

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SENSOR HÍBRIDO DE BAJO COSTO PARA
SEGUIMIENTO DE UNIONES EN SOLDADURA MIG**

Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería de Soldadura

AUTOR

Michel Sigüenza Astoquillca

ASESOR

Dr. Paul Pedro Lean Sifuentes

LIMA – PERÚ

2018

Resumen

El presente trabajo muestra el desarrollo de un sistema de sensado híbrido de bajo costo para el seguimiento de uniones soldadas mediante el proceso GMAW, para la unión de planchas con junta a tope sin preparación de bordes y con junta tipo “V” de acero estructural ASTM A36.

El desarrollo del sistema se dividió en cuatro fases como se indica a continuación: i) diseño mecánico, ii) diseño electrónico, iii) diseño de algoritmo de control para el seguimiento de juntas, e iv) integración del sistema con sus respectivas pruebas de laboratorio para verificar el funcionamiento correcto del sistema híbrido de sensado. El sistema contó con una interfaz de usuario gráfico (GUI) que ayudó al operador en la ejecución de la tarea de soldadura con el fin de obtener valores que se utilicen para el control de calidad del producto final soldado.

El sistema de sensado híbrido permite ubicar y seguir la junta a soldar mediante un barrido de un diodo láser y la proyección del láser es capturada por una cámara digital. El sistema permite realizar inspección visual de la junta a través de una comparación de dimensión del cordón soldado. Además, controla la trayectoria y alineación de la antorcha de soldadura de un robot industrial por medio de un algoritmo de control que detecta la desalineación de la antorcha a través de la imagen capturada por la cámara.

Finalmente, en la verificación del funcionamiento del sistema en tiempo real para el seguimiento de juntas e inspección de cordones de soldadura, se obtuvo como resultado un error mínimo de inspección en tiempo real de 0.18 mm en una junta a tope sin preparación, y junta en tipo “V”. En el sistema de seguimiento de juntas se obtuvo un error mínimo de 0.23 mm en la corrección cartesiana de desfase entre la antorcha de soldadura y el punto medio de la junta a soldar. Sobre los resultados se concluyó que los errores presentados en los resultados son mínimos, por lo que cumpliría con el requisito de corrección e inspección de soldadura en tiempo real, en acorde a los criterios de aceptación de inspección visual de la AWS D.1.

Agradecimientos

El presente trabajo de investigación se realizó debido al soporte de personas que estuvieron a mi lado durante mi formación. Debo agradecer en primer lugar a mi familia y mi esposa, por brindar todo el apoyo durante mis estudios de maestría. A mis compañeros de estudio por brindarme su amistad y colaboración en la implementación del trabajo de investigación. Y también a los distintos docentes, y en especial al M.Sc. Francisco Cuéllar Córdova, al Dr. Paul Lean Sifuentes y al Dr. Francisco Rumiche Zapata, por compartir sus conocimiento en diversas materias y, especialmente por brindar toda la colaboración en los recursos durante la investigación y publicación de la misma.



Contenidos

- Introducción1**

- 1. Estado del Arte4**
 - 1.1 Marco histórico.....4*
 - 1.2 Marco teórico5*
 - 1.2.1 Robótica industrial5
 - 1.2.2 Integración de soldadura automatizada8
 - 1.2.3 Soldadura GMAW10
 - 1.2.4 Discontinuidades de la soldadura13
 - 1.2.5 Tecnología sensado de junta (*Seam*)15

- 2. Procedimiento Experimental.....16**
 - 2.1 Metodología:17*
 - 2.1.1 Diseño mecánico del sistema híbrido de sensado17
 - 2.1.2 Diseño electrónico del sistema híbrido de sensado17
 - 2.1.3 Diseño de control del sistema híbrido de sensado18
 - 2.1.4 Implementación del sistema híbrido de sensado y validación con pruebas de laboratorio.....18
 - 2.1.5 Ensayos preliminares y discusión19

- 3. Desarrollo y diseño del sistema de sensado híbrido19**
 - 3.1 Diseño de concepto del sistema.....20*
 - 3.2 Diseño de sistema mecánico.....21*
 - 3.3 Diseño de sistema electrónico.....25*

3.3.1	Módulo de transmisión de datos	25
3.3.2	Módulo transductor	26
3.3.3	Módulo diodo láser y refrigeración	27
3.3.4	Módulo de alimentación	27
3.3.5	Módulo de temperatura	28
3.3.6	PCB del sistema de sensado híbrido (Printed Circuit Board)	28
3.4	<i>Diseño de plataforma de software del sistema</i>	29
3.5	<i>Diseño de sistema de control</i>	31
4.	Ensayos preliminares y discusión	33
4.1	<i>Algoritmo de procesamiento de imagen</i>	34
4.2	<i>Algoritmo de inspección de soldadura</i>	35
4.3	<i>Algoritmo de seguimiento de junta</i>	36
4.4	<i>Integración de algoritmo de control de trayectoria con robot industrial</i>	37
4.5	<i>Implementación de la celda de trabajo para soldadura automatizada</i>	39
4.6	<i>Validación de secuencias de soldadura pre-programadas</i>	41
4.7	<i>Resultados y discusión</i>	42
	Conclusiones	49
	Recomendaciones	50
	Referencias	52
	Anexos	59

Introducción

Dos de las aplicaciones relevantes de la tecnología de robot en la manufactura son la soldadura (Ding et al. 2016), y la fabricación aditiva por arco eléctrico (WAAM) (Liberini et al. 2017), en donde la automatización viene acompañada por el uso de sistemas de sensores para soldadura de juntas en procesos de soldadura GMAW, SAW y Laser (*seam-tracking*) e inspecciones de cordones de soldadura (Huang et al. 2012) (Ogbemhe and Mporu 2015). Las tecnologías de búsqueda de uniones y seguimiento de juntas se utilizan para lograr líneas de producción flexibles sin preprogramar la soldadura de largo recorrido, donde el sistema de sensado proporciona una solución importante (He et al. 2016) (Li et al. 2017). Por lo que permite la corrección, durante los cambios producidos producto de la distorsión del material por la aplicación de una distribución irregular de calor o exceso de calor (Godefroid et al. 2014) (Moslemi et al. 2015), separación de junta (Zhai et al. 2016), etc., que pueden llegar a ocasionar fallos en la estructura (Tang 2014). También contribuyen a la inspección de la soldadura en el cordón para la identificación y el cálculo de soldaduras de tamaño insuficiente (Soares et al. 2017). La demanda de esta tecnología se debe al hecho de que los movimientos preprogramados del robot no permiten el reajuste en la trayectoria de la antorcha, a menos que exista retroalimentación sensorial. Además, si la tarea es realizada manualmente por personal no calificado e incluso calificado, no proporciona la precisión y la repetibilidad obtenidas con un robot para reducir el costo por unidad durante la producción (Pires, J. Norberto, Loureiro, Altino, Böllmsjo 2006).

La poca presencia de tecnologías flexibles para sistemas de soldadura en el Perú para corrección de la posición de la antorcha, sumado a la alta competitividad existente no permite poder explotar de manera adecuada los beneficios de los sensores como complemento de corrección para la soldadura. Las siguientes consecuencias o efectos son:

- Aumentos de la merma de soldadura producto de las distorsiones por calor aplicado de manera irregular.
- Cordones de soldadura con una calidad no óptima por lo que no permite otorgar un mayor valor agregado a los productos finales.
- Aumento en los costos de producción producto de la pérdida o mermas en soldadura.

Entre las causas se tiene las siguientes:

- La mala preparación de las piezas a unir a través del corte, mecanizado o esmerilado, que no garantiza que éstas mismas tengan la adecuada separación de juntas.
- Durante el proceso de soldadura se aplica calor que no necesariamente puede ser regular, por lo que los materiales a unir mediante soldadura puedan presentar una distorsión (separación o desviación) respecto a la recta de soldadura.
- No se cuenta con una herramienta de software de control de junta que indique la desviación de la recta a soldar y que permita hacer una corrección de la antorcha de soldadura en tiempo real.
- En trabajos de altos ciclos, con uniones complejas o distancias prolongadas la desviación se presenta de manera más constante, lo que no garantiza al final del trabajo un cordón de soldadura de calidad.

Una unión soldada debe poseer una correcta fusión del material de aporte y que ésta sea lo más centrada posible del punto de fusión respecto a la separación de junta de una unión. A través de esta investigación se busca contribuir al mejoramiento de la calidad de la soldadura robotizada y con ello mitigar los riesgos propios en el proceso de fusión de la soldadura.

La naturaleza de este proceso requiere de una configuración y adecuado procedimiento, debido a que se usa un equipamiento robotizado del cual se espera un producto de calidad, es por ello que el presente trabajo de investigación involucra el desarrollo tecnológico que beneficiaría a las industrias que deseen automatizar sus procesos de soldadura y también procesos de control de calidad a través de inspección visual.

Dentro de las aportaciones sociales que ofrece la solución es la demanda de nuevos empleos que requieren habilidades técnicas, se enriquecerá los aportes en tecnología e innovación en el sector industrial y académico al ampliar nuevas ramas de ingeniería en procesos de control, sensado en soldadura. Asimismo, existe un interés profesional en convertir el desarrollo tecnológico en una industria que también sea validada de manera académica a través de publicaciones en conferencias arbitradas de carácter internacional.

Objetivos de la investigación:

El objetivo general del presente trabajo es el diseño e implementación de un sistema híbrido de sensado de bajo costo para la soldadura GMAW (*Gas Metal Arc Welding*). El sistema híbrido se integrará con un robot industrial y una fuente de soldadura GMAW para poner en marcha el concepto de seguimiento de junta e inspección de soldadura. Los objetivos específicos son los siguientes:

- 1 Diseño e implementación de la mecánica del sistema híbrido de sensado.
- 2 Diseño e implementación de la electrónica del sistema híbrido de sensado.
- 3 Diseño e implementación del algoritmo de control para el seguimiento de juntas.
- 4 Validación experimental del sistema híbrido de sensado con pruebas de laboratorio.



1. Estado del Arte

1.1 Marco histórico

Hoy en día, los sensores en tiempo real para seguimiento de juntas en soldadura totalmente automatizada tienen un rol muy importante. Un sistema de sensado contribuye a la corrección de la antorcha de soldadura que causa una alineación hacia el punto deseado para soldar (Rek 2017), y con ello los resultados podrían mejorar considerablemente la calidad de la estructura soldada (Tang 2014). Asimismo, éstos sensores tienen un papel importante debido a que mejoran la calidad de la soldadura, dentro de la literatura se observan varios tipos de sensores, y varían principalmente por contacto o sin contacto. La ubicación y seguimiento de las juntas se adquieren mediante dispositivos tales como: contacto (Fei Gao, Qinglan Chen and Lanzhong Guo 2015) (Jia, Zhang and Xiong 2006) (Kim et al. 2008), inductivo, capacitivo, acústico (Liling et al. 2016), y detección óptica, indicada por P. Kah et al. (Kah et al. 2015). En los sensores ópticos (sin contacto) hay dos tipos de modelos: visión pasiva y visión activa, tienen una gran ventaja debido a su flexibilidad, procesamiento de velocidad e información rica en comparación con otros sensores.

El uso de sensores en aplicaciones de celda de soldadura proporciona automatización a la estación para la adquisición y control del proceso (Xu, De et al. 2012). Mientras tanto, los procesos de visión pasiva presentan un algoritmo de control complejo, debido a la necesidad de que el procesamiento que comienza desde la imagen capturada por la cámara de la antorcha de soldadura durante el arco y además tenga la capacidad de identificar la región de interés y realizar la segmentación de los elementos importantes como la junta y la ubicación del centroide del baño fundido (Wei et al. 2011). Por otro lado, el desarrollo de visión activa por láser requiere un menor costo computacional y posee menos complejidad en el control de su algoritmo mediante el procesamiento de imágenes de la banda láser. El uso de un sistema de sensor híbrido que combina detección pasiva y activa, proporcionará robustez al sistema frente a condiciones tales como la reflexión de la luz en el material en comparación con la visión pasiva (Shi, Lin and Chen 2009), también es capaz de proporcionar una inspección visual rápida para adquirir el perfil de la junta soldada, con características tales como el ancho y la altura del cordón de soldadura, y también defectos tales como socavaciones, porosidades, agujeros y deformaciones de las piezas a soldar (Yuan Li et al. 2010) (Wu et al. 2015)


(Huang and Kovacevic 2011). Existen sensores comerciales con visión activa, que permiten la corrección de las desviaciones de la antorcha de soldadura en robots industriales. Ejemplos de estos productos son: Meta-Vision System («Home | Metavision» 2017), Servo-Robot («Smart Laser Vision Systems for Smart Robots» 2017) and Micro-Epsilon («High precision sensors, measurement devices and systems | Micro-Epsilon America» 2017). Los productos mencionados están basados en una cámara soportada por un sistema sensor; sin embargo, el algoritmo para el reconocimiento de patrones en la clasificación y ubicación de las uniones soldadas no es necesariamente compatible para la integración con el sistema mecatrónico y una variedad de brazos robóticos industriales. Además, la alta inversión requerida para los sensores no permite que esta tecnología se extienda a través de pequeñas empresas (microempresas, pequeñas y medianas empresas). El desarrollo de un sensor para aplicaciones de soldadura permitirá que la industria metalmeccánica en países en desarrollo como el latinoamericano aumente la calidad y la demanda de productos (Pires, J. Norberto, Loureiro, Altino, Bölmso 2006) (Herrera et al. 2015).

