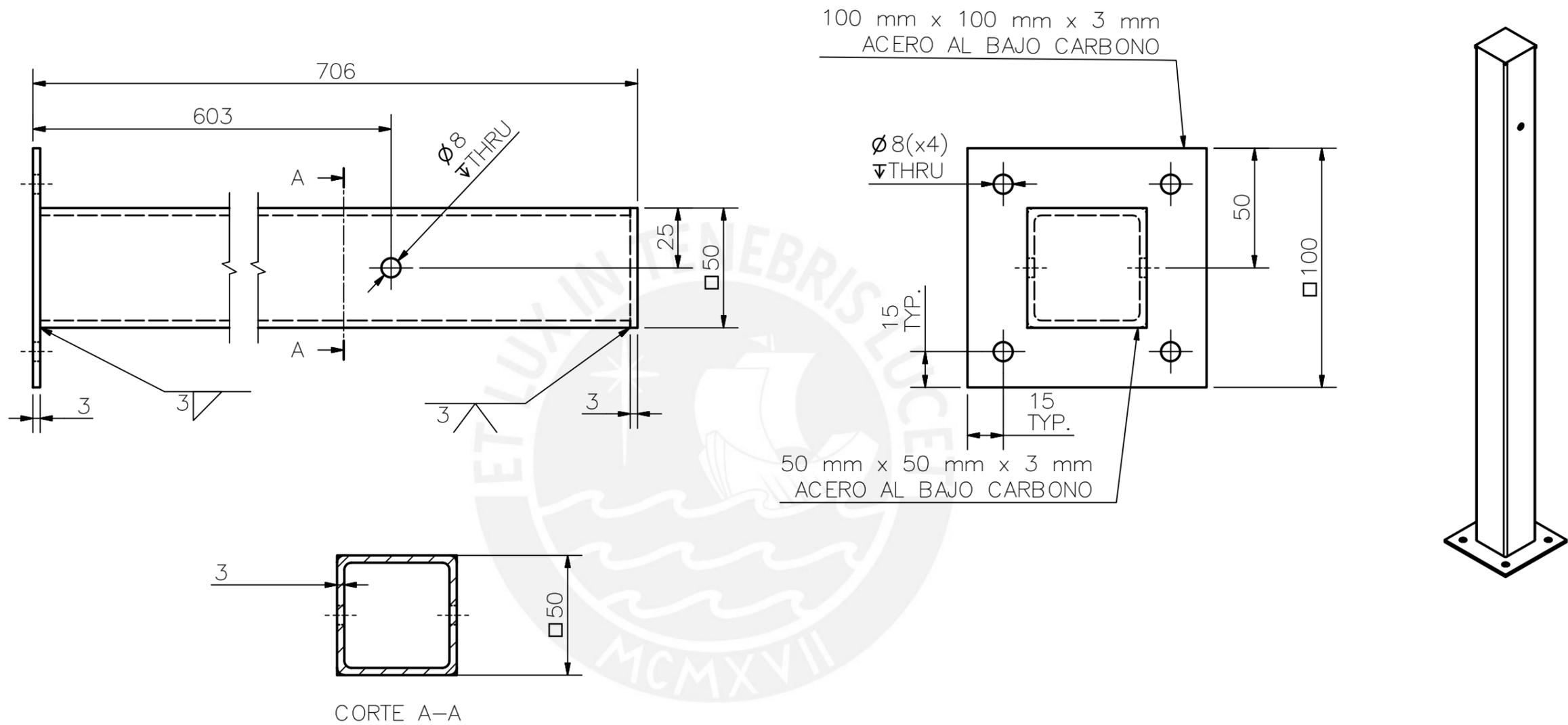
CORTE B-B
ESCALA 1:2

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

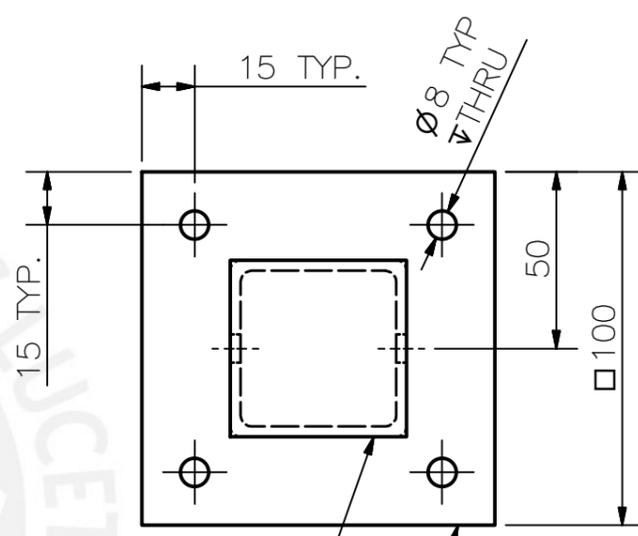
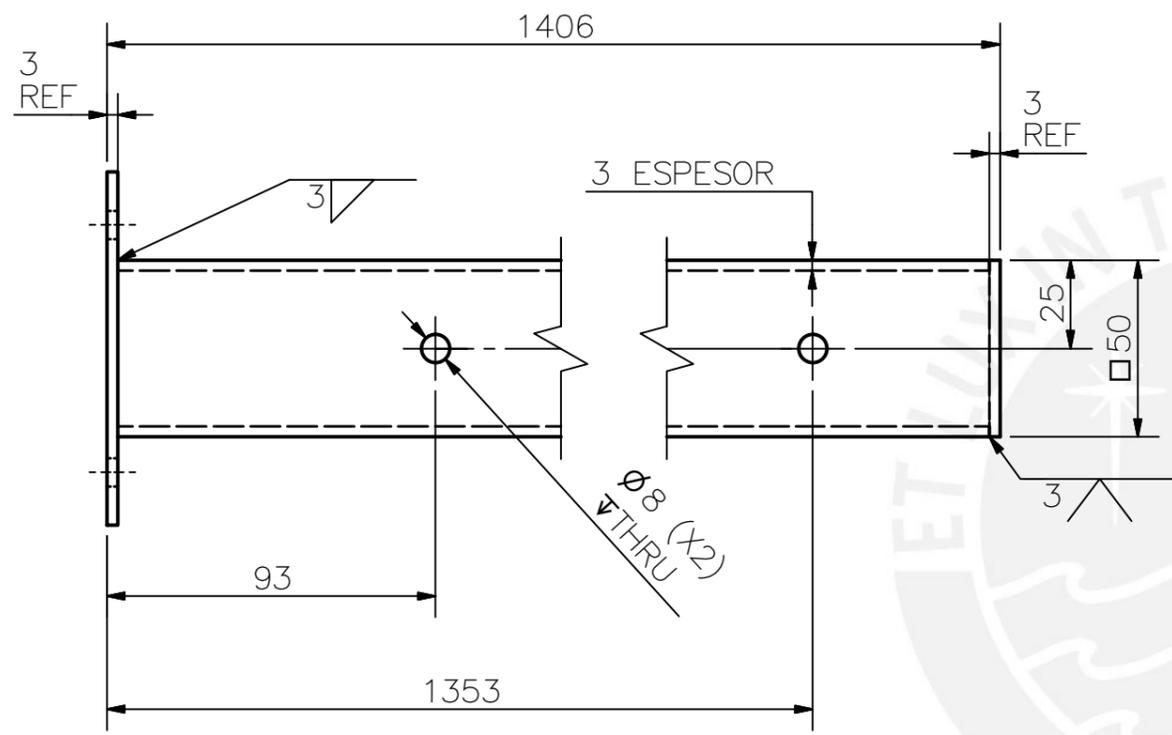
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MEDIO	MATERIAL ASTM TNM CUA A500
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	POSTE 1	ESCALA 1:5
20151391	LUNA GUTIERREZ, JORGE HERNAN	FECHA: 2019.29.09
		LÁMINA: A3



TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

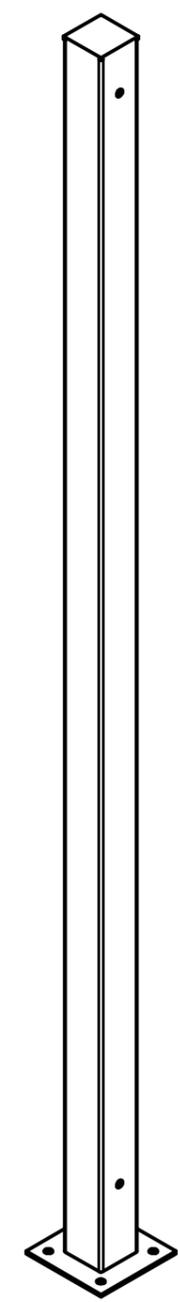
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MEDIO	MATERIAL ASTM TNM CUA A500
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	POSTE 2	ESCALA 1:2
20151391	LUNA GUTIERREZ, JORGE HERNAN	FECHA: 2019.09.29
		LÁMINA: A3



50 mm x 50 mm x 3 mm
ACERO AL BAJO CARBONO

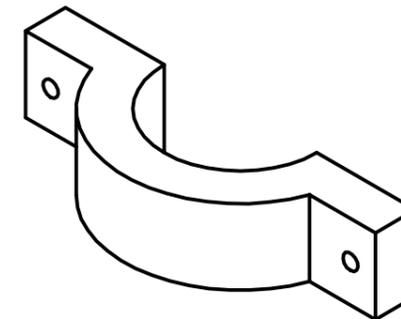
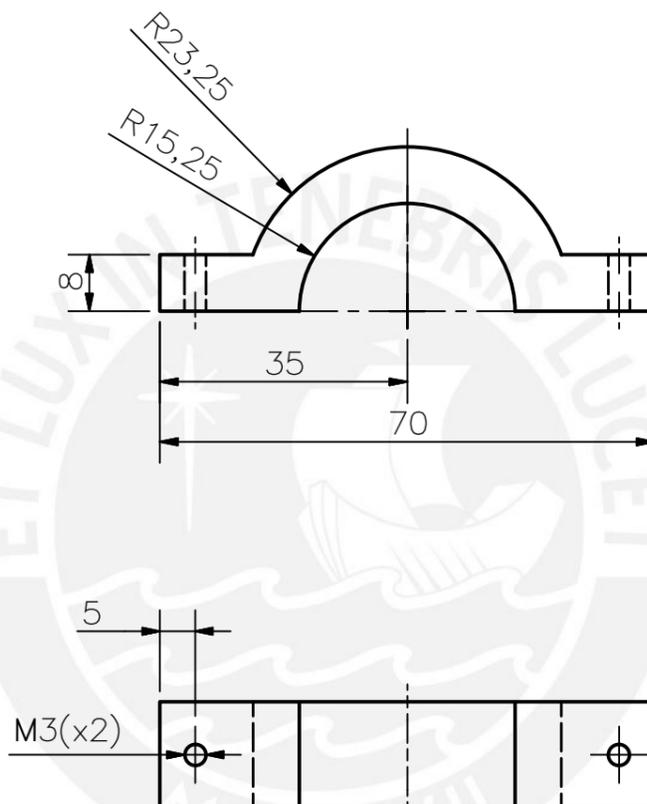
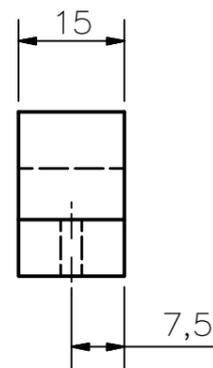
100 mm x 100 mm x 3 mm
ACERO AL BAJO CARBONO



TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MEDIO	MATERIAL ASTM TNM CUA A500
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	POSTE 3	ESCALA 1:5
20151391	LUNA GUTIERREZ, JORGE HERNAN	FECHA: 2019.09.30
		LÁMINA: A3

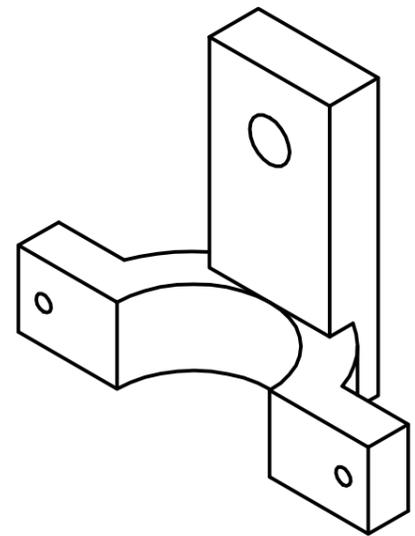
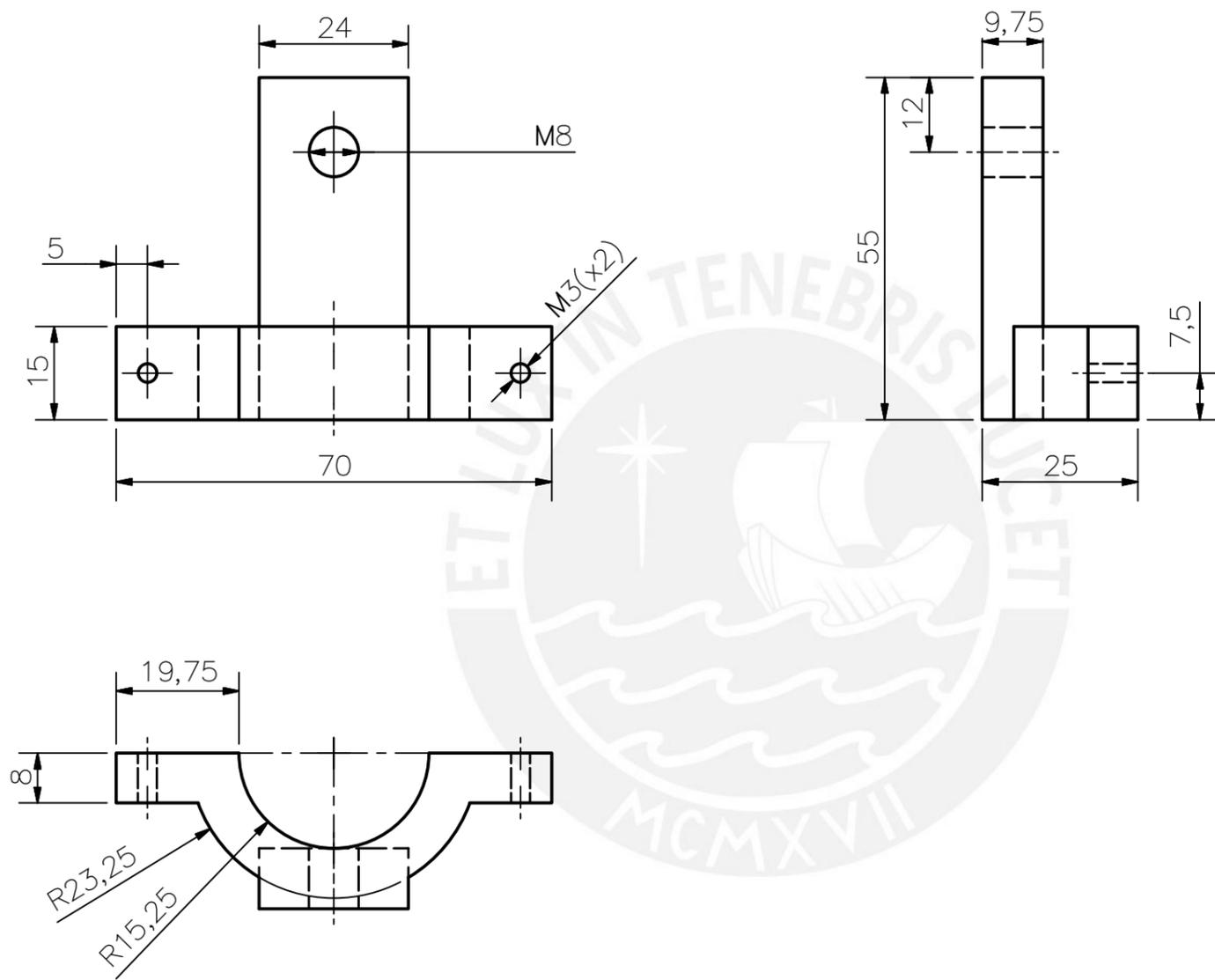


TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

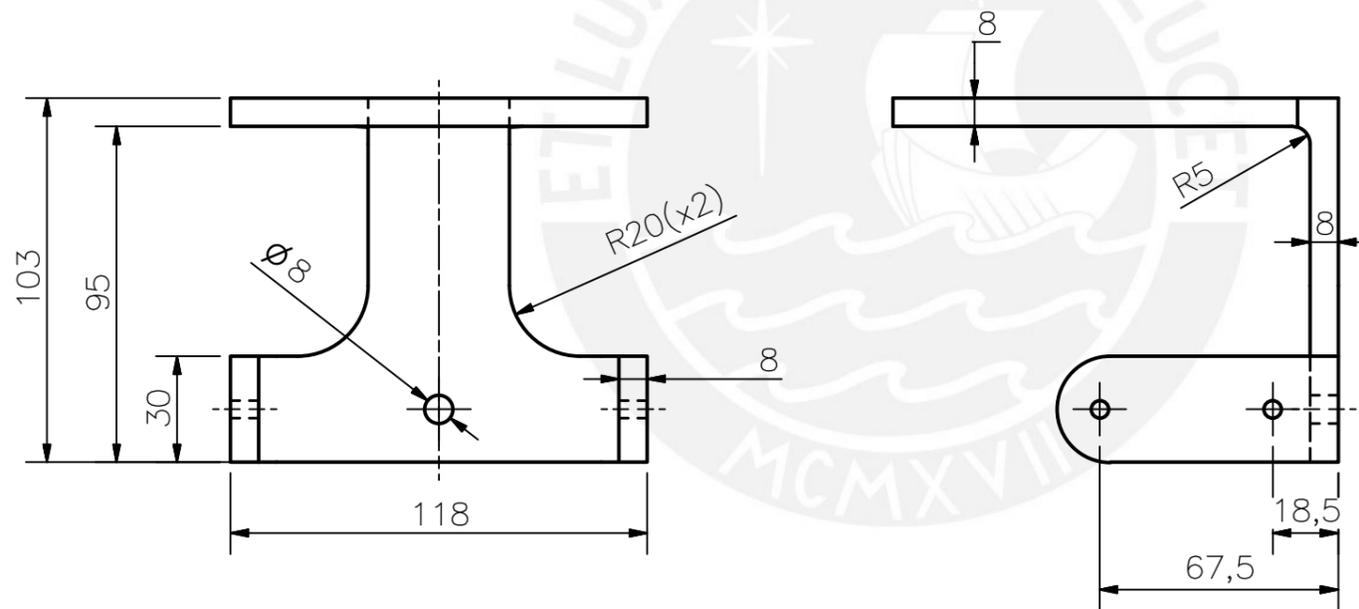
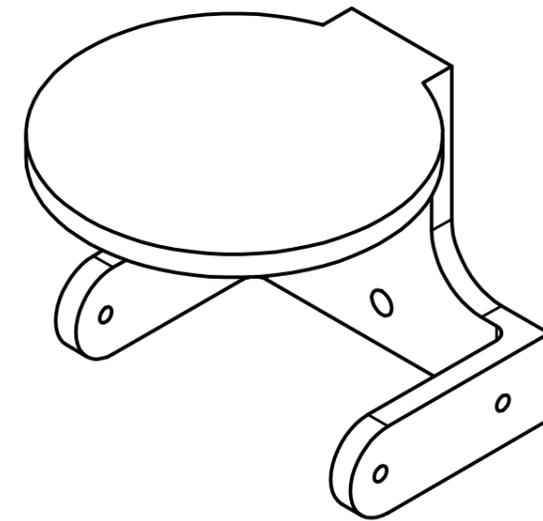
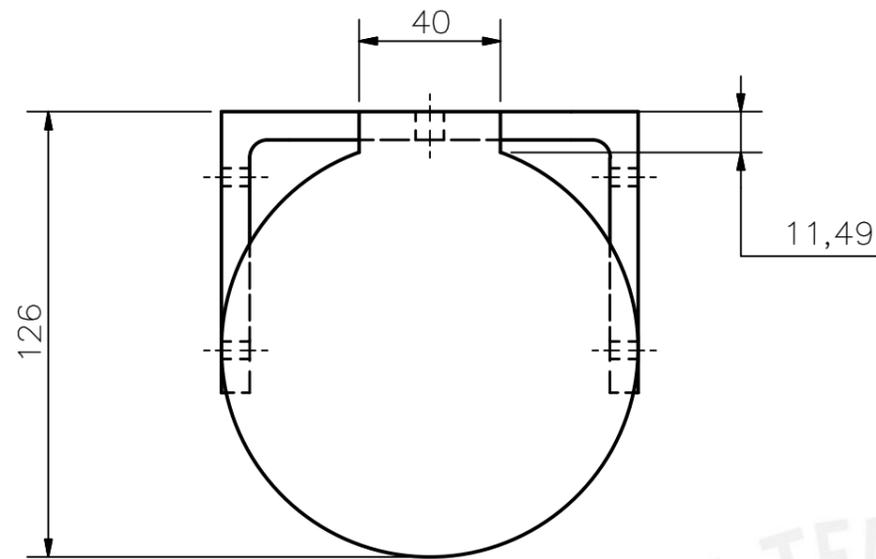
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MEDIA	MATERIAL ABS
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	SOPORTE DE SENSOR BARRERA 1	ESCALA 1:1
20151391	LUNA GUTIERREZ, JORGE HERNAN	FECHA: 2019.09.30
		LÁMINA: A3