1.2 Marco teórico

1.2.1 Robótica industrial

Existen diversos robots industriales que son controlados por unidades de control propias del robot o computadoras, que en su conjunto permite, la grabación y reproducción de secuencias pre-programadas de movimiento en el espacio de trabajo del robot. En donde, la gran mayoría carece de sensores externos que permita obtener información de su entorno de trabajo. Por lo que, los robots se utilizan principalmente en tareas repetitivas simples (López Apostolovich 2011). Éstos tienen una clasificación de acuerdo al tipo de configuración mecánica según la Tabla 1. Estos se caracterizan por su configuración en grados de libertad (GDL) y tipo de articulación o junta.

Tabla 1: Clasificación de Robots Industriales

<p><i>Robot Cartesiano:</i> Robot cuyo brazo tiene tres juntas prismáticas y cuyos ejes coinciden con un sistema de coordenadas cartesiano.</p> <p>Robot Cartesiano, Fuente: allonrobots.com</p>	
--	--

Clasificación de Robots Industriales (continuación)

<p><i>Robot Articulado:</i> Robot cuyos brazos tienen juntas prismáticas o rotatorias concurrentes.</p> <p>Robot Articulado, Fuente: akgec.kuka.org</p>	
<p><i>Robot SCARA:</i> Robot, que tiene dos juntas rotativas paralelas para proporcionar cumplimiento en un plano.</p> <p>Robot SCARA, Fuente: abb.com</p>	
<p><i>Robot Paralelo:</i> Robot cuyos brazos tienen juntas prismáticas o rotatorias concurrentes.</p> <p>Robot Paralelo, Fuente: pentarobotics.com</p>	

En la aplicación de la soldadura son más utilizadas robots como tractores lineales y orbitales, máquinas CNC (Control Numérico Computarizado) y brazos articulados.

- a) Tractores Lineales y Orbitales: Consiste en un pequeño automóvil presionado contra la tubería o superficie próxima a soldar por medio de rieles o cadenas, que son utilizadas por el robot para moverse a su alrededor. Para proporcionar todos los movimientos necesarios de la antorcha, el robot debe tener cuatro grados de libertad: velocidad de desplazamiento de la antorcha, stick-out, ángulo de la antorcha y movimiento lateral. Utiliza una interfaz u opciones para configurar los parámetros óptimos (voltaje, corriente, velocidad de soldadura, ángulo de antorcha y saliente) para cada posición de soldadura (plana, vertical y aérea). El sistema está

diseñado para producir soldaduras GMAW y SAW desde una velocidad de desplazamiento de 10 a 168 cm/min, ver Figura 1 y Figura 2.



Figura 1: Vehículos (tractores) lineales para soldadura, Fuente: Gullco.com



Figura 2: Vehículos (tractores) orbitales para soldadura de tubería, Fuente: Lincoln

- b) Máquina CNC: Es un sistema de soldadura guiada por Control Numérico Computarizado (CNC) es una herramienta moderna para la soldadura rápida y eficiente, brindando autonomía y flexibilidad, ver Figura 3.



Figura 3: Mesas cartesianas CNC para soldadura, Fuente: Promotech.eu

- c) Brazo Articulado: La robotización mediante brazos articulados mejora la calidad del producto final, aumenta considerablemente la repetibilidad, reduce las mermas y el tiempo del proceso de soldadura. Por lo menos, el robot es capaz de reproducir el cordón de soldadura mediante el uso de los mismos parámetros de soldadura. Este tipo de sistema está diseñado para producir todo tipo de soldadura desde una velocidad de desplazamiento de 0.06 m/min, ver Figura 4.



Figura 4: Brazo articulado - 6GDL, Fuente: ABB.com

1.2.2 Integración de soldadura automatizada

Un sistema de soldadura automatizado principalmente está formado por la integración de un robot industrial y una fuente de soldadura. El robot industrial se compone de un controlador de robot y un brazo articulado de 6 GDL, el control y programación del brazo articulado se realiza mediante el mando de control conectado al controlador del robot industrial, ver Figura 5. El brazo articulado es conectado al controlador para la energización del mismo y transmisión de datos de control.

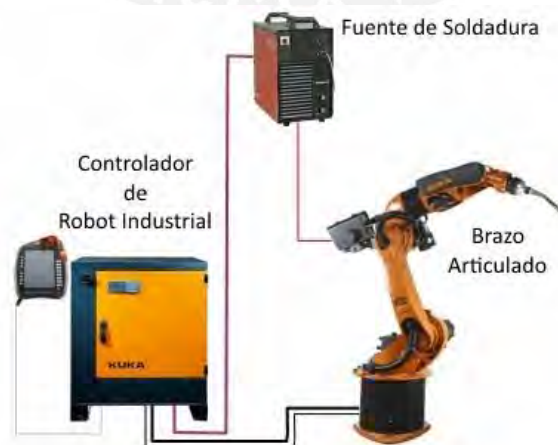


Figura 5: Integración de un robot industrial con fuente de soldadura, Fuente: KUKA.com

La fuente de soldadura se integra a través de un cable de comunicación que comparte información de control de la fuente de soldadura y demás componentes como se presentan en la Figura 6.

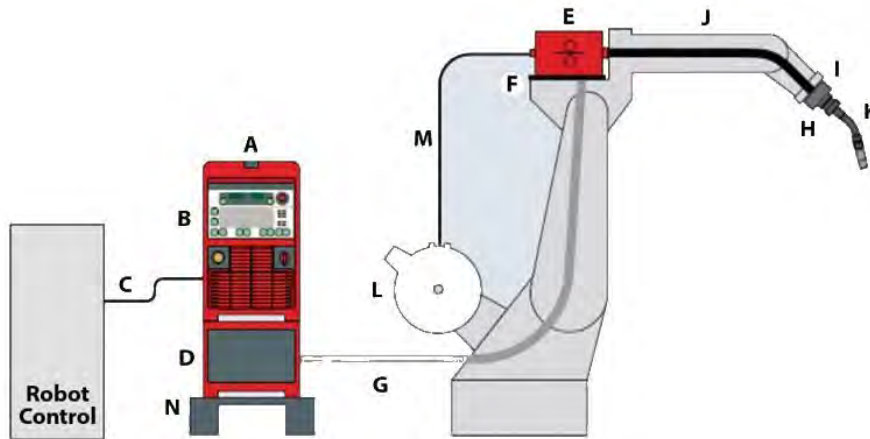


Figura 6: Componentes de una fuente de soldadura, Fuente: Fronius.com

Los componentes de la fuente de soldadura son los siguientes:

- Fuente de soldadura: es el corazón del sistema de soldadura. Proporciona la potencia necesaria para generar el calor para fundir el electrodo en el extremo de la antorcha de modo que las piezas metálicas se unan (suelden). La selección de la fuente de alimentación es una función del tipo de soldadura que se requiere en el sistema. La instalación de la fuente de alimentación generalmente requiere alimentación trifásica.
- La interfaz: permite que el controlador del robot y la fuente de alimentación de soldadura se comuniquen. Esta comunicación constantemente supervisa el rendimiento de soldadura y modifica la trayectoria del robot, la configuración de la fuente de alimentación, la velocidad del robot y muchos otros parámetros que afectan la calidad de la soldadura. Se encuentran disponibles muchas opciones diferentes para la comunicación en un protocolo de bus de campo basado en Ethernet.
- Cable de comunicación de la interfaz: es el cable que conecta la fuente de alimentación de soldadura al controlador del robot.
- Para la soldadura a veces se requiere de una antorcha refrigerada por líquido, por lo que se hace uso de un sistema de refrigeración. Los enfriadores usan refrigerante

y energía para el funcionamiento. Las líneas de refrigerante deben estar conectadas y recubiertas externamente al brazo del robot.

- e) Alimentador de alambre: suministra el metal de aporte a la antorcha para el proceso de soldadura, con el voltaje y corriente de la máquina de soldadura. En la soldadura de alimentación de alambre, la cantidad de alambre que sobresale de la punta de la antorcha es muy importante, y la velocidad de alimentación del alambre debe controlarse para mantener esta protuberancia y generar una soldadura de calidad.
- f) El soporte del alimentador de alambre: monta el alimentador de alambre al robot y proporciona aislamiento entre él y el robot.
- g) El paquete de manguera: contiene el cable de comunicación del alimentador de alambre, el cable positivo o negativo para el cable autoprotegido, la manguera de gas de protección y las líneas de refrigerante si posee un sistema de refrigeración por líquido.
- h) Una brida de colisión de antorcha: proporciona una manera mecánica para que la antorcha se desconecte en caso de una colisión. Muchos usuarios también emplean el software de detección de colisiones de robots ofrecido por los fabricantes de robots para proteger la antorcha del daño. Esto se puede usar con o sin la separación mecánica.
- i) Se requiere un elemento de separación entre la antorcha y la placa de montaje de la herramienta en el robot.
- j) Un cable de conexión entre la antorcha con el alimentador de alambre y proporciona la conexión para el uso de la punta del soplete.
- k) El cuello de la antorcha: cuello de ganso, es la antorcha de soldadura real.
- l) El soporte de alambre de soldadura: suministra el cable al alimentador de alambre para su consumo en el proceso de soldadura. Los soportes de alambre de soldadura típicos son un tipo de carrete o un barril.
- m) El conducto de alambre de soldadura: instalado entre el alimentador de alambre y el soporte de alambre de soldadura, proporciona un ducto para que el material de aporte se traslada hasta el alimentador de alambre.
- n) El soporte de fuente de alimentación: se utiliza para montar el suministro de energía de soldadura.

1.2.3 Soldadura GMAW

El proceso GMAW (*Gas Metal Arc Welding*, Soldadura por Arco protegido con gas protector) se realiza debido a la fusión entre el extremo del electrodo consumible en contacto con el metal base de manera constante (Pajuelo Céspedes 2011). El arco

eléctrico y zonas adyacentes son protegidos por el flujo de un gas que se aporta de la misma manera que se hace con el electrodo consumible como se muestra en la Figura 7-a. Para el proceso de fusión se utiliza un electrodo consumible en forma de alambre macizo, éste llega hasta la zona de aplicación por el mismo camino que el gas protector. Se recomienda en la soldadura de aceros emplear un gas dióxido de carbono (CO_2) o una mezcla de CO_2 con argón (Ar), cambiando la composición del gas protector se puede variar el comportamiento de la forma y penetración del cordón de soldadura, ver Figura 7-b.