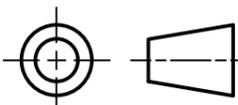


TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MEDIO	MATERIAL ABS
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	SOPORTE DE SENSOR BARRERA 2	ESCALA 1:1
20151391	LUNA GUTIERREZ, JORGE HERNAN	FECHA: 2019.09.30
		LÁMINA: A3

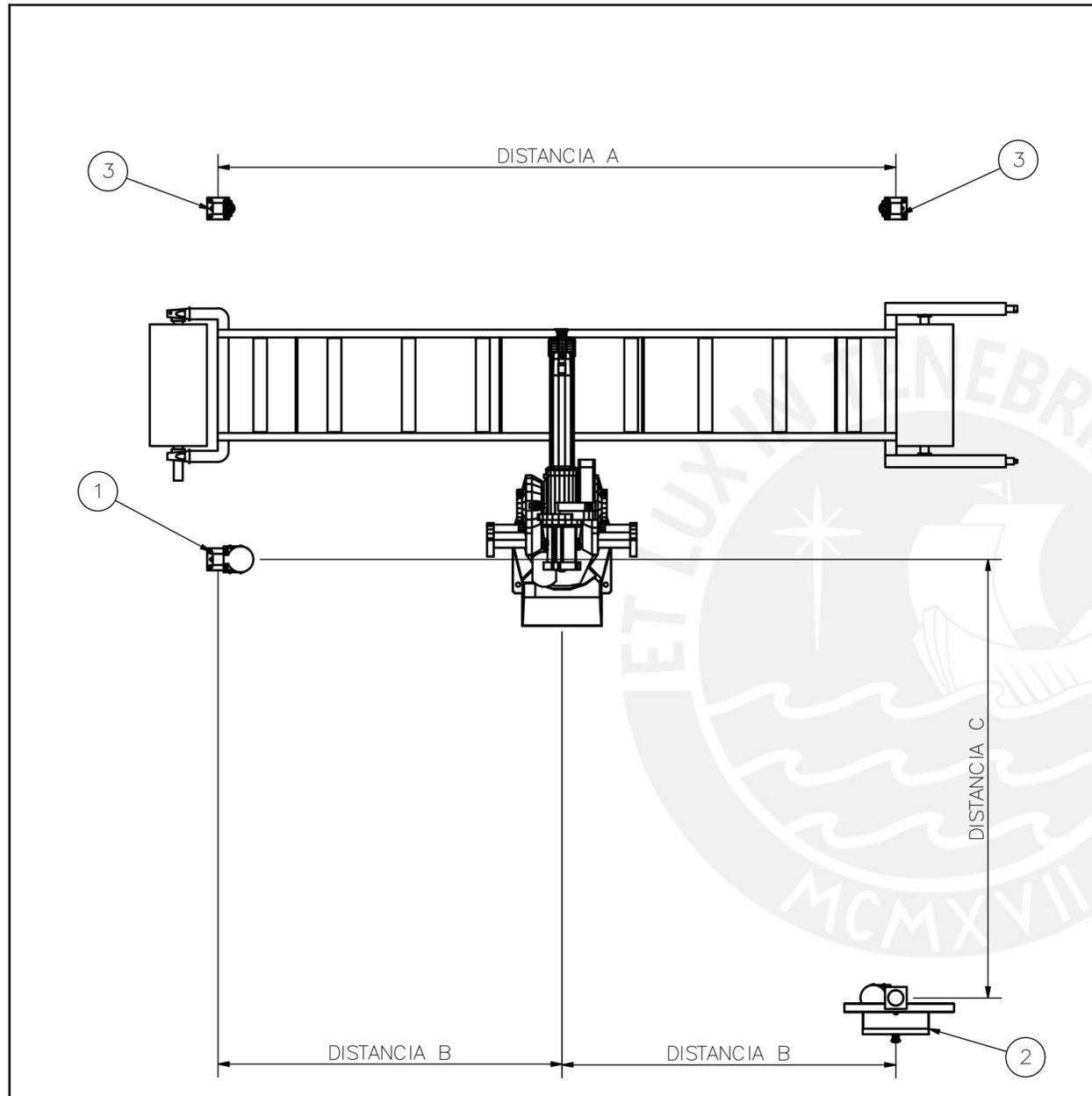


ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MEDIA	MATERIAL ABS
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	SOPORTE DE SENSOR LASER	ESCALA 1:2
20151391	LUNA GUTIERREZ, JORGE HERNAN	FECHA: 2019.09.29
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

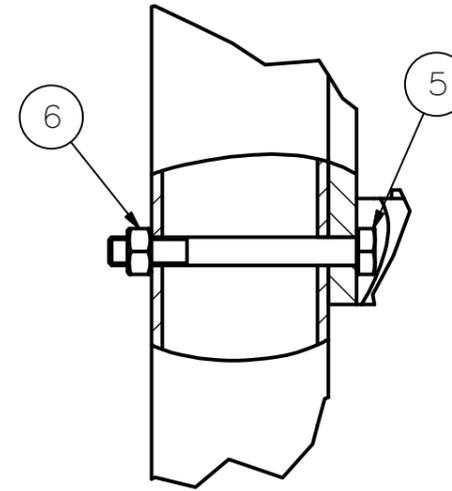
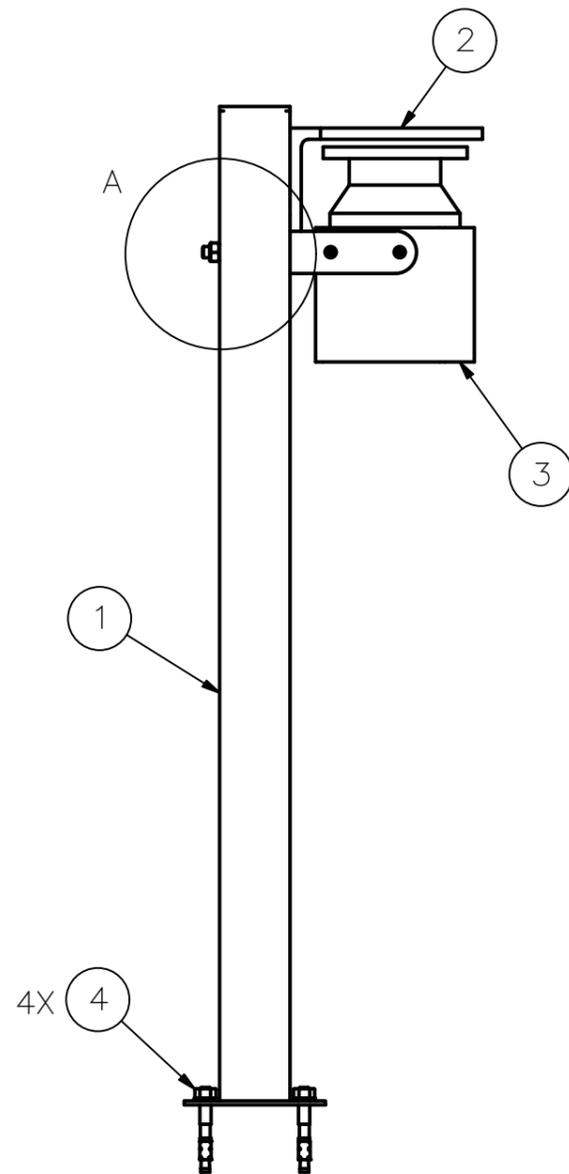
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



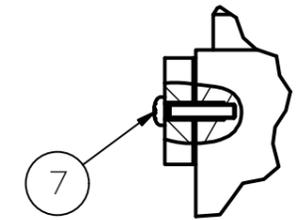
NOTAS DE ENSAMBLAJE:

- LAS DISTANCIAS A, B Y C DEPENDEN DE LA DISPOSICIÓN DE ESPACIO DE LA PLANTA O ALREDEDORES DEL BRAZO ROBÓTICO
- $A \geq 2 \cdot B$
- $1000 < B < 5000$
- $B \leq C < 5000$
- SE PUEDE OMITIR EL USO DE LA ESTACIÓN B SI NO SE ENCUENTRAN OBSTÁCULOS DENTRO DE LA ZONA

PARTS LIST					
3	2	ESTACION BARRERA LASER			Ver dibujo
2	1	ESTACION B			Ver dibujo
1	1	ESTACION A			Ver dibujo
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ					
MÉTODO DE PROYECCIÓN		SISTEMA DE SEGURIDAD ADAPTABLE			ESCALA
					1:50
20151391		LUNA GUTIERREZ, JORGE HERNAN			FECHA: 2021.01.26
					LÁMINA: A2



DETALLE A
ESCALA 1:2

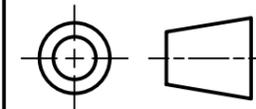


DETALLE B
ESCALA 1:2
4 POSICIONES

PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
7	4	Tornillo Phillips M4 x 20 mm - 4.8	DIN EN ISO 7045		
6	1	Tuerca Hexagonal - Grado 8	DIN EN ISO 4032		
5	1	Tornillo Hexagonal M8 x 70 mm - Grado 8.8	DIN EN ISO 4014		
4	4	Tornillo de anclaje M8 x 60 mm - Zincado			
3	1	Escáner Láser TiM781S 2D LiDAR			Marca: SICK
2	1	Soporte Sensor Láser			Ver dibujo
1	1	Poste 2			Ver dibujo

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

MÉTODO DE PROYECCIÓN



ESTACION A

ESCALA

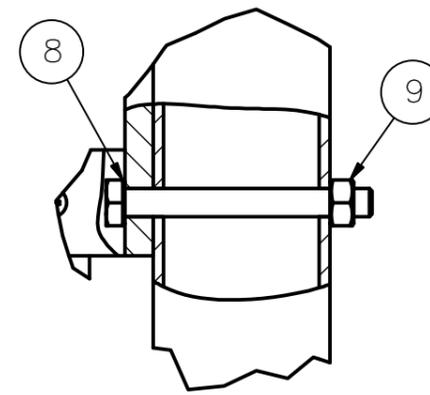
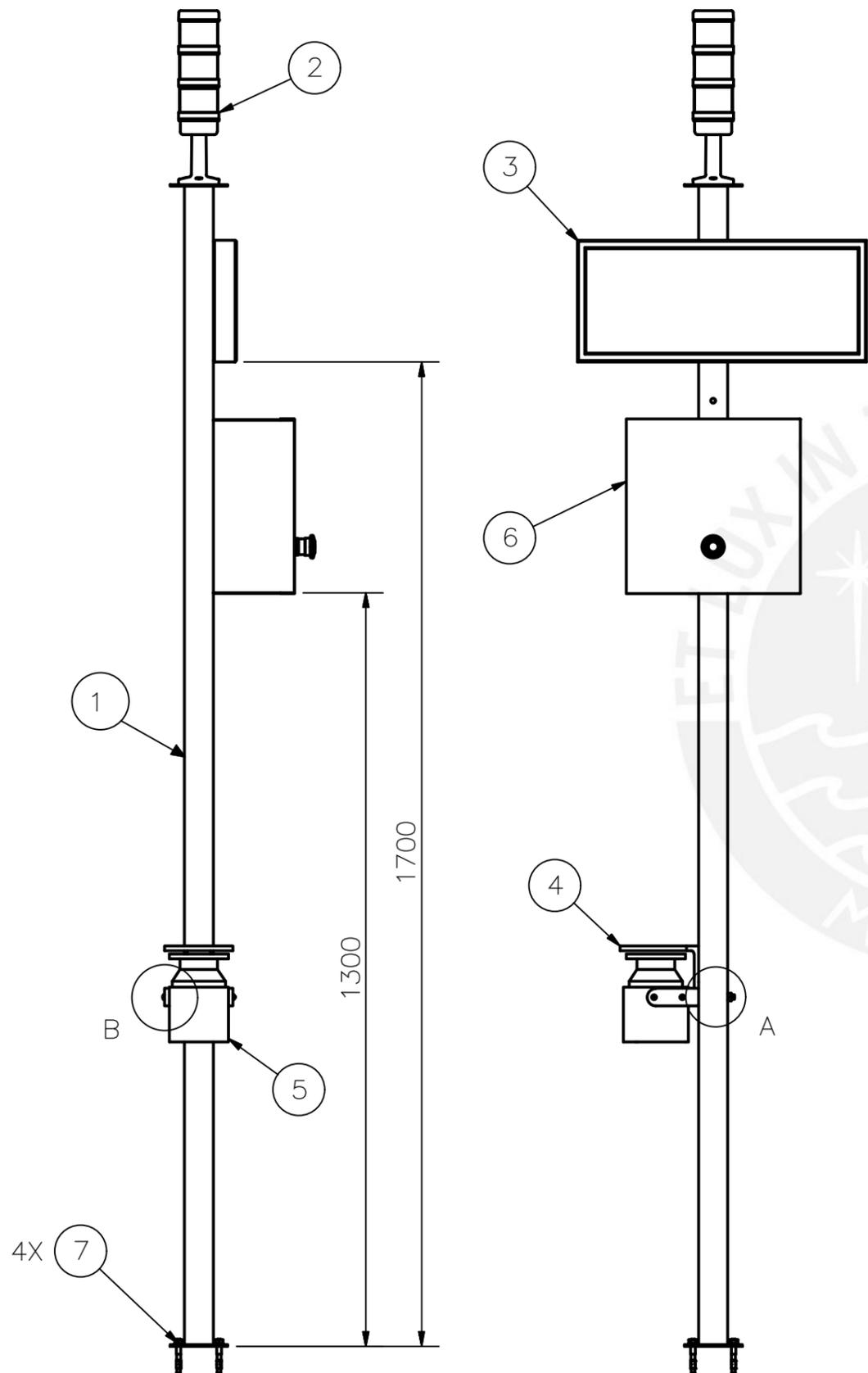
1:5

20151391

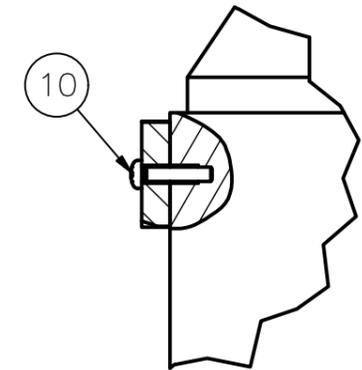
LUNA GUTIERREZ, JORGE HERNAN

FECHA:
2021.05.28

LÁMINA:
A3



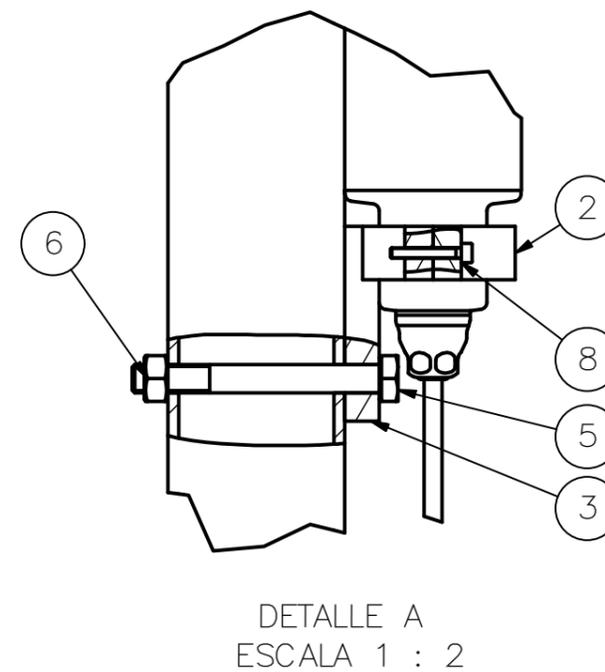
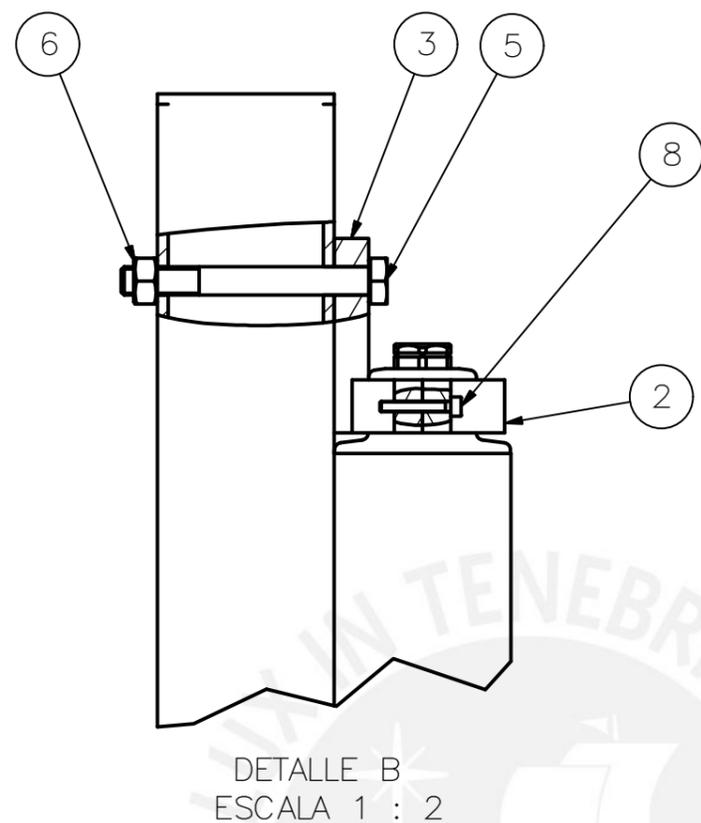
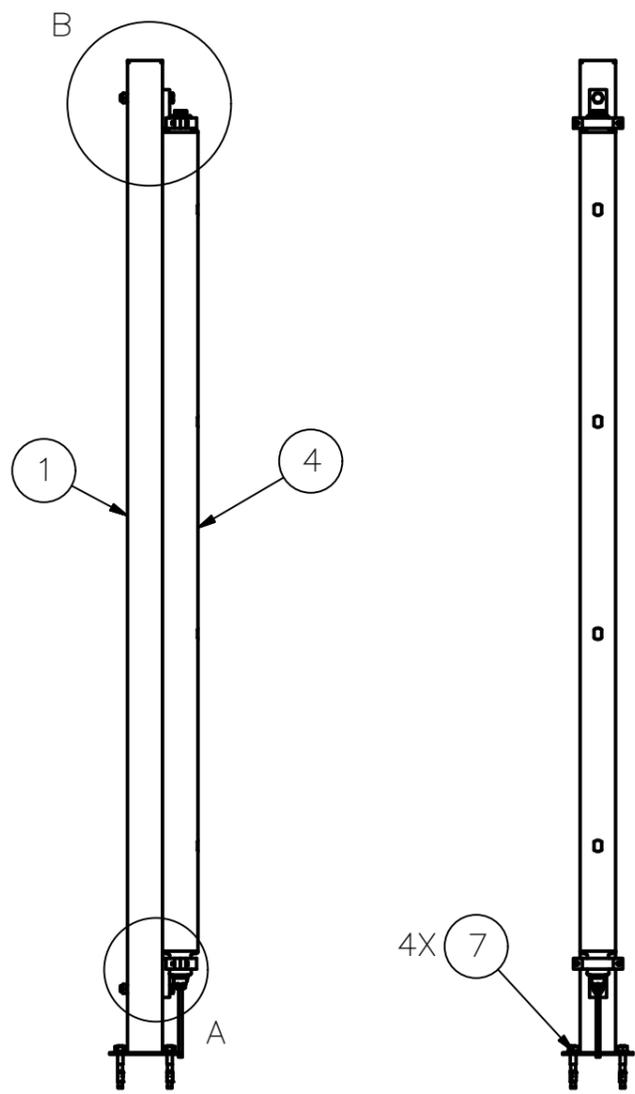
DETALLE A
ESCALA 1 : 2