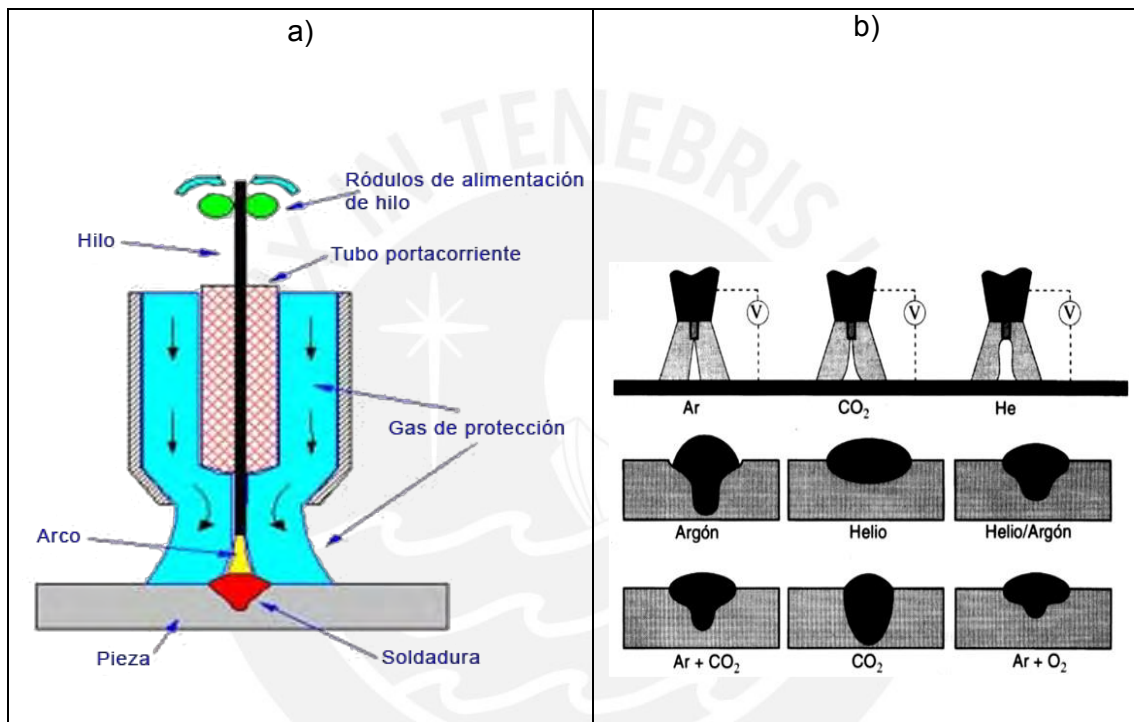


Figura 7: a) Esquema de proceso de soldadura GMAW, b) forma de cordón debido a la composición de gas protector; Fuente: brusiterrades.com y Manual del Soldador, CESOL respectivamente

Parámetros de soldadura

Dentro de los parámetros de soldadura que forman la característica de la soldadura son las siguientes: velocidad de alimentación del material de aporte, voltaje, velocidad de soldeo, polaridad, ángulo de inclinación, extremo libre del alambre electrodo (“*stick-out*”) y tipo de electrodo.

- a) Voltaje o tensión: se mide en voltios (V), es regulable y es directamente proporcional a la distancia entre el extremo libre del alambre y el material base. Es importante mencionar que mientras la longitud del arco sea mayor, también lo será la tensión.
- b) Velocidad de alimentación: tiene una relación directa con la intensidad de corriente (A) ya que, mientras mayor sea la velocidad de alimentación mayor será la intensidad. Este comportamiento también afecta de manera proporcional a la velocidad de fusión por lo que, la deposición se ve incrementada.
- c) Extremo libre del alambre electrodo: es la distancia desde la tobera de la antorcha de soldadura hasta el extremo del alambre. A mayor longitud, la penetración se reduce y la proyección de salpicaduras se incrementa, perdiendo la capa protectora del gas de manera que puede provocarse la aparición de porosidades y contaminación del cordón de soldadura.
- d) Velocidad de soldadura: para obtener mayor penetración se recomienda una menor velocidad de soldeo. Altas velocidades puede producir cordones irregulares, perdiendo así la homogeneidad.
- e) Polaridad: se puede hacer uso de dos tipos de polaridades que son directa (DC-) e inversa (DC+). Mientras que la polaridad directa ofrece estabilidad del arco eléctrico y transferencia adecuada, la polaridad inversa se caracteriza por su alta tasa de deposición.
- f) Ángulo de inclinación de la antorcha de soldadura: para soldadura de pequeños y mayores espesores la inclinación de la antorcha de soldadura es un parámetro a considerar ya que, con un inclinación apuntando con el electrodo en el sentido de la dirección de avance de la soldadura se disminuye la penetración y el cordón se hace más ancho y plano (técnica de empuje), mientras que en el sentido contrario a la dirección de avance de la soldadura se obtiene mayor penetración (técnica de arrastre).
- g) Gases de protección: El gas de protección, como se muestra en la Figura 7, puede ser inerte (no actúa activamente en el proceso de soldadura) o también activa (interviene termodinámicamente en el proceso de soldadura). El uso de gases o mezcla de gases para la protección de la soldadura permite optimizar los resultados que se refleja en la fluidez del baño de fusión y geometría de penetración. Los gases presentan una energía de ionización que favorecen la estabilidad del arco eléctrico, mientras más bajo mayor será la estabilidad.

1.2.4 Discontinuidades de la soldadura

Durante la calificación del procedimiento de soldadura de un cupón de prueba se menciona dos términos importantes: defecto y discontinuidad. A continuación se menciona la diferencia entre ambos términos.

- **Discontinuidad:** Falta de homogeneidad en las características físicas, mecánicas o metalúrgicas de una junta soldada.
- **Defecto:** Discontinuidad no aceptable, según código, norma o contrato, debido a que disminuye la vida útil de la junta soldada.

Las principales discontinuidades y defectos presentes al finalizar la soldadura son las siguientes («Structural welding code - steel : AWS D1.1/D1.1m.» 2015).

- a) **Porosidades:** Discontinuidades de tipo cavidad que son formadas por atrapamiento de gas durante la solidificación, ver Figura 8.

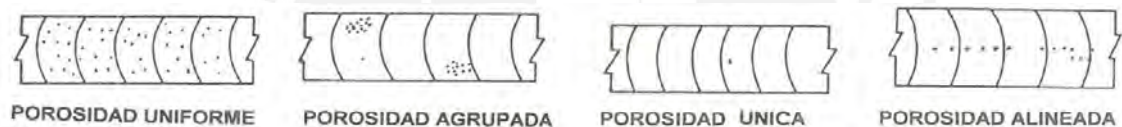


Figura 8: Porosidades, Fuente: CESOL

- b) **Fisuras:** Defecto de forma aguda que generan altos concentradores de tensiones y que se pueden propagar en servicio.
- c) **Falta de fusión:** Pérdida de unión entre material base y material de aporte, porque no se alcanza la temperatura de fusión o porque el metal de soldadura no llega a la raíz de la soldadura, ver Figura 9.

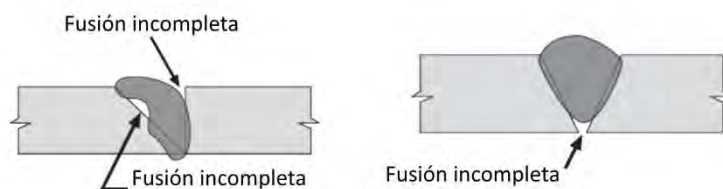


Figura 9: Falta de fusión, Fuente: CESOL

- d) **Sobremonta:** Metal soldado en exceso de la cantidad requerida para llenar una junta.

- e) Socavación: Surco fundido en el metal base adyacente al pie de soldadura o la raíz de soldadura y que queda sin llenar por el metal de soldadura, ver Figura 10.

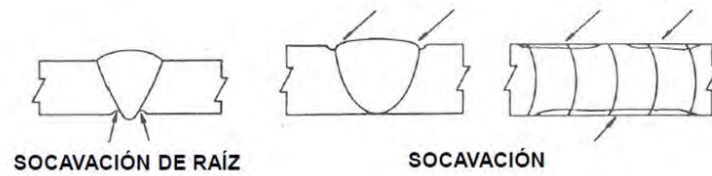


Figura 10: Socavaciones, Fuente: CESOL

- f) Concavidad excesiva: Discontinuidad que genera la pérdida de resistencia, ver Figura 11.

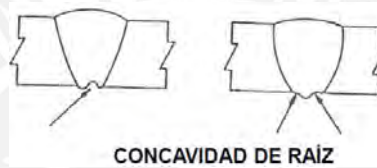


Figura 11: Concavidad de la raíz, Fuente: CESOL

- g) Falta de penetración: Penetración incompleta, ver Figura 12.

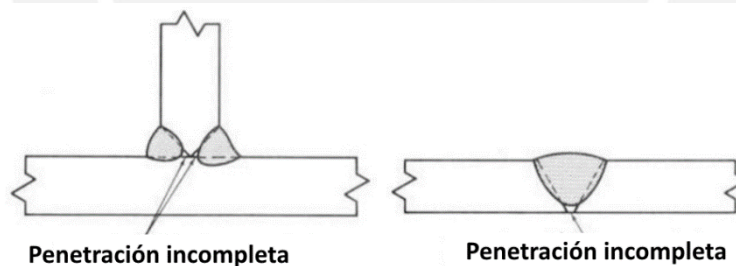


Figura 12: Penetración incompleta, Fuente: CESOL

- h) Solape: Discontinuidad que favorece los concentradores de tensiones y corrosión por resquicios, ver Figura 13.

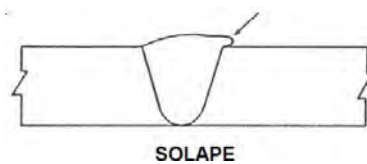


Figura 13: Solape, Fuente: CESOL

- i) Cráter: Una depresión en la cara de la soldadura, en la terminación de un cordón de soldadura.
- j) Salpicaduras: Partículas metálicas expulsadas durante la soldadura por fusión que no forman parte de la soldadura.

1.2.5 Tecnología sensado de junta (Seam)

Dentro de la soldadura pueden existir dos problemas que impidan que el robot suelde de manera exitosa. Un posicionamiento no exacto o un ajuste inadecuado de las juntas, que son las principales causas que limitan obtener una soldadura de calidad, que se acentúan cuando se trabajan con planchas gruesas donde la preparación de junta no se pueda obtener según el diseño o plano de junta («Sensing equipment for robotic welding» 2017). Los principales tipos de sensado en la soldadura son del tipo óptico y por arco (Nomura, Sugitani and Suzuki 1986) (Kah et al. 2015). Algunos de las más importantes técnicas de sensado son los siguientes:

- a) Seam-Finding o Localización de Junta por medio óptico: Es el proceso que permite localizar la junta por medio de un sensor óptico para luego alinear y llevar a la correcta posición de la antorcha, ver Figura 14. La localización de una junta puede detectarse fácilmente usando un sensor láser, cuando el robot localiza una junta se realiza una alineación de posición en las tres direcciones de los ejes coordenados X, Y e Z según se considere necesario.

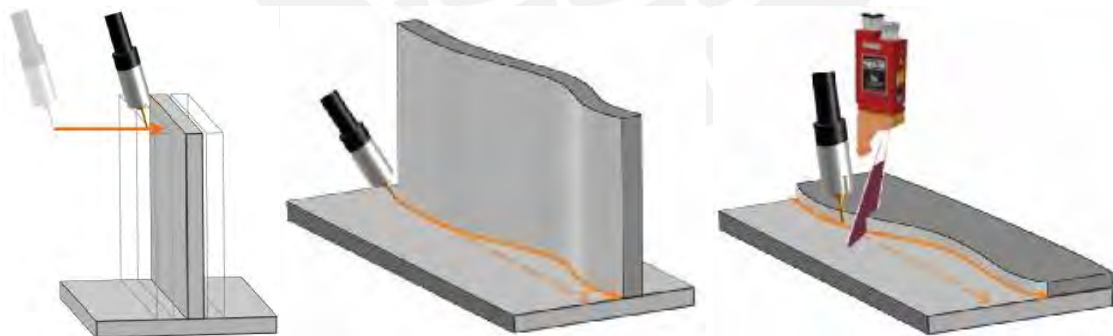


Figura 14: Ubicación de junta, (izquierda y medio), aplicación mediante sensor láser (derecho), Fuente: <http://www.robotwelding.co.uk/sensing-equipment-for-robots.html>

- b) Seam-Tracking o Seguimiento de Junta por medio óptico durante el soldeo: Es el proceso que permite alinear la posición de la antorcha con la junta a soldar y seguir la junta automáticamente durante el proceso de soldadura, a fin de minimizar los efectos causados por la distorsión, aporte de calor, espaciado irregular, etc. En

aplicaciones de soldadura con fuerte embridamiento y de espesor alto, la aparición de la distorsión producto del aporte de calor y la dilatación del metal a soldar en el proceso de soldadura es recurrente. Por lo que, la unión puede desviarse de la trayectoria programada del robot.