DETALLE B
ESCALA 1:2
4 POSICIONES

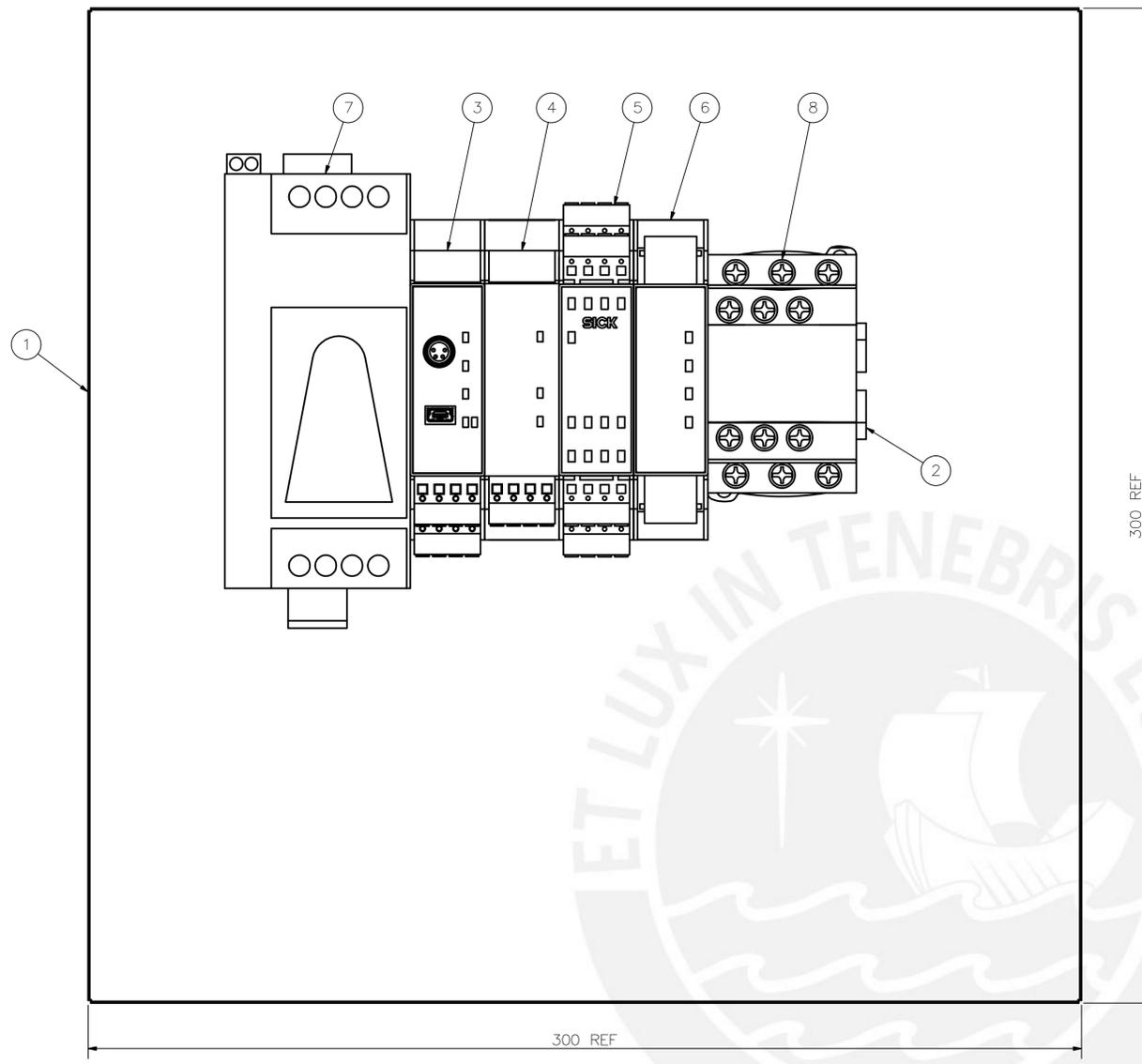
PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
10	4	Tornillo Phillips M4 x 20 mm - 4.8	DIN EN ISO 7045		
9	1	Tuerca Hexagonal - Grado 8	DIN EN ISO 4032		
8	1	Tornillo de anclaje M8 x 60 mm - Grado 8.8	DIN EN ISO 4014		
7	4	Tornillo de anclaje M8 x 60 mm - Zincado			
6	1	Panel de control			Ver dibujo
5	1	Escáner Láser TiM781S 2D LiDAR			Marca: SICK
4	1	Soporte Sensor Láser			Ver dibujo
3	1	Display led - 4 cifras con punto decimal			Tamaño: 16 x 32 cm. Comunicación Ethernet/IP
2	1	Torreta de Luces Harmony VXM 45 mm			Marca: Schneider Electric. 24 VDC - 3 luces
1	1	Poste 1			Ver dibujo

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ					
MÉTODO DE PROYECCIÓN	ESTACION B			ESCALA	
				1:10	
20151391	LUNA GUTIERREZ, JORGE HERNAN			FECHA: 2021.05.28	
				LÁMINA: A3	

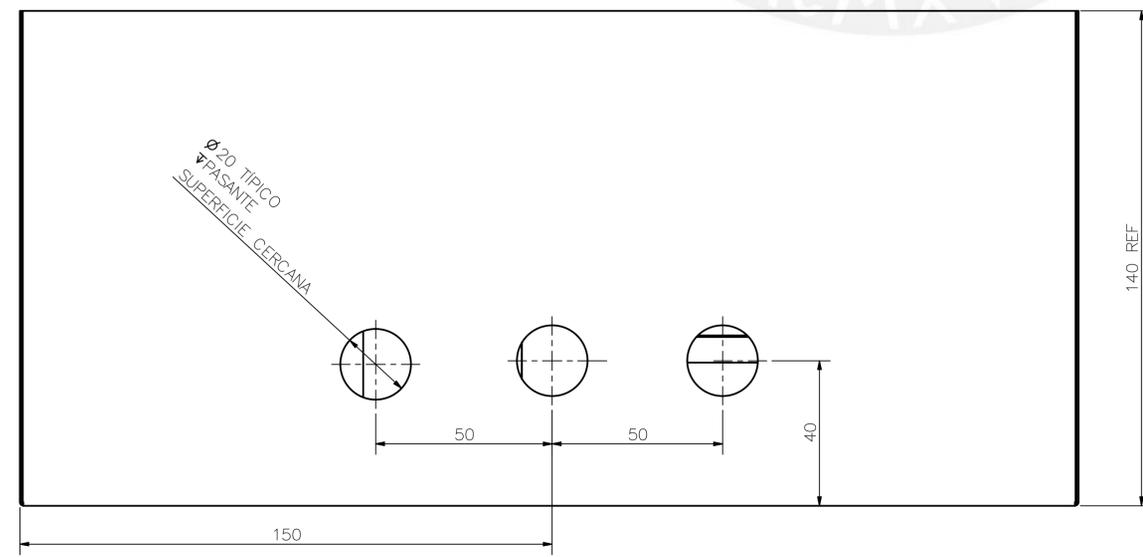
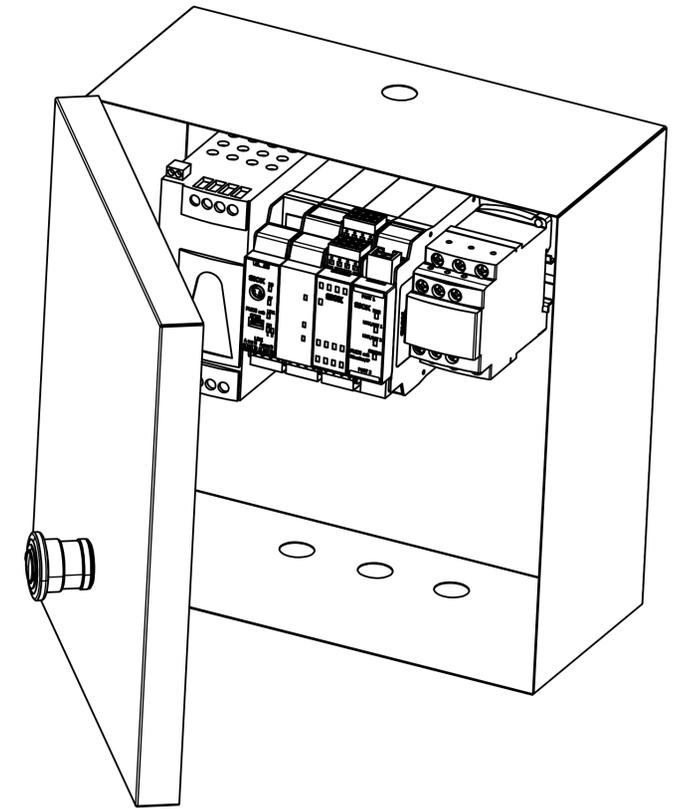


PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
8	4	Tornillo Socket M3 x 20 mm	DIN EN ISO 4762		
7	4	Tornillo de anclaje M8 x 60 mm - Zincado			
6	2	Tuerca Hexagonal - Grado 8	DIN EN ISO 4032		
5	2	Tornillo Hexagonal M8 x 70 mm - Grado 8.8	DIN EN ISO 4014		
4	1	Barrera Laser deTem2 Core IP69K			Marca: SICK
3	2	Soporte de sensor barrera 2			Ver dibujo
2	2	Soporte de sensor barrera 1			Ver dibujo
1	1	Poste 3			Ver dibujo

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	ESTACION BARRERA LASER	ESCALA 1:10
20151391	LUNA GUTIERREZ, JORGE HERNAN	FECHA: 2021.05.28
		LÁMINA: A3



TAPA DE LA CAJA RETIRADA PARA MAYOR CLARIDAD



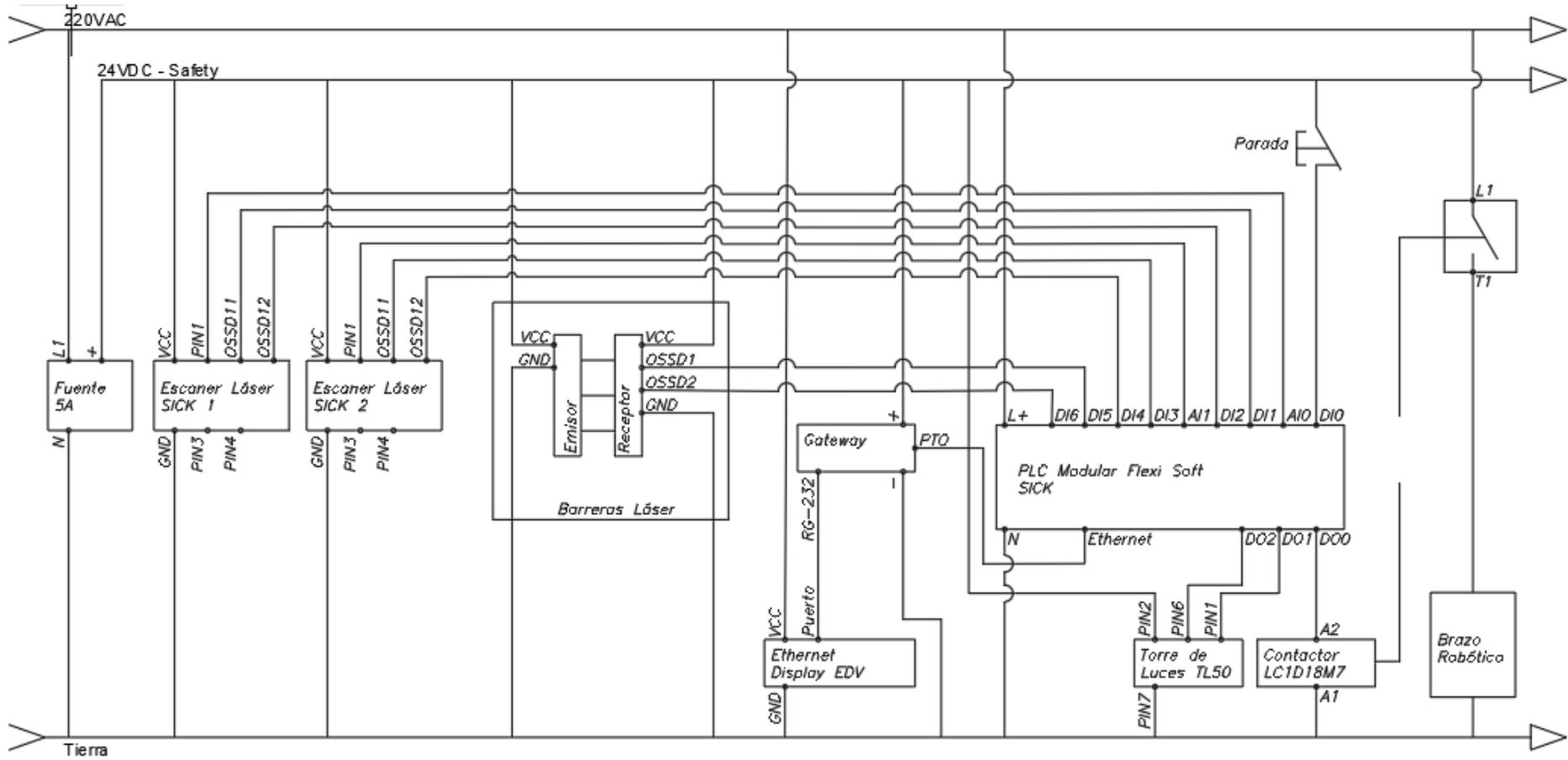
MISMO DETALLE EN LA PARTE SUPERIOR
AGREGAR MÁS AGUJEROS SEGÚN SEA NECESARIO

PARTS LIST					
9	1	Botón de parada de emergencia		Tipo hongo, 5V	
8	1	Contactador TeSysD		Marca Schneider. Modelo LC1D18M7 - 3P(3NO)	
7	1	Fuente de alimentación		Marca Schneider. Modelo ABLRPS24050	
6	1	Módulo de comunicación Ethernet IP		Marca SICK. Modelo FX0-GENT00000	
5	1	Módulo de señales digitales		Marca SICK. Modelo FX3-XTIO84xx2	
4	1	Módulo de señales analógicas		Marca SICK. Modelo FX3-ANA020002	
3	1	Módulo principal de controlador de señales		Marca SICK. Modelo FX3-CPU320002	
2	1	Riel simétrico	DIN 42677	185 mm	
1	1	Caja metálica para panel		300 X 300 mm	
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	ESCALA	
	PANEL DE CONTROL	1:1
20151391	LUNA GUTIERREZ, JORGE HERNAN	FECHA: 2021.01.26
		LÁMINA: A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

ANEXO B: DIAGRAMA DE CONEXIONES



ANEXO C: PROGRAMA DEL PROTOTIPO

En el presente anexo se muestra el código cargado en el controlador ESP32 para el manejo lógico de las señales entregadas por las estaciones. El programa se realizó en el IDE de Arduino.

```
#include "ESP32Servo.h"

int servo_pin1 = 4;
int pin_TRIG1 = 35;
int pin_ECH01 = 34;
int servo_pin2 = 2;
int pin_TRIG2 = 32;
int pin_ECH02 = 33;
int pin_LEDROJO = 23;
int pin_LEDAMARILLO = 22;

Servo myservo1;
int angle_n1 = 0;
int count_up_down1=0;
Servo myservo2;
int angle_n2 = 0;
int count_up_down2=0;

int tiempoSenal1;
int r1;
int tiempoSenal2;
int r2;

int xT_11 = 5; int yT_11 = 10;//PT_11
int xT_12 = 10; int yT_12 = 40;//PT_12
int xT_21 = -10; int yT_21 = 10;//PT_21
int xT_22 = -10; int yT_22 = 40;//PT_22
```

```
int xW_1 = 28; int yW = 40;//PW_1
int xW_2 = -28;//PW_2
int xD_1 = 20; int yD = 20;//PD_1
int xD_2 = -20;//PD_2

int x_A = 28; int y_A = 0;//PA
int x_B = -39; int y_B = 40;//PW_1

float x_1 = 0; float y_1 = 0;//P1
float x_2 = 0; float y_2 = 0;//P2

void setup()
{
  ESP32PWM::allocateTimer(0);
  ESP32PWM::allocateTimer(1);
  ESP32PWM::allocateTimer(2);
  ESP32PWM::allocateTimer(3);
  myservo1.setPeriodHertz(50);
  myservo1.attach(servo_pin1, 500, 2400);
  myservo1.attach(servo_pin1);
  myservo2.setPeriodHertz(50);
  myservo2.attach(servo_pin2, 500, 2400);
  myservo2.attach(servo_pin2);

  pinMode(pin_TRIG1, OUTPUT);
  pinMode(pin_ECH01, INPUT);
  pinMode(pin_TRIG2, OUTPUT);
  pinMode(pin_ECH02, INPUT);

  pinMode(pin_LEDROJO, OUTPUT);
  pinMode(pin_LEDAMARILLO, OUTPUT);
}

void loop()
{
```

```

myservo1.write(angle_n1+30);
angle_n1= angle_n1 + 5 - 10 * count_up_down1;
if (angle_n1 == 90 && count_up_down1 == 0) count_up_down1 = 1;
else if(angle_n1 == 0 && count_up_down1 == 1) count_up_down1 = 0;

myservo2.write(angle_n2+30);
angle_n2= angle_n2 + 5 - 10 * count_up_down2;
if (angle_n2 == 90 && count_up_down2 == 0) count_up_down2 = 1;
else if(angle_n2 == 0 && count_up_down2 == 1) count_up_down2 = 0;

digitalWrite(pin_TRIG1, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(pin_TRIG1, LOW);
delayMicroseconds(10);
tiempoSenal1 = pulseIn(pin_ECHO1, HIGH);
r1= (0.034 * tiempoSenal1) / 2;

digitalWrite(pin_TRIG2, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(pin_TRIG2, LOW);
delayMicroseconds(10);
tiempoSenal2 = pulseIn(pin_ECHO2, HIGH);
r2= (0.034 * tiempoSenal2) / 2;

x_1 = x_A - r1*cos(angle_n1);
y_1 = y_A + r1*sin(angle_n1);
x_2 = x_B + r2*cos(angle_n2);
y_2 = y_B - r2*sin(angle_n2);

if      ((x_2<(xT_22-xT_21)/(yT_22-yT_21)*y_2+(yT_22*xT_21-
yT_21*xT_22))&&(y_2>0)){
  if ((x_2>xW_2)&&(y_2<yW)){
    digitalWrite(pin_LEDAMARILLO, HIGH);
    if ((x_2>xD_2)&&(y_2<yD)){digitalWrite(pin_LEDROJO, HIGH);};
  } else {

```

```
digitalWrite(pin_LEDAMARILLO, LOW);
digitalWrite(pin_LEDROJO, LOW);
};
};
if ((x_1<(xT_12-xT_11)/(yT_12-yT_11)*y_1+(yT_12*xT_11-
yT_11*xT_12))&&(y_1>0)){
    if ((x_1<xW_1)&&(y_1<yW_1)){
        digitalWrite(pin_LEDAMARILLO, HIGH);
        if ((x_1<xD_1)&&(y_1<yD_1)){digitalWrite(pin_LEDROJO, HIGH);};
    } else {
        digitalWrite(pin_LEDAMARILLO, LOW);
        digitalWrite(pin_LEDROJO, LOW);
    };
};
};
}
```



ANEXO D: COTIZACIONES DEL SISTEMA

En este anexo se presentan las siguientes cotizaciones obtenidas vía correo electrónico:

Empresa	Materiales cotizados
M. Electro S.A.	Tablero eléctrico, baliza y pulsador de parada de emergencia
NPI Perú	Escáner, cables Ethernet y barreras láser
MD Microdev	Display
Neoled Perú	Display
Brammertz Ings. S.A.	PLC de seguridad, barreras láser, cables de conexión para sensores y PLC, y escáner láser.
Sala VEO3D	Soportes de sensores

Adicionalmente se realizó la cotización vía correo con la empresa Pymatek Automation del escáner láser marca OMRON y modelo OS32C-SP1-4M cuyo precio de lista es \$5'873.97.



Lima, 17 de Octubre del 2019

Cotización N° 0027643

Sr (es) : PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

Dirección : Av. Universitaria Nro. 1801 San Miguel

Atención : Jose Hernan Luna G.