Este proceso mediante el medio óptico permite localizar el punto medio de la junta a soldar, de esta manera, si la junta se encuentra alejado de la antorcha del robot, este corrige su trayectoria hacia el punto medio, ver Figura 15. Sin embargo, el proceso no es capaz de realizar una adecuada alineación si el espaciamiento es mayor como se muestra en la Figura 16.



Figura 15: Seguimiento de junta por corrección, Fuente: <http://www.robotwelding.co.uk/sensing-equipment-for-robots.html>



Figura 16: Límites de corrección por espacio, Fuente: <http://www.stc.com.tr>

2. Procedimiento Experimental

El alcance del presente trabajo de investigación permitió el diseño e implementación de un sistema híbrido de sensado para el seguimiento de juntas, éste será validado experimentalmente con un algoritmo de control, en donde el sistema estará montado en un robot industrial que está integrado a una celda de soldadura robotizada.

2.1 Metodología:

El procedimiento experimental o metodología se divido en cinco componentes distribuidos en la siguiente secuencia:

1. Diseño mecánico del sistema híbrido de sensado
2. Diseño electrónico del sistema híbrido de sensado
3. Diseño de control del sistema híbrido de sensado
4. Implementación del sistema híbrido de sensado y validación con pruebas de laboratorio.
5. Ensayos preliminares y discusión

2.1.1 Diseño mecánico del sistema híbrido de sensado

Se diseñó el sistema para la adecuada ubicación y seguimiento de una junta a soldar, se realizó un estudio de la información técnica (publicaciones, patentes) y desarrollos existentes, a nivel global, que puedan contar con potencial de adaptación y aplicación a las condiciones en las que se desarrolla la industria metalmecánica. Se elaboró una lista de materiales, planos de diseño y ensamblaje necesarios para el diseño e integración del diseño mecánico del sistema de sensado híbrido. Los planos permitieron la fabricación de las piezas y componentes mecánicos para la sujeción del sensor a la antorcha de soldadura. La máquina a utilizar para la soldadura GMAW fue la fuente de soldadura de la marca Esab Aristo 5000 iW.

2.1.2 Diseño electrónico del sistema híbrido de sensado

Se elaboró los planos eléctricos y diagrama de bloques del sistema. Se elaboró la lista de componentes electrónicos y se seleccionó un diodo láser necesario para la implementación del sistema eléctrico. Los componentes que se seleccionaron fueron: sensor de temperatura, fuente de alimentación, motor DC, controlador de motor, diodo láser, cámara web, reguladores de voltajes, entre otros. Se elaboró el código y circuito del sistema de sensado, asimismo, se inició con la fabricación e integración del hardware del sistema híbrido de sensado con el sistema de la estación de soldadura. Se diseñó el sistema aislado del ambiente agresivo presente en la soldadura, con una interfaz fácil de controlar para un operador de máquina.

2.1.3 Diseño de control del sistema híbrido de sensado

Se tendrá comunicación e intercambio de información entre el sensor, controlador de robot industrial y computador (PC) para el control y corrección de la antorcha de soldadura. Por lo que se elaboró un software que permitió adquirir imágenes de la junta y a través de un algoritmo de control permitirá ejecutar la auto-alineación en la unidad de control del robot industrial para obtener en una corrección en el movimiento de un brazo articulado producto de la desviación de la junta. Se elaboró un diagrama de flujo para el adecuado funcionamiento del algoritmo de control e integración con el sistema mecánico-electrónico.

2.1.4 Implementación del sistema híbrido de sensado y validación con pruebas de laboratorio.

- a) La implementación del sistema híbrido de sensado se realizó a través de una plataforma de software para el monitoreo y control en tiempo real que permita enviar la data adquirida por el sensor a una PC, y ésta procese la información para finalmente ser enviada al controlador del robot industrial. El robot industrial, es un brazo articulado de 6 GDL (grados de libertad) de la marca KUKA, posee una capacidad de carga de 20 kg en la muñeca del robot y un alcance de 1611mm. La herramienta de software permitió visualizar desde la PC el error de la alineación en tiempo real, el operador tendrá opciones dentro del software que le permitirá almacenar la información, mejorar la calidad de imagen y seleccionar el modo de operación (localización o seguimiento de junta).
- b) La validación se realizó con pruebas de laboratorio en donde se verificó la programación y funcionamiento adecuado del sistema mecánico-electrónico. Se realizará la integración del hardware (fuente de soldadura, robot industrial y sistema de sensado) y software (algoritmo de control de trayectoria de robot industrial e interfaz gráfica de monitoreo de proceso de soldadura). Se verificó el algoritmo de control que permita la localización y seguimiento de una probeta de 6.35mm con junta a tope sin preparación de bordes y con junta tipo "V", como se muestra en la Figura 17. También se verificó el algoritmo que permite realizar una inspección visual de la junta soldada a través del sistema de sensado.

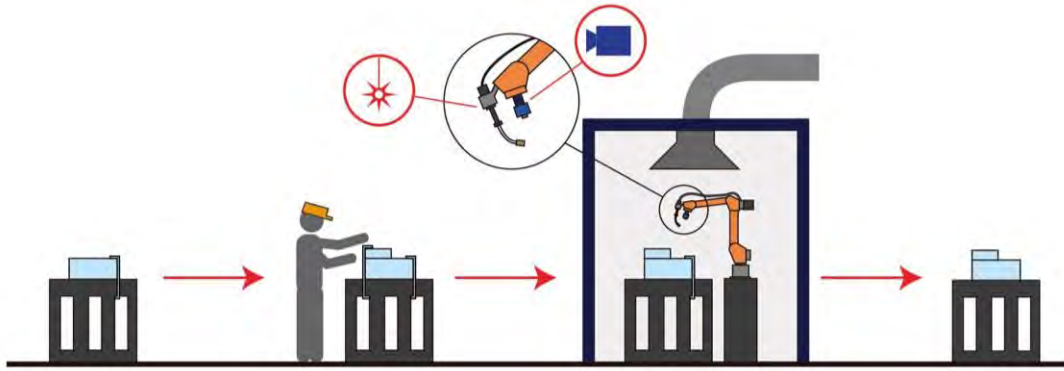


Figura 17: Metodología de funcionamiento de sistema mecatrónico

2.1.5 Ensayos preliminares y discusión

Finalmente en los ensayos preliminares se verificó el sistema mecánico, electrónico y de control para la validación del funcionamiento del sistema de sensado. Se identificaron los límites máximos de auto-alineación del sistema de sensado, también el error mínimo durante la ubicación y seguimiento de una junta por soldar e inspección visual de una junta soldada. Se procederá con la documentación del trabajo de investigación durante la ejecución del proyecto.

3. Desarrollo y diseño del sistema de sensado híbrido

El objetivo principal es ubicar y seguir la unión a soldar, así como la inspección de un cordón de soldadura que permita realizar un control de calidad del proceso en tiempo real, a fin de cumplir con indicadores estándar, como la sobremonta, que se miden en ancho y alto en milímetros; y evitar defectos de soldadura, como grietas de soldadura y porosidades.

Actualmente, dentro de los sensores con mayor presencia en la industria metalmeccánica, seleccionados por su flexibilidad y velocidad es el sistema de sensado híbrido compuesto por el principio de triangulación láser compuesto por un diodo láser, y una cámara (Peiquan et al. 2007), a diferencia de otros métodos de detección de juntas con mayor complejidad como el ultrasónico, y termometría de infrarrojos (Nagarajan et al. 1992). El sistema híbrido de sensado se basa en la captura de información a través de una Cámara CCD (Mehta, Patel and Mehta 2015), que en conjunto con un diodo láser permite la detección de la junta.

Los sensores con diodos láseres están conformados por una unidad que genera el haz láser que permite proyectar en el material base una línea láser. La línea proyectada forma un perfil, que es capturado en una imagen por medio de una cámara CCD o CMOS. Con la imagen obtenida se realiza un procesamiento para la segmentación del perfil de la junta de soldadura. Los resultados son publicados en trabajos experimentales en la cual muestran la capacidad de detectar los bordes de la unión de soldadura (Xiong, Wan and Pan 2011).

La demanda por tener altos niveles de producción ha impulsado la implementación de robots industriales en el campo de la soldadura. Sin embargo, la mayoría de éstas siguen operando bajo una trayectoria preprogramada, y no pueden responder a escenarios diferentes a las cuales fue entrenado, por lo que no posee un comportamiento de estación de soldadura inteligente (Chen 2007). Debido a la flexibilidad, reducido espacio que ocupa, la tecnología de detección de juntas con sistema híbrido y sensado combinado con una cámara, son unos de los métodos más comunes para la automatización en la soldadura robótica.

3.1 Diseño de concepto del sistema

En la etapa inicial del diseño es importante considerar aspectos mecánicos de la máquina y la tecnología de soldadura a implementar. El diseño debe considerar conceptos de mecatrónica, soldadura y control de manera conjunta para los siguientes puntos:

- a) **Requerimientos funcionales del usuario:** El operador debe poder acceder al control del sensor para registrar los parámetros de soldadura y acceder a los resultados de inspección del cordón de soldadura. El operador también debe visualizar si el cordón de soldadura es adecuado y cumple con los estándares de soldadura AWS D1.1, ASME IX o API1104, dependiendo del componente que se fabricará.
- b) **Requerimientos funcionales del sistema:** El software a desarrollar debe mantener una base de datos local con información sobre la ubicación de la unión previa al proceso, y la desviación durante la soldadura. Además, se comunica con un sistema de soldadura automático para ajustar la posición de la antorcha de soldadura en tiempo real.

3.2 Diseño de sistema mecánico

El sistema mostrado en la Figura 18 propone el diseño, implementación e integración de un sistema de sensado híbrido que se integrará a una estación de soldadura y, será de fácil programación soportada con una Interfaz Gráfica (GUI) que permite que el sistema sea programado en un primer momento desde un SmartPad (unidad de programación por medio de un entorno gráfico). Para el sistema mecánico se propone la solución que estará integrada por un Robot Industrial, una antorcha de soldadura y un sistema de sensado híbrido. El sistema será complementado por una unidad de soldadura robotizada GMAW («Fronius International GmbH - Products - Arc welding» 2017).

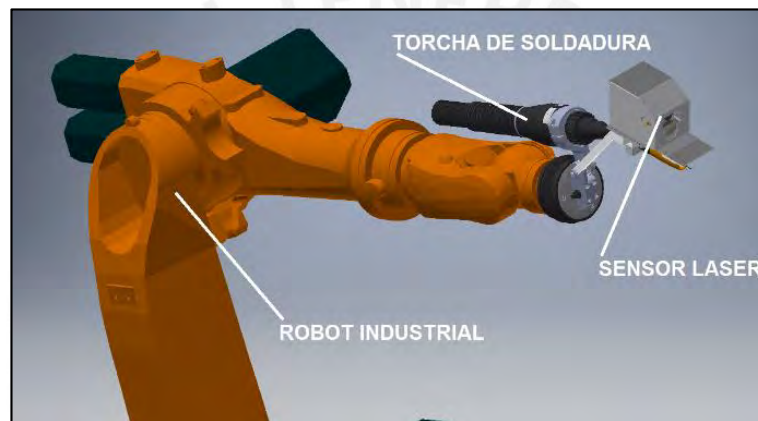


Figura 18: Propuesta de diseño de sistema automatizado de soldadura

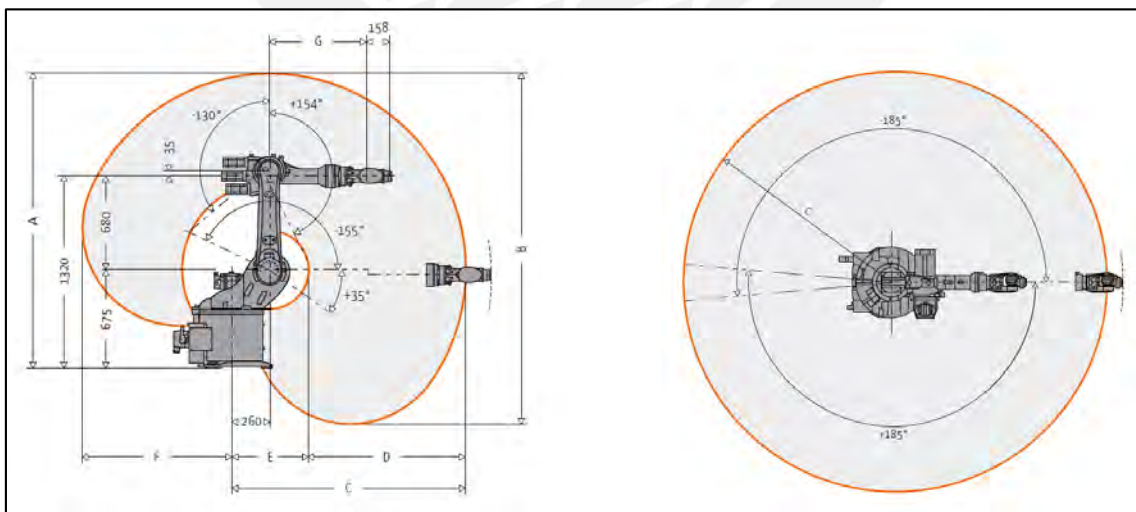


Figura 19: Volumen de trabajo de robot KUKA KR 20-3, Fuente: KUKA

El robot industrial a emplear será un KUKA KR20-3, con 6GDL («Página web | KUKA AG» 2017), con una capacidad de carga de 20 kg y 1611 mm de alcance, ver Figura 19 y Tabla 2. Asimismo, el sistema se basó en las recomendaciones de la norma “AWS D16.2M/D16.2:2007” para la guía de instalaciones de soldadura automatizada.