Tif : 626 2550

Presente .-

Ref. : LAB. CETAM

Le(s) hacemos llegar Nuestra Cotización de acuerdo a lo solicitado :

IT	CODIGO	DESCRIPCION	UND	CANT	PRECIO	% DSCTO.	PU_DES (S/)	P.TOTAL (S/)
01	CC309041	ARMARIO AE 300X300X210 1033500 RITTAL	UN	1.00	325.0000	37.00	204.7500	204.75
02	MA31178F	PULSADOR EMERGENCIA EN CAJA XALK178 SCHNEIDER	UN	1.00	178.5700	35.00	116.0705	116.07
03	AC011720	RIEL DIN PERFORADO 35X7,5MM 2MT EVT	UN	1.00	12.0000	26.00	8.8800	8.88
04	MA31C290	BASE+TAPA+BUZZER 870dB-230VAC XVMC29M	PZA	1.00	252.2800	35.00	163.9820	163.98
05	MA31Z040	TUBO ALUMIN.400MM C/S PLAST.XVMZ04 SCHNEIDER	PZA	1.00	105.5700	35.00	68.6205	68.62
06	MA31C330	ELEMENTO LUM. VERDE XVMC33 45MM SCHNEIDER	PZA	1.00	47.1000	35.00	30.6150	30.62
07	MA31C340	ELEMENTO LUM.ROJO XVMC34 45MM SCHNEIDER	PZA	1.00	47.1000	35.00	30.6150	30.62
08	MA31C350	ELEMENTO LUM.AMARILLO XVMC35 45MM SCHNEIDER	PZA	1.00	47.1000	35.00	30.6150	30.62
09	LA303536	LAMP.BA-15 255V--5W B3536 ORBITEC	PZA	3.00	7.8000	26.00	5.7720	17.32
							SUB -TOTAL	671.48
							IGV (18%)	120.87
							TOTAL (S/)	792.35

CONDICIONES

FORMA DE PAGO : Factura 30 Dias
PLAZO DE ENTREGA : 02 dias
VALIDEZ DE OFERTA : 07 dias
MONEDA : SOLES

Sin otro particular y a la espera de sus gratas órdenes quedamos de ustedes.

Atentamente,

B. T.
REPRESENTANTE DE VENTAS
Tif: 205-1717

Señores :	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU	Asesor/Vend. :	Franklin Salazar Chavez
Atención :	Sr. Jorge Hernán Luna Gutiérrez	Telf. :	
Cargo :	Instructor del Laboratorio de Sensores	Email :	fsalazar@npiperu.pe
Documento :	20155945860	Telf. :	2656501 ANEXO 106
Ref. Cliente :			

It.	Código	Producto / Servicio	Un	Cant.	Precio	Importe
1	TL50GYRA	TL50GYRA; Baliza, marca BANNER (EEUU) : -Indicadores: Tres luces (verde, amarillo, rojo); tipo LED 45mA. -Alarma audible: Standard 92dB @ 1mt. -Señal de Entrada: Bimodal NPN/PNP (seleccionable). -Alimentación: 18-30 VDC. -Construcción: En plástico ABS y policarbonato; cuerpo color negro; protección IP67; 142.6mm alto x 50mm Ø; rosca M30 inferior p/montaje. Cable integrado x 2mts (opcional disponible: c/conector y cable separado).	pz	1.00	492.50	492.50
a.	SMB30MM	<u>Accesorio Opcional:</u> SMB30MM; Soporte de Montaje, marca BANNER ENG.(EEUU) En "L", c/orificio con rosca M30. En SS.	pz	1.00	31.75	31.75

Condiciones Comerciales:

Precios	: En Soles. No incluyen el IGV.
Descuento	: Del 10% ya incluido en los precios ofertados.
Forma de pago	: Factura a 15 días.
Tiempo de entrega	: Un máximo de 30 días hábiles de recibida la O/C y el adelanto.
Lugar de Entrega	: En sus Almacenes en la ciudad de Lima.
Garantía	: Electrónica, un año por desperfectos de fabricación.
Validez de la Oferta	: 30 días.
Se Adjunta	: Catálogo en PDF.

Franklin Salazar Chavez

DPTO. DE VENTAS TÉCNICAS
NPI PERÚ S.A.C.

Cotización

Señores: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERU

Dirección: SAN MIGUEL - LIMA RUC: _____

Atención: _____

Referencia: _____

Estimados señores, en atención a su requerimiento de cotización, le informamos el presupuesto y características técnicas de nuestro producto:

CANT.	UNID.	CARACTERÍSTICAS.	PRECIO UNIT	SUBTOTAL
01	Unid.	<p>Pantalla numérica LED x 04 dígitos para interiores . 16x32cm de pantalla neta. Medidas exteriores: 21x37cm Altura de dígitos: 14 cm Número de dígitos: 4 Tipo de leds: oval 5 mm Color: Ámbar, rojo, verde ó blanco Angulo de visión: H:160o, V:60º Conectividad: 01 conector Ethernet., INCLUYE PRUEBAS DE COMUNICACIÓN Gabinete: Marco de acero con protexión epoxica Grado de protección: IP64.</p>	S/. 1,500.00	S/. 1,500.00
01	Unid.	<p>Pantalla numérica LED X 2 FILAS x 04 dígitos para interiores . 32x32cm de pantalla neta. Medidas exteriores: 37x37cm Altura de dígitos: 14 cm Número de dígitos: 4 Tipo de leds: oval 5 mm Color: Ámbar, rojo, verde ó blanco Angulo de visión: H:160o, V:60º Conectividad: 01 conector Ethernet., INCLUYE PRUEBAS DE COMUNICACIÓN Gabinete: Marco de acero con protexión epoxica Grado de protección: IP64.</p>	S/. 2,600.00	S/. 2,600.00
			<u>TOTAL</u>	<u>S/. 4,100.00</u>

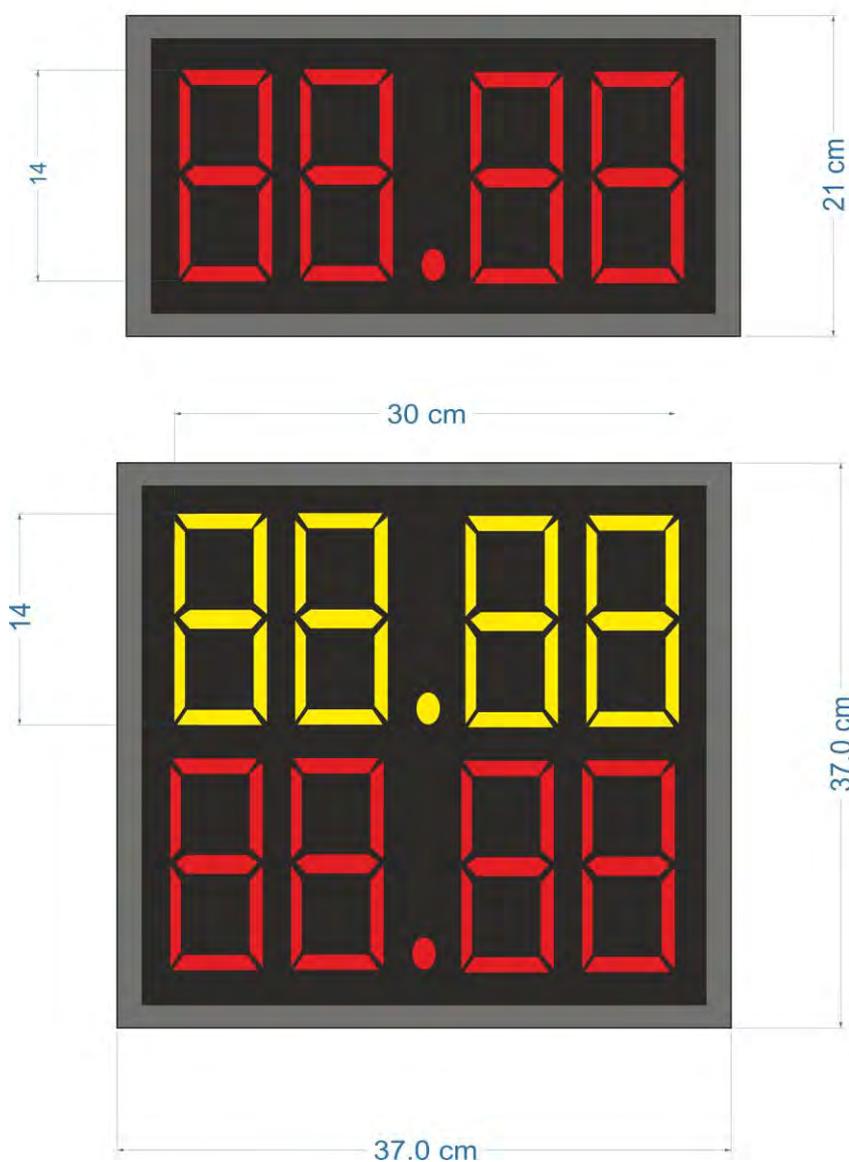
Condiciones de venta:

- Tiempo de entrega: 4 días
- Forma de pago: CONTRA ENTREGA.
- Garantía. 2 años

- PRECIO INCLUYE IGV
- PRECIO NO INCLUYE INSTALACIÓN

Esperando sus gratas órdenes me despido.
Atentamente.