Tabla 2: Características generales de Robot KUKA KR 20-3, Fuente: KUKA

KR 20-3		Volumen de Trabajo	14.5 m ³	Data de Eje	
Máximo alcance	1611 mm	Dimensión A	2026 mm	Eje 1 (A1)	+/- 185°
Capacidad de Carga	20 kg	Dimensión B	212 mm	Eje 2 (A2)	+35°/-155°
Máxima Carga	30 kg	Dimensión C	1611 mm	Eje 3 (A3)	+154°/-130°
Repetitividad	+/- 0.05	Dimensión D	1081 mm	Eje 4 (A4)	+/- 350°
Número de Ejes	6	Dimensión E	530 mm	Eje 5 (A5)	+/- 130°
Peso	254 kg	Dimensión F	1027 mm	Eje 6 (A6)	+/-350°
		Dimensión G	670 mm		

El robot industrial está conectado a la antorcha de soldadura a través de un acople que encaja con la brida del robot que se diseñó, ver Figura 20. Dentro de la mecánica del sistema híbrido de sensado se tienen componentes que permite el ensamble del sistema y que responderá de manera adecuada al entorno agresivo presente en el proceso de soldadura GMAW como es el calor, salpicaduras, humos y radiaciones, a fin de no interrumpir la funcionalidad del sensor durante la soldadura.

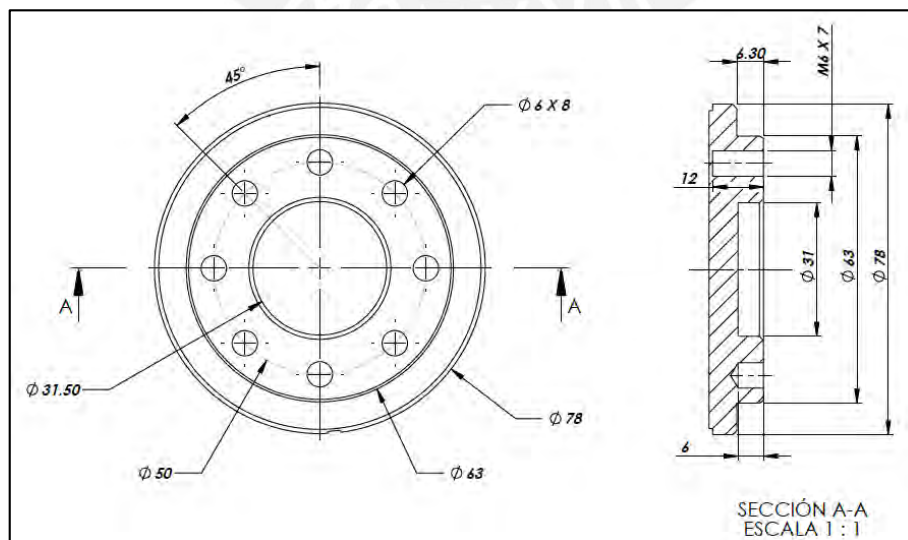


Figura 20: Brida de robot industrial

Se diseñó una caja metálica, principalmente con aluminio y atornillada con pernos hexagonales M3. La caja metálica contiene el sistema de sensor híbrido, la cámara, la placa de circuito impreso (PCB) y el sistema de enfriamiento forzado. Estos componentes se encuentran como se indica en la Figura 21.

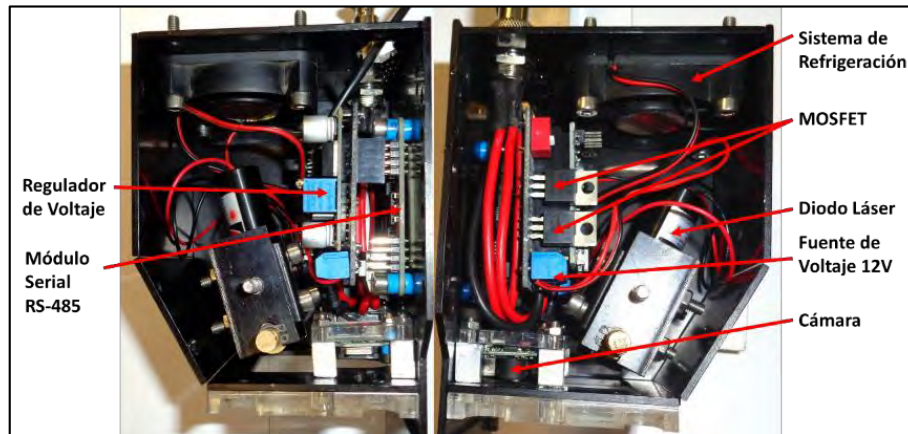


Figura 21: Componentes de sistema de sensado híbrido, lado derecho e izquierdo

El láser tiene una inclinación de 30° para poder capturar con mayor resalte el perfil del cordón de soldadura, incrementando el efecto del haz láser. La parte inferior del sistema de sensor híbrido es de acrílico transparente, que permite el paso de la luz del láser y también que la cámara pueda capturar la imagen compuesta. En la parte superior, se encuentra el sistema de enfriamiento forzado. La utilización de sistemas de visión permite resultados más precisos, ya que el sistema es alimentado por los datos de un sensor integrado con una cámara que permite guiar a la antorcha de soldadura por el camino correcto. La literatura presentada recomienda el uso de cámaras CCD para obtener una imagen y con ella calcular la junta a soldar e incluso evaluar la calidad de soldadura, pero la saturación de luz y la interferencia debido al campo electromagnético generada por el arco eléctrico no los convierten en soluciones ideales para el seguimiento de uniones. Existen consideraciones y recomendaciones como elección de un mejor filtro, reubicación de la cámara que son utilizados para la optimización del procesamiento de imagen pero no son prácticas (Wu et al. 2014). Por lo que el uso de cámaras de manera conjunta con tecnología diodo láser tiene éxito para la detección de juntas e inspección de soldadura. El principio es el siguiente, una fuente diodo láser de baja potencia se utiliza para generar un haz de láser que se proyecta sobre la superficie a soldar donde la luz reflejada es captada por el lente de la cámara, ver Figura 22.

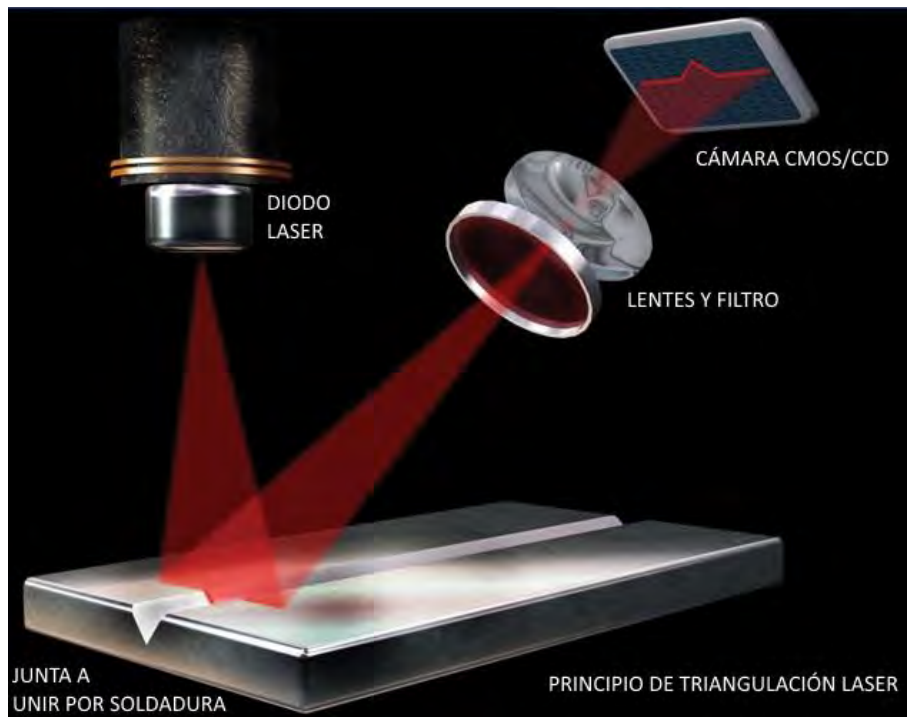


Figura 22: Principio de visión láser, Fuente: The tube & pipe journal, setiembre 2014

En ese sentido, se propone el diseño y fabricación un sistema de sensado basado en el principio anteriormente mencionado, este estará ubicado a una distancia no menor de 45mm (Min-Goo Kang et al. 2007). Para ello, mediante software CAD 3D se elabora una caja metálica que pueda albergar tanto al sensor como la cámara. En la Figura 23, se puede apreciar el prototipo diseñado.

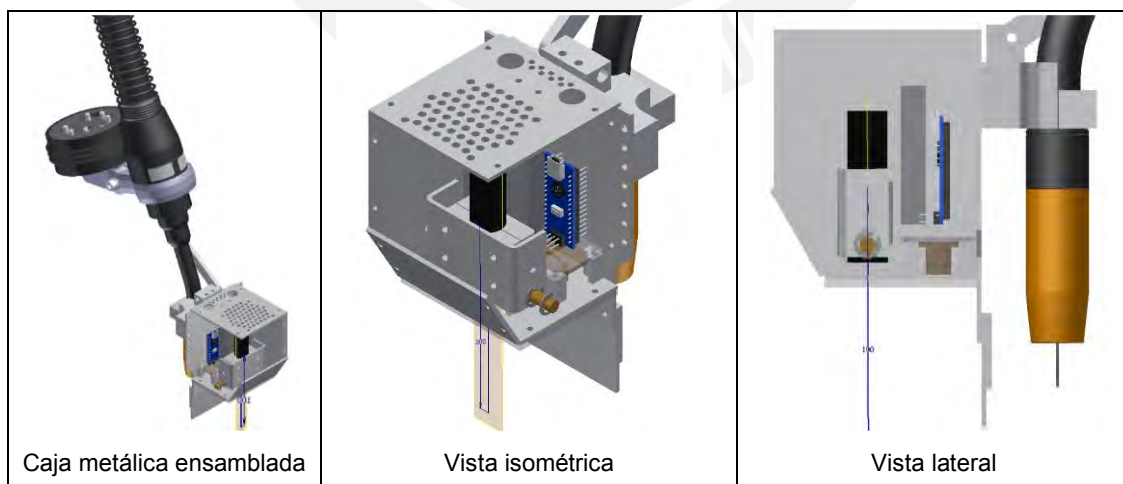


Figura 23: Diseño de case de sistema híbrido de sensado: caja metálica ensamblada en antorcha de soldadura (izquierda), vista isométrica de caja metálica (medio) y vista lateral de caja metálica (derecha)

3.3 Diseño de sistema electrónico

El sistema eléctrico está compuesto de una cámara digital CCD con una capacidad de hasta 30 fps (30 capturas de imagen por segundo) a una resolución de 1080 pixeles; un diodo láser (Clase II y IIIa) con una potencia de 1 mW con haz lineal de enfoque ajustable; un módulo de transmisión de datos, para comunicar el sensor híbrido con una PC; módulo de temperatura, para el sensado del sistema durante la soldadura; y la tarjeta impresa del circuito para control del sistema híbrido de sensado. Este láser opera en un rango de temperatura de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, y tiene una divergencia de menos de 2.0 mrd (milirradiantes). También está diseñado con un sistema Plug-and-Play (PnP), que permite que el sensor se conecte a una computadora mediante comunicación en serie (TTL) para transmitir a una distancia de más de 15 metros. El sistema incluye una placa PCB que contiene el módulo de comunicación TTL a RS485 a una tasa de 9600 bps, módulo de fuente de alimentación (12 VDC), transistores que funcionan como interruptores para habilitar el sistema de enfriamiento para el sensor, un módulo de temperatura ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$) y un microcontrolador basado en Atmega328p para controlar el sistema de sensor híbrido. El diagrama de bloques para el sistema modular se muestra en la Figura 24, que indica los componentes electrónicos integrados en el sistema de sensor híbrido. Todos los módulos son fáciles de reemplazar.

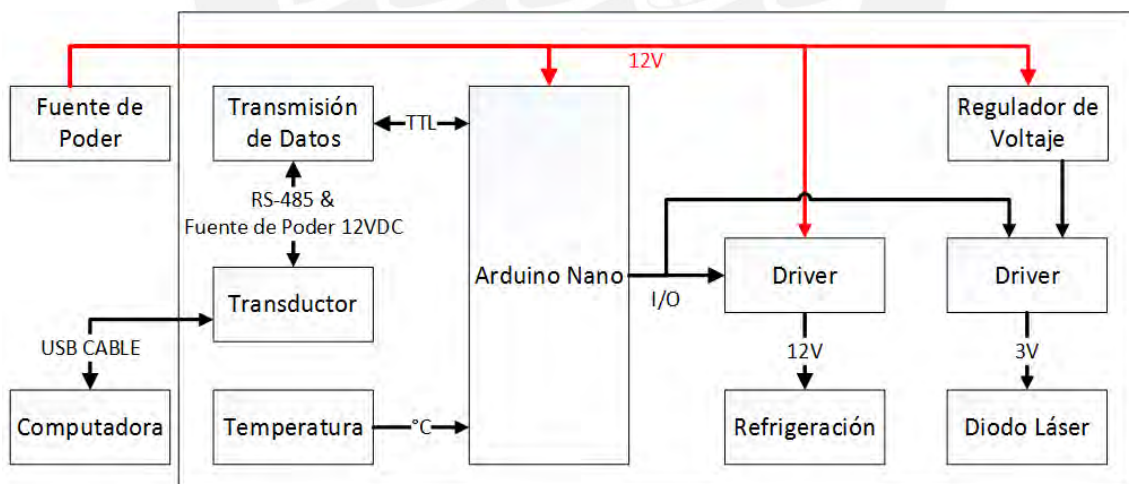


Figura 24: Diagrama de bloque de sistema híbrido de sensado

3.3.1 Módulo de transmisión de datos

Se desarrolló una interfaz TTL para comunicar el sistema de sensor híbrido a la computadora, se utiliza un módulo transceptor TTL a RS485, que está conectado a la computadora. La comunicación es compatible a través de un multiplexor con interfaces

TTL y RS485. El protocolo RS485 permite establecer una comunicación estable. Para la interacción con el robot industrial, un microcontrolador basado en Atmega328p está montado en el Módulo Transductor, que genera la entrada de señal analógica para el controlador del robot. Para permitir la comunicación con la computadora, una comunicación serial TTL se configura a 9600 bps, sin paridad, 1 bit de parada y 8 bits de datos, como se muestra en la Figura 25.

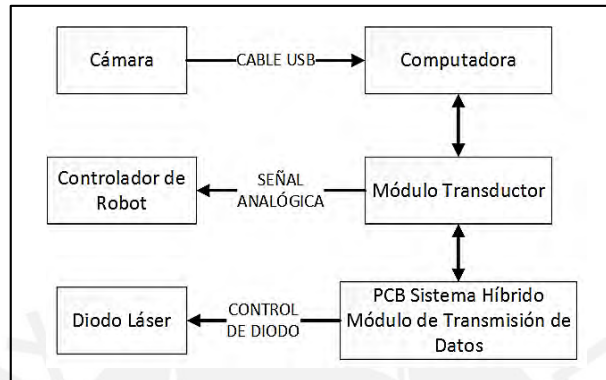


Figura 25: Bloque de transmisión de datos

3.3.2 Módulo transductor

Para la recepción de datos del sistema híbrido de sensado para una distancia mayor a 5 metros, distancia de laboratorio entre la antorcha de soldadura y la PC de control, se elabora un módulo de recepción de datos que tiene un protocolo de comunicación industrial (RS-485). La comunicación serial RS-485 permite el envío de información hasta distancia de 1000 m, por lo que su implementación beneficia en la robustez del sistema. Para ello hace uso de un transductor de comunicación serial. Para la implementación de la electrónica con los mecanismos de movimiento del robot industrial se usó una tarjeta para el módulo transductor que se visualizan en la Figura 26.

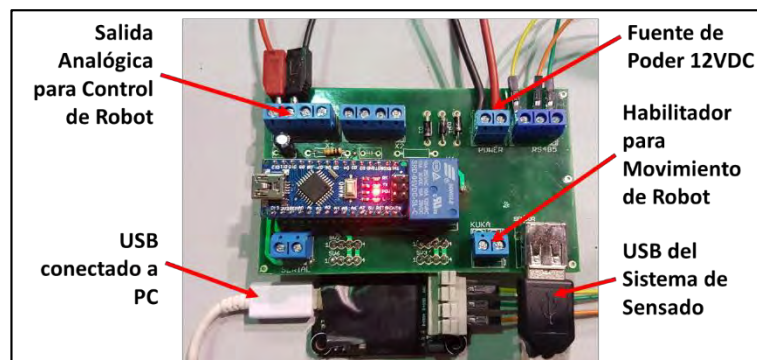



Figura 26: Integración de electrónica y control de pc-control

3.3.3 Módulo diodo láser y refrigeración

El diodo láser se habilita a 3 VDC (30 mA) en base a un transistor MOSFET IRF540 que ofrece una fuente de alimentación continua. El MOSFET se activa cuando se aplica una señal de 5 VDC a través del *gate* del integrado (mosfet) y habilita el diodo y el ventilador para el sistema de enfriamiento forzado en un rango operativo de 9 a 12 VDC en el *gate* de drenaje.

Para la proyección de un haz láser que permite obtener el perfil del cordón de soldadura y/o la junta a soldar se realiza a través de un módulo de láser lineal. Este módulo laser, de alta calidad es un producto industrial que integra el diodo láser, y óptica de lente de vidrio, lo que genera una mejor calidad de línea y una mejor estabilidad de energía. Es ideal para una amplia gama de aplicaciones industriales y médicas, especialmente en uso continuo de larga duración, como visión artificial, biomédica, lector de código de barras, medición, visualización y posicionamiento. Algunas de sus características se observan en la Tabla 3.

Tabla 3: Característica del módulo láser, Fuente: Apinex.com

 <p>Módulo láser lineal (rojo), Fuente: Apinex.com</p>	Clase del Láser:	II (2), IIIa (3R), IIIb (3B)
	Longitud de Onda:	650 nm
	Energía de Salida:	<1 mW,
	Voltaje de Operación:	3 VDC
	Corriente de Operación:	30 mA
	Temperatura de Operación:	-10 °C to +40 °C
	Óptica:	Lente de Vidrio
	Divergencia:	0.1-0.6 mrd
	Haz:	Linear (90° ángulo de apertura del haz)
	Largo, Diámetro:	60 mm y 16 mm
Material:	Latón	

3.3.4 Módulo de alimentación

El sistema de sensor híbrido tiene una fuente de alimentación de 12 VDC. Cuando el sistema está encendido, el microcontrolador, los transistores y los reguladores de voltaje de 3 y 5 VDC están energizados respectivamente. El sistema permite controlar los controladores para la proyección de haz láser y el sistema de enfriamiento.

3.3.5 Módulo de temperatura

El sistema de sensor híbrido incluye un módulo para detectar la temperatura de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se utiliza un sensor LM35 con una precisión de $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta información es utilizada por el microcontrolador para controlar la velocidad del ventilador de enfriamiento.

3.3.6 PCB del sistema de sensado híbrido (Printed Circuit Board)

Para el desarrollo del sistema electrónico se elaboró una tarjeta de control del sistema híbrido de sensado, que está conectada por cable USB al computador administrador, en el cual tendrá el software para procesamiento de imagen y que se comunicará con el controlador del Robot Industrial. En la Figura 27, se puede observar parte del diseño de la tarjeta (esquemático y PCB), y su ensamble del sistema híbrido de sensado.

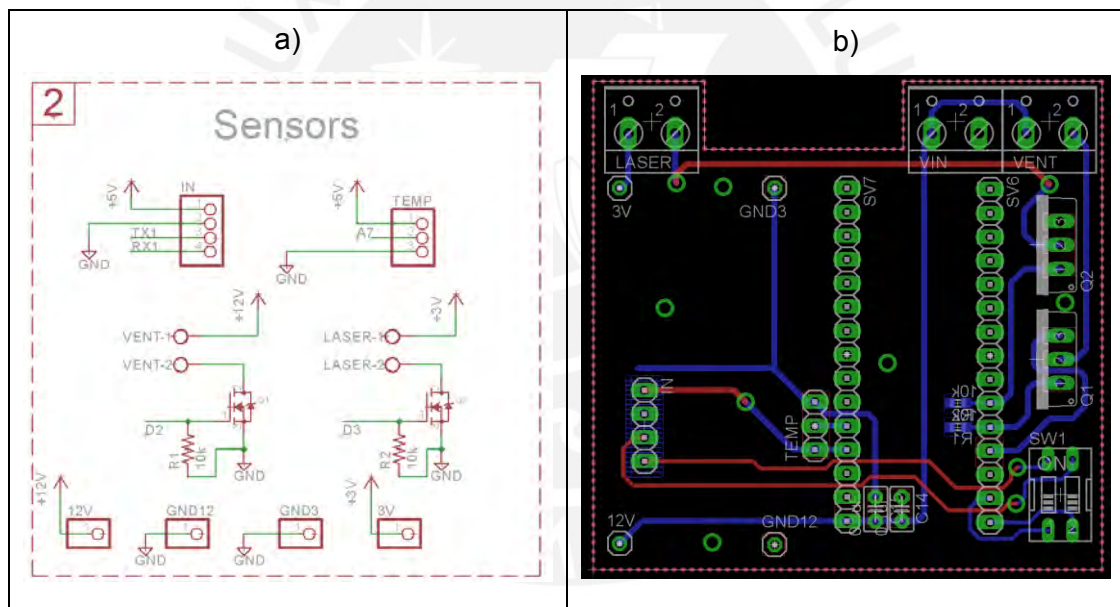


Figura 27: Diseño de electrónica de sistema híbrido de sensado: diagrama electrónico (a), tarjeta PCB (b)

La presentación del PCB (tarjeta de circuito impreso) se muestra en la Figura 28, en donde se observa la tarjeta controladora y demás componentes electrónicos explicados anteriormente. La tarjeta es modular, por lo que es de fácil y de rápido reemplazo de componentes en caso que alguno no funcione de manera adecuada. La inspección de soldadura se puede realizar desde el software, a través de la comunicación y/o control con el sistema híbrido de sensado.

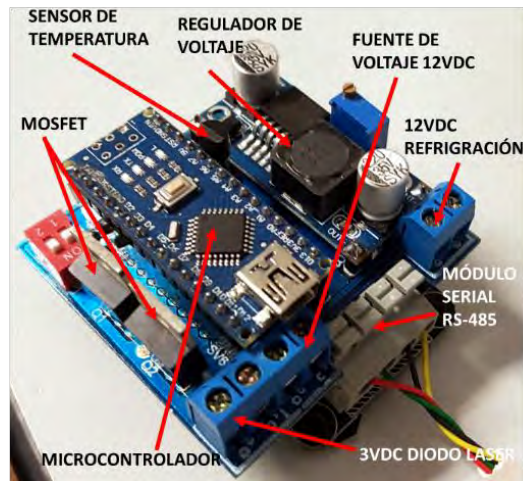


Figura 28: Ensamble de tarjeta electrónica

3.4 Diseño de plataforma de software del sistema

La interfaz del software permitió obtener indicadores de las dimensiones del cordón de soldadura y la desviación de la antorcha de soldadura, que se describe en una interfaz gráfica de usuario (GUI), presentada en la Figura 29, en donde el operario lo utiliza para monitorear y controlar el proceso de soldadura. El programa se ejecuta en la computadora con sistema operativo Windows, a partir de la versión Win7. El programa fue desarrollado en Visual Studio C++ y establece la comunicación con el sistema de sensado por comunicación serial RS485 a 9600 bps.