NEOLEDPERU
RUC. 10316646871
Ing. Marco Aurelio Mosquera Cerna
DNI: 31664687





Av. Jose Pardo 182, Of. 902, Miraflores, Lima. Telf. 208-4600 Cel. 971-117-239 / 987-507-288
Email: ventas@brammertz.com - Apartado 0173, Miraflores, Lima 18, Peru - RUC: 20337787755

COT-2019-147785

TUA-1905292

Cliete: 20155945860 - PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PER
Direccion: AV. UNIVERSITARIA NRO. 1801 URB. PANDO San Miguel Lima Lima
Atencion: Jorge Hernán Luna **Tel:**
Instructor del Laboratorio de Sensores y Actuadores **Fax:** 932548469
Correo: a20151391@puccp.pe

Fecha: 16/10/2019
Su Referencia:

Estimados señores:

Tenemos el agrado de cotizar lo solicitado:

Ite	Cantidad	Descripcion	V.Unitario	V.Total
(1)	1	BARRERA FOTOELECTRICA DE SEGURIDAD M2C RECEPTOR - Dimensiones: 672 mm, Separación de haces: 500 mm. IP67, Nivel de integridad de seguridad: SIL1 Categoría: 2. Alcance: 0.5 - 17 m.. Voltaje: 24 VDC, Salida: 2 x OSSD, Conector M12 5 pines. - NPB: 22810130494 Marca: Sick A.G.	2,640.00	2,640.00
(2)	1	BARRERA FOTOELECTRICA DE SEGURIDAD M2C EMISOR - Dimensiones: 672 mm, Separación de haces: 500 mm. IP67, Nivel de integridad de seguridad: SIL1 Categoría: 2. Alcance: 0.5 - 17 m.. Voltaje: 24 VDC. Conector M12 5 pines. - NPB: 22810130487 Marca: Sick A.G.	1,760.00	1,760.00
(3)	1	BARRERA FOTOELECTRICA DE SEGURIDAD M2C RECEPTOR - Dimensiones: 1072 mm, Separación de haces: 300 mm. IP67, Nivel de integridad de seguridad: SIL1 Categoría: 2. Alcance: 0.5 - 17 m.. Voltaje: 24 VDC, Salida: 2 x OSSD, Conector M12 5 pines. - NPB: 22810130555 Marca: Sick A.G.	3,355.00	3,355.00
(4)	1	BARRERA FOTOELECTRICA DE SEGURIDAD M2C EMISOR - Dimensiones: 1072 mm, Separación de haces: 300 mm. IP67, Nivel de integridad de seguridad: SIL1 Categoría: 2. Alcance: 0.5 - 17 m.. Voltaje: 24 VDC. Conector M12 5 pines. - NPB: 22810130562 Marca: Sick A.G.	2,255.00	2,255.00
(5)	2	CABLE CONECTOR YF2A15 IP67, Conector hembra M12, 5 pines, recto, con cable 5 m, PUR - NPB: 22810126831 Marca: Sick A.G.	86.90	173.80



Av. Jose Pardo 182, Of. 902, Miraflores, Lima. Telf. 208-4600 Cel. 971-117-239 / 987-507-288
Email: ventas@brammertz.com - Apartado 0173, Miraflores, Lima 18, Peru - RUC: 20337787755

COT-2019-147785

TUA-1905292

Ite	Cantidad	Descripcion	V.Unitario	V.Total
(6)	1	SISTEMA DE FIJACION BEF Tipo: FlexFix, Material poliamida, escuadra de fijacion basculante para cortinas y barreras de seguridad deTec/deTem, 4 piezas para dos dispositivos (emisor y receptor). - NPB: 22810108684 Marca: Sick A.G.	272.80	272.80
(7)	1	CONTROLADOR DE SEGURIDAD FX3 Módulo principal, Configuración por software, Dimensiones 22,5 mm x 96,5 mm x 120,6 mm, Interface de configuración y diagnóstico RS-232, IP20. - NPB: 22810130586 Marca: Sick A.G.	1,826.00	1,826.00
(8)	1	CONECTOR DEL SISTEMA FX3 Para controladores FX3-CPU2/CPU3 - NPB: 22810112117 Marca: Sick A.G.	248.90	248.90
(9)	1	CABLE CONECTOR DSL DSL-8U04G02M025KM1, longitud 2 metros, 4 hilos, sin apantallar, Cabezal A: conector macho M8 4 polos recto, Cabezal B: conector macho USB recto - NPB: 22810108165 Marca: Sick A.G.	373.70	373.70
(10)	1	MODULO DE EXPANSION FX3 Módulo de entradas analógicas para Flexi Soft, PL e (Categoría 4), Dimensiones 22.5 x 96.5 x 120.6 mm, IP20. - NPB: 22810130593 Marca: Sick A.G.	1,980.00	1,980.00
(11)	1	MODULO DE EXPANSION FX3 Módulo I/O para Flexi Soft, PL e (Categoría 4), Dimensiones: 22.5 x 96.5 x 120.6 mm, Entradas seguras: 8, Salidas Seguras: 4, Salidas de prueba: 2, Compatible con flexi Loop, Protección: IP40. - NPB: 22810113626 Marca: Sick A.G.	1,617.00	1,617.00
(12)	1	MODULO DE EXPANSION FX0-GENT00000 Módulo Gateway EtherNet/IP para Flexi Soft, Dimensiones: 22.5 x 96.5 x 120.6 mm, IP40, Tipo de conexión: 2xRJ45, Velocidad de transmisión: 10 Mbps/100Mbps - NPB: 22810113619 Marca: Sick A.G.	2,013.00	2,013.00

Brammertz

Av. Jose Pardo 182, Of. 902, Miraflores, Lima. Telf. 208-4600 Cel. 971-117-239 / 987-507-288
Email: ventas@brammertz.com - Apartado 0173, Miraflores, Lima 18, Peru - RUC: 20337787755

COT-2019-147785

TUA-1905292

Ite	Cantidad	Descripcion	V.Unitario	V.Total
(13)	1	DISPOSITIVOS DE MANDO DE SEGURIDAD - ES11-SC4D8 ES11 Dimensiones: 40 mm x 123 mm x 52 mm, Principio de conmutación: Interruptor de acción lenta, Número de contactos normalmente cerradosde acción positiva: 2, Número de contactos normalmente abiertos: 1, Conector de enchufe M12 de 8 polos, Clip de retención y tapa protectora "RESET" incluidos - NPB: 22810121331 Marca: Sick A.G.	672.00	672.00
(14)	1	CABLE CONECTOR YF2A18-050UA5XLEAX IP67, Conector hembra M12, 8 pines, Recto, con cable 5 m, PUR - NPB: 22810126978 Marca: Sick A.G.	147.00	147.00
			Sub-Total:	19,334.20
			Descuento: (5%)	966.71
			Total:	18,367.49

Importante: Agradeceremos enviar su Pedido / Orden de Compra a BRAMMERTZ INGS.S.A.
Precios: En Soles, no incluye el IGV.
Pago: 70% adelanto, saldo contra entrega
BCP Cta. Cte. Soles: 194-1404412-0-79 - BCP Cta. Cte. Dólares :194-1163206-1-64
Validez: Cotización válida por 30 días a partir de la fecha, para cantidades iguales o superiores a las cotizadas.
Descuento: 5%, únicamente por la compra del total de lo cotizado.
Entregas: Items 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 - en aproximadamente 4-5 semanas, por confirmar al recibir su Orden de Compra.
Entrega a destino en Lima Metropolitana por compras mayores a S/.200 + IGV

Atentamente,

Pareja Obregon Jorge
BRAMMERTZ INGS.S.A.



Av. Jose Pardo 182, Of. 902, Miraflores, Lima. Telf. 208-4600 Cel. 971-117-239 / 987-507-288
Email: ventas@brammertz.com - Apartado 0173, Miraflores, Lima 18, Peru - RUC: 20337787755

COT-2019-147786

TUA-1905293

Cliete: 20155945860 - PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PER
Direccion: AV. UNIVERSITARIA NRO. 1801 URB. PANDO San Miguel Lima Lima
Atencion: Jorge Hernán Luna **Tel:**
Instructor del Laboratorio de Sensores y Actuadores **Fax:** 932548469
Correo: a20151391@pucp.pe
Fecha: 16/10/2019
Su Referencia:

Estimados señores:

Tenemos el agrado de cotizar lo solicitado:

Ite	Cantidad	Descripcion	V.Unitario	V.Total
(1)	1	ESCANER DE SEGURIDAD TIM781S Performance level PL b, Angulo de apertura:270°, Alcance seguro de campo de protección: 5 metros, Resolución angular: 0.33°, Vin: 9...28 VDC, Salidas: 3 x PNP, Interfaz Micro USB, Interfaz de datos: Ethernet. - NPB: 22810130616 Marca: Sick A.G.	10,700.00	10,700.00
(2)	1	CABLE DE COMUNICACION YM2D24 Cable Ethernet M12, 4 pines , RJ45, 8 pines; 5m. Nombre anterior: SSL-2J04-G05ME - NPB: 22810112629 Marca: Sick A.G.	277.50	277.50
(3)	1	CABLE CONECTOR YF2A6B Cabezal A conector hembra M12 , 12 polos recto, Cabezal B tipo cable, longitud 10 m, Apantallado. - NPB: 22810130630 Marca: Sick A.G.	797.50	797.50
(4)	1	SET DE MONTAJE Kit de fijación Para escáner TIM781S - NPB: 22810130623 Marca: Sick A.G.	396.00	396.00

Sub-Total: 12,171.00
Descuento: (5%) 608.55
Total: 11,562.45

Importante: Agradeceremos enviar su Pedido / Orden de Compra a BRAMMERTZ INGS.S.A.
Precios: En Soles, no incluye el IGV.
Pago: 70% adelanto, saldo contra entrega
BCP Cta. Cte. Soles: 194-1404412-0-79 - BCP Cta. Cte. Dólares :194-1163206-1-64
Validez: Cotización válida por 30 días a partir de la fecha, para cantidades iguales o superiores a las cotizadas.
Descuento: 5%, únicamente por la compra del total de lo cotizado.
Entregas: Items 1, 2, 3, 4 - en aproximadamente 4-5 semanas, por confirmar al recibir su Orden de Compra.
Entrega a destino en Lima Metropolitana por compras mayores a S/.200 + IGV



**FORMATO DE
COTIZACIÓN**

ORDEN N°
FECHA

25/10/2019

**DATOS DEL
CLIENTE**

ESTIMADO (A)
RUC | DNI | CÓDIGO PUCP
CORREO ELECTRÓNICO
DIRECCIÓN

JORGE LUNA

a20151391@pucp.pe

**DATOS DE
SERVICIO**

*NOMBRE DE PIEZA O ARCHIVO: Nombre de la pieza o el archivo a cotizar.
CANTIDAD: Número de copias de archivo o pieza.
IMPRESORA: Impresora utilizada para la cotización.
MATERIAL: Tipo de material escogido para la cotización.
COLOR: Color disponible para la impresión.*

NOMBRE DE PIEZA NOMBRE DE ARCHIVO	CANTIDAD	IMPRESORA	MATERIAL	COLOR	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Servicio de Impresión 3D (II)						
3 piezas - 118.2*149*126mm	1	Ultimaker	PLA	-	S/. 83.8	S/. 83.8
SUB TOTAL						S/. 83.8
IGV 18%						S/. 15.1
TOTAL						S/. 98.9

**DATOS DE
ENTREGA**

TIEMPO DE ENTREGA REFERENCIAL
VIGENCIA DE COTIZACIÓN

días útiles después de emitida la boleta o factura de pago.
30 días.

**DATOS DE
CONTACTO**

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Av. Universitaria 1801, San Miguel, Lima 32, Perú
(+511) 626 2000 Anexo 3945
Correo veo3d@pucp.pe
Web <http://www.pucp.edu.pe/veo>