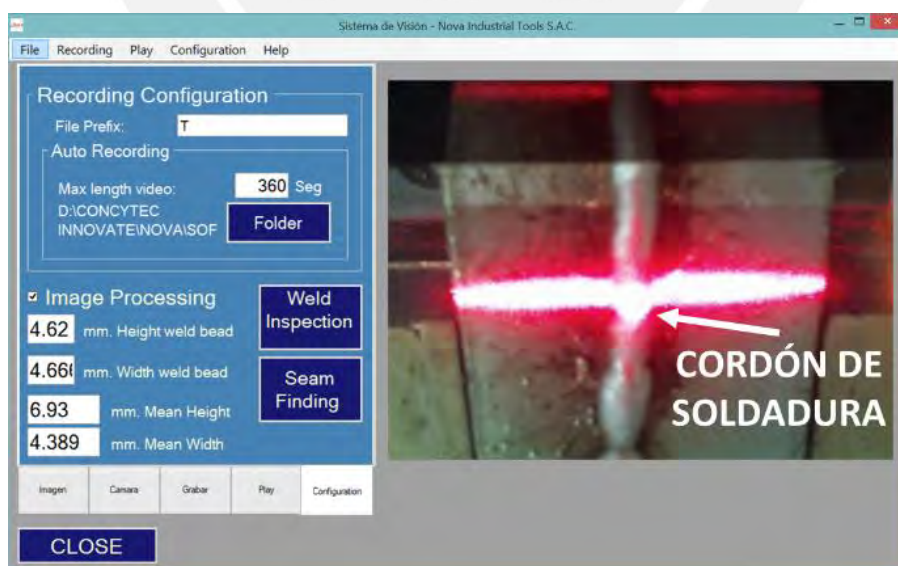


Figura 29: Interfaz gráfica de usuario

La GUI contiene elementos gráficos y funcionales de interacción que se integran para proporcionar una experiencia cómoda para el usuario en términos de usabilidad y facilidad de uso. La interfaz tiene un panel de opciones, cada una de ellas con una función específica, en algunos casos, están relacionadas entre sí en una estructura jerárquica. La arquitectura de la GUI presenta cinco paneles: imagen, cámara, grabación, reproducción y configuración de control, que permite configurar la imagen de la cámara para el procesamiento e interacción con el sistema híbrido de sensado. El panel tiene botones de opción para desplazarse por los paneles que se activan cuando el usuario hace clic en el botón correspondiente, ver Figura 30. La configuración de control se divide en dos paneles: configuración de grabación y visualización de datos tales como las dimensiones de valores medios y máximos del cordón de soldadura (ancho y alto). La configuración de grabación permite modificar la carpeta y los prefijos de los videos para su almacenamiento. En la visualización de datos, el operador puede activar o desactivar la corrección de la antorcha de soldadura. Los cambios de configuración se actualizarán en tiempo real. Las opciones de control futuras se agregarán a la interfaz a medida que las actualizaciones de software estén disponibles.

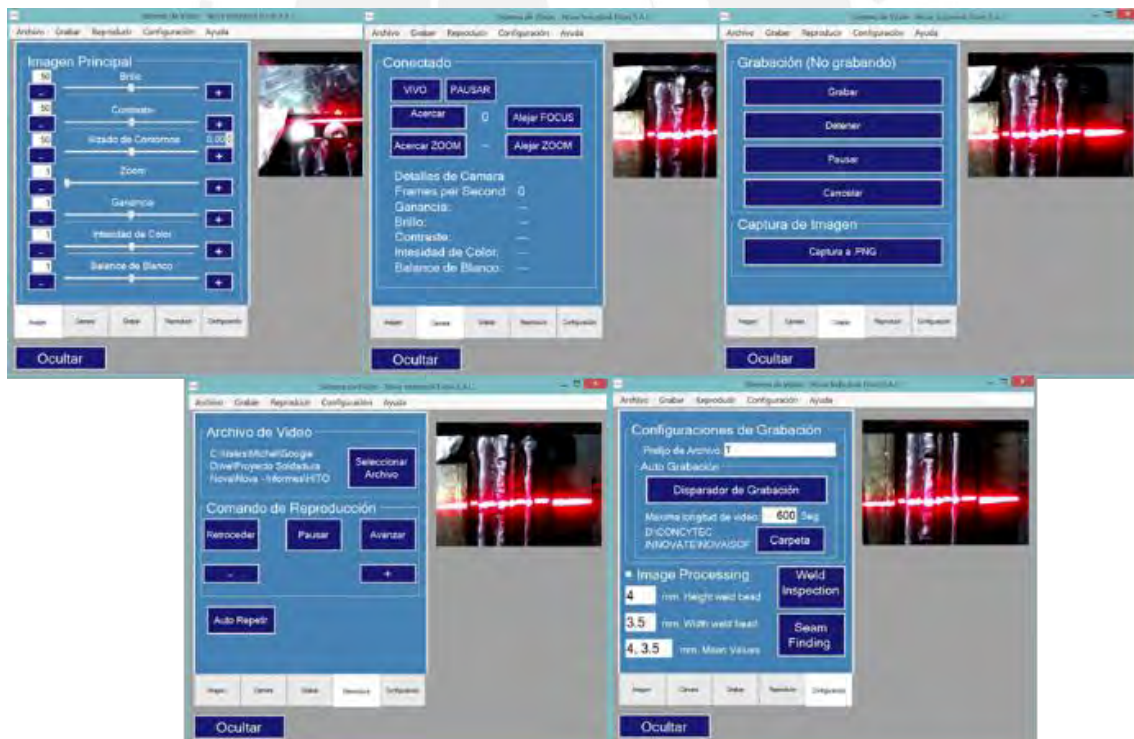


Figura 30: Panel de opciones de software del sistema

La GUI desarrollada permite el uso de librería de código abierto (*open-source*), como es el caso de OpenCV, que permite de manera rápida procesar imágenes. La elección de

la librería se determinó por una publicación que menciona el bajo costo computacional y alta velocidad en procesamiento de imagen (Matuska, Hudec and Benco 2012).

3.5 Diseño de sistema de control

Para el sistema de control, en la Figura 31 se presenta el diagrama de bloques del sistema integrado desarrollado (sensor, robot, fuente de soldadura). Se cuenta con bloque de sistema de protección de operario, entorno, adquisición de datos (sistema híbrido de sensado), fuente de soldadura, robot industrial y controlador principal. En el control se cuenta con un algoritmo de procesamiento de imágenes obtenidas por la cámara, a través de este análisis que debe tener un ratio de 20 a 30 *Frame-Per-Second* (FPS) (Liu et al. 2015), donde del estado del arte se muestra que existen algoritmos que pueden llegar a procesar información compartida con el controlador del robot en un tiempo flexible de 1ms a 100ms (Bischoff et al. 2016), la información calculada será enviada al robot a fin de retroalimentar su recorrido de trayectoria, a fin de corregir la posición final de la antorcha de soldadura.

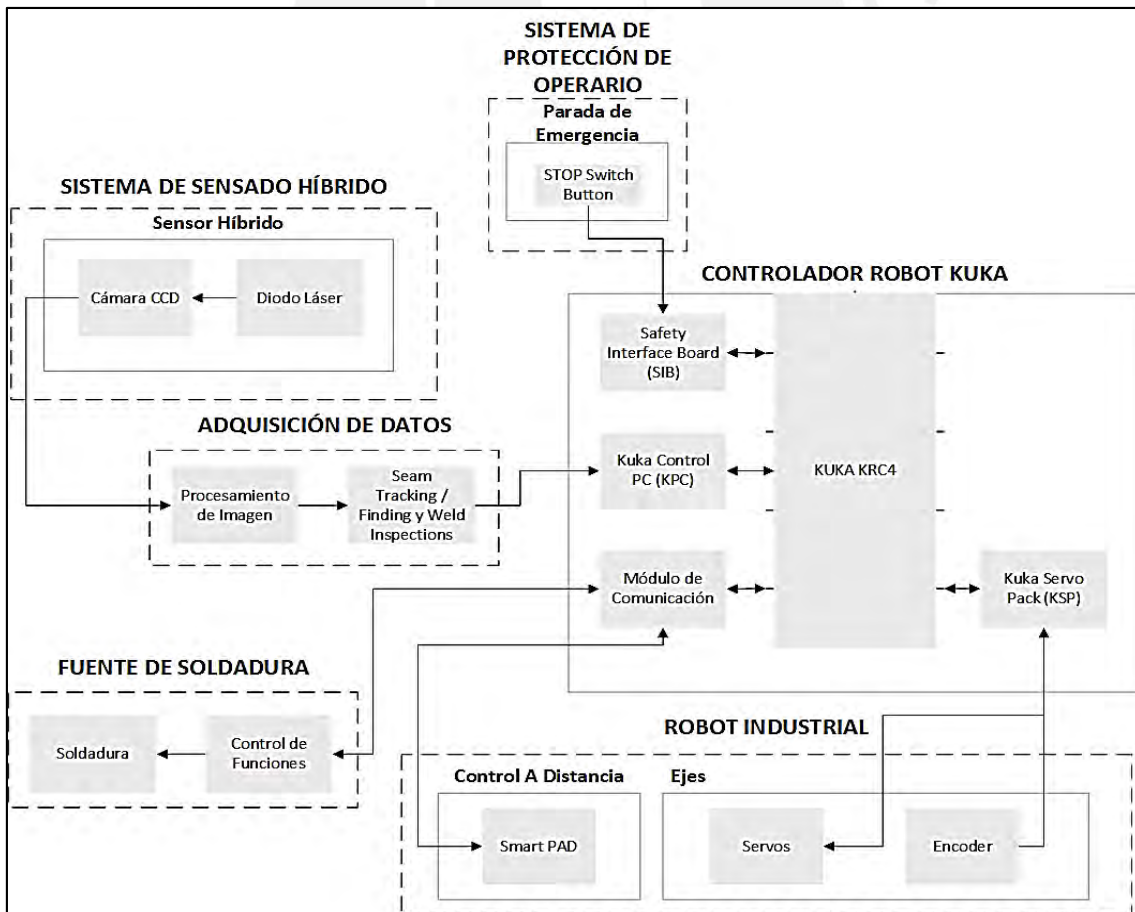


Figura 31: Diagrama de bloques de sistema integrado

Durante el proceso se ejecutará el algoritmo que permite extraer características de la junta de soldadura como se muestra en la Figura 32. El algoritmo permitirá extraer el contorno de los elementos que se requiere clasificar, mediante el uso de algoritmos para la detección de contornos y operaciones matemáticas para reducir el ruido como es la erosión y dilatación (Ye et al. 2013). La imagen capturada es procesada a través de algoritmos para segmentación de los contornos que luego son clasificados a través de un nivel, y que finalmente el ruido es filtrado por operación de erosión y dilatación (Wei et al. 2010). A continuación, se engloba el área de interés para luego establecer un algoritmo para conocer el borde clasificado, y luego de filtrar algún ruido se obtiene el contorno de la junta de soldadura sobre la imagen capturada.

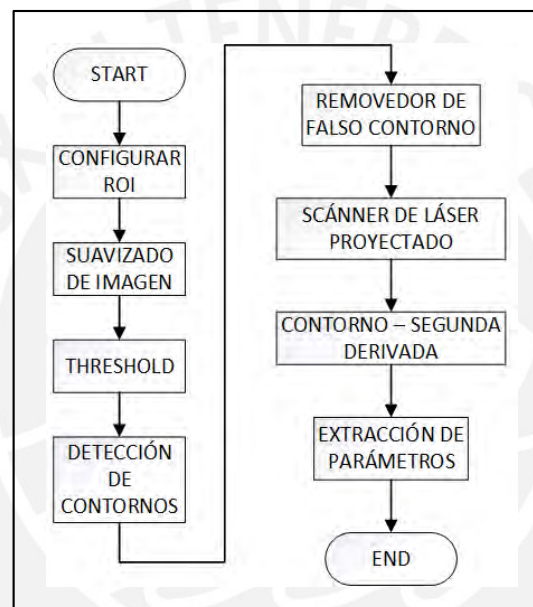


Figura 32: Procesamiento de imagen por etapas

Asimismo, se podrá determinar el error obtenido al sumar la corrección en la trayectoria de la antorcha en movimiento, como así también su desviación a través de una calibración y corrección de distancia recorrida por pixeles analizados (Xu, Yanling et al. 2012) (Xu et al. 2015). El modelamiento del proceso de soldadura será un problema a solucionar ya que no se consideran los diferentes escenarios en las cuales el algoritmo de procesamiento de imagen puede estar sometido como es el brillo o reflexión del material, salpicaduras u otros efectos producto del arco eléctrico (Sun et al. 2016).

Por lo que a fin de obtener modelos deseados y ensayos aceptables se harán uso de estudios publicados en las cuales gran parte de estos se determinaron por experimentación. En ese sentido se determinaran los primeros modelos en cordones de

soldadura larga sin apuntalamiento, de 300 mm hasta más de 1000 mm, con junta a tope sin preparación de bordes y con junta tipo “V”

La restricción será otorgada por el apriete generado del uso de un banco para las pruebas de soldadura. La extracción de los puntos característicos de una junta en el algoritmo de control permitirá establecer un modelo para el seguimiento de juntas (Nayak and Ray 1993). La preparación de los cupones de soldadura se realizará en dos tipos de junta a tope: sin preparación de bordes y con junta tipo “V”, ver Figura 33, y que luego se caracterizará las propiedades geométricas del cordón con una separación de 1 mm hasta 4 mm (Zhai et al. 2016).

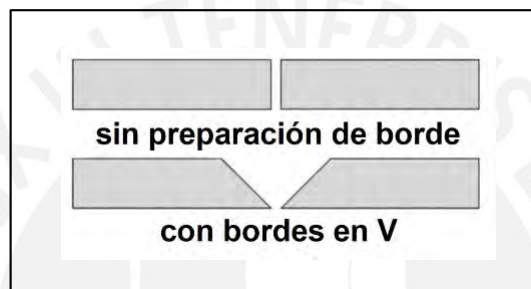


Figura 33: Diseño de junta a tope, superior: sin preparación, inferior: con preparación tipo "V"

4. Ensayos preliminares y discusión

Se realizaron los ensayos preliminares en donde los parámetros de soldadura empleados se muestran en la Tabla 4. El sistema híbrido de sensado consistió en una cámara digital, un diodo láser de estructura de línea y un microcontrolador integrado. La cámara se configura a 240x320 píxeles, lo que permite capturar imágenes en color. La longitud de onda del diodo láser lineal es de 650 nm y la potencia es de 1 mW. Los ensayos pueden brindar información importante para el adecuado cálculo del WPS (Especificación del Procedimiento de Soldadura) y al PQR (Registro de Calificación del Proceso), para las pruebas de soldadura. Se realizó un algoritmo con cuatro objetivos principales: 4.1) Obtener el contorno de la franja láser, 4.2) adquirir el análisis de geometría de cordón de soldadura, 4.3) adquirir el cordón de junta central para realizar la prueba de soldadura y 4.4) ajustar el control de movimiento del robot de acuerdo a la desviación del cordón de la junta central.

Tabla 4: Parámetros de experimento para A36 en GMAW

Parámetros	Valor
Material de Soldadura	A36
Tipo de unión de soldadura	Junta a tope sin preparación de bordes y con junta tipo "V"
Corriente y Voltaje	125 A y 18.5 V
Velocidad de Alimentación	5 m/min
Velocidad de Soldadura	0.2 m/min
Diámetro de Alambre	0.8 mm
Gas de Protección	80% Ar + 20% CO ₂
Flujo de Gas	16 L/m
Espesor	6.35 mm

4.1 Algoritmo de procesamiento de imagen

Con la imagen capturada por la cámara que tiene una dimensión de 240x320 píxeles, se busca hallar una región de interés o también llamado ROI que permita analizar parte de la imagen y de esta manera reducir el costo computacional y el tiempo de procesamiento. Con la ROI definida, y con el objetivo de mejorar la calidad de la imagen, se usa un conjunto de algoritmos. Un filtro medio con un tamaño de una máscara de 3x3 se usa para suavizar la imagen y eliminar el ruido para su procesamiento. Se selecciona el filtro de la media para eliminar el ruido, a pesar de que el filtro gaussiano elimina el ruido de manera efectiva, el filtro de la media muestra rayas láser despejadas con menos ruido (Wu et al. 2014), como se muestra en la Figura 34. Luego, la captura de la imagen se convierte en una escala de grises para capturar la línea láser proyectada en la junta. A continuación, se establece un umbral manual para realizar la conversión binaria. Para adelgazar el contorno de la franja láser, se emplea el uso de operaciones morfológicas como la dilatación y la erosión. Luego, de ubicar el contorno, se filtra para eliminar la interferencia del arco de luz en este estudio como se muestra en la ecuación (1).



Figura 34: (a) Imagen original, (b) imagen luego de filtro medio

$$A_i > A = \begin{cases} 1 = \text{Verdadero, \acute{a}rea si el contorno es parte del l\acute{a}ser} \\ 0 = \text{False, \acute{a}rea si el contorno es causado por ruido} \end{cases} \quad (1)$$

donde A es el tama\~no de \acute{a}rea m\~as peque\~no considerado como un contorno de banda de l\acute{a}ser normal, que es de 200 p\~ixelos cuadrados, y A_i es del tama\~no del \acute{a}rea i -\acute{e}sima. Al usar la ecuaci3n (2), se adquiere la franja contorno del l\acute{a}ser, usando una m\~ascara o ventana (*m\~ascara*) de un tama\~no de 3x3.

$$\begin{cases} f_{dilatada}(x,y) = f_{imagen}(x,y) \oplus \text{m\~ascara} \\ f_{erosionada}(x,y) = f_{dilatada}(x,y) \ominus \text{m\~ascara} \\ f_{salida}(x,y) = |f_{dilate}(x,y) - f_{imagen}(x,y)| \end{cases} \quad (2)$$

donde $f_{imagen}(x,y)$, $f_{dilatada}(x,y)$, $f_{erosionada}(x,y)$ y $f_{salida}(x,y)$ son las im\~agenes originales, dilatadas, erosionadas respectivamente, el resultado se muestra en la Figura 35.

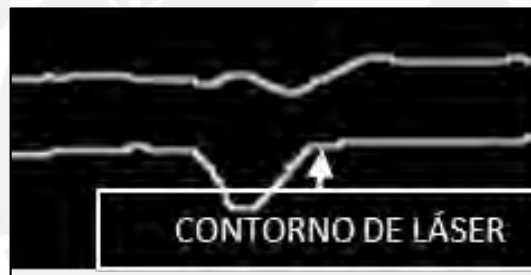


Figura 35: Imagen despu\~es de threshold de 0.8 y operaciones morfol3gicas

4.2 Algoritmo de inspecci3n de soldadura

Para la inspecci3n de la soldadura, los puntos de la franja l\acute{a}ser donde el valor de la columna cambia m\~as r\~apido representan el inicio y el final del ancho del cord3n de soldadura. Por ello, para encontrar las caracteristicas del cord3n de soldadura tales como la altura y el ancho, se implementa una ecuaci3n basada en el m\~etodo de la diferencia de segundo orden seg\~un lo propuesto por Jun-Di et al. (Sun et al. 2016). Con la ecuaci3n (3) se encuentra la ubicaci3n del cord3n de soldadura, donde $D(i)$ es la diferencia de segundo orden en la fila i -\acute{e}sima y el \~indice de columna de la i -\acute{e}sima fila, y dk es el rango de diferencia. El alto de la soldadura se obtiene a trav\~es de los valores m\~aximos en el \~indice de columna para la altura, y el ancho entre los valores m\~as altos de la diferencia de segundo orden para el ancho. La Figura 36 muestra el resultado luego de emplear el procedimiento de diagrama de flujo presentado en la Figura 32.

$$D(i) = \frac{C(i+dk)+C(i-dk)-2C}{2dk} \quad (3)$$



Figura 36: Imagen luego de detectar contorno de diodo láser proyectado

4.3 Algoritmo de seguimiento de junta

Para el seguimiento de la junta, el objetivo es ubicar la unión entre los materiales de base a soldar. En la Figura 37 se muestra en el lado izquierdo de la imagen (a), el haz láser proyectado en las piezas a unir; en el lado derecho de la imagen (b), se halla la imagen en escala de grises. De acuerdo con el diagrama de flujo, la detección de bordes se realiza para obtener el límite inferior del contorno del haz láser. Mientras, se aplica la diferencia de segundo orden para obtener la ubicación del centro de la junta. Los resultados se muestran en la Figura 38, en donde se ubica la unión en el pixel 49 de izquierda a derecha desde un ancho total (ROI) de 120 píxeles. Por lo que, es necesaria la corrección de 11 píxeles equivalentes a 1.98 mm para centrar finalmente la imagen. Esto se obtiene con una tensión analógica de 423.1 mV durante un período de tiempo de 12 ms.

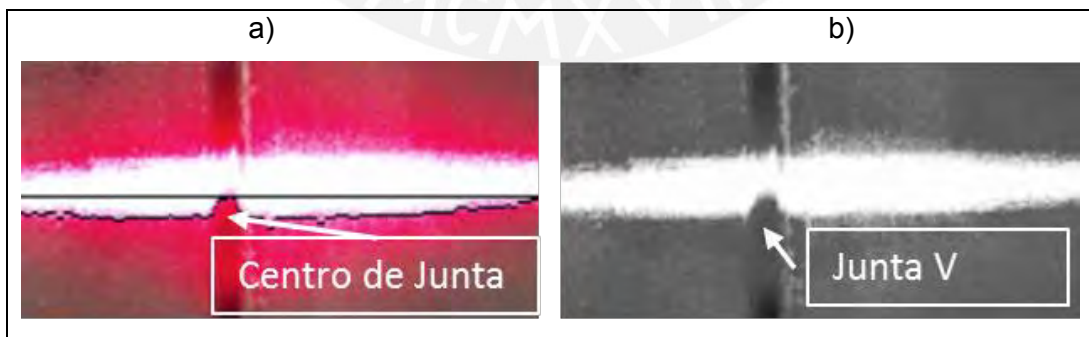


Figura 37: (a) Imagen original con el contorno dibujado, (b) imagen luego de filtro medio

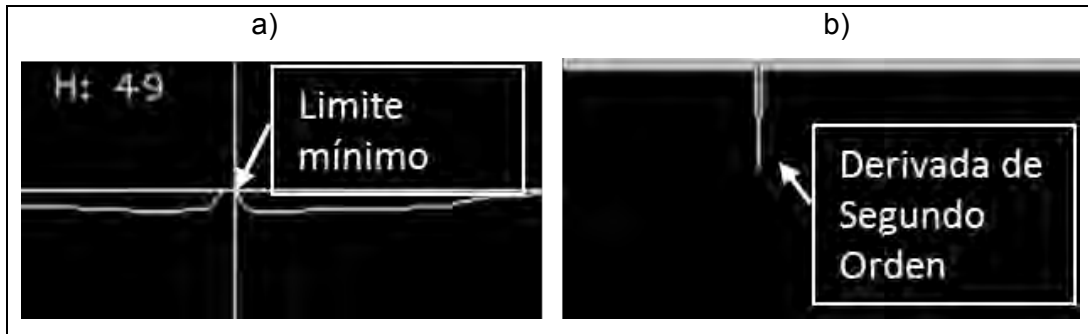


Figura 38: (a) Ubicación de centro de junta usando contorno, (b) derivada de segundo orden

4.4 Integración de algoritmo de control de trayectoria con robot industrial

Por medio del software desarrollado se establecerá la comunicación del sistema operativo del robot con el RSI (Robot Server Interface), *plugin* del controlador del robot industrial, ver Figura 39. Actualmente se han desarrollado herramientas de control y comunicación con equipamiento industrial como es el KCT ToolBox para Matlab, que hace uso de cinemática inversa para luego enviar al controlador del robot para movimientos en X,Y,Z,A,B,C (Chinello et al. 2010); en la misma manera que el JOpenShowVar que está basada en lenguaje de programación en Java. En ambas herramientas de control se realiza a través de un protocolo de comunicación Profinet (Sanfilippo et al. 2015). Sin embargo, la actualización en hardware y software de los equipos robótico deja limitada las herramientas mencionadas, por lo que una mejora se presenta con el KUKA-KRL-ToolBox que migra de una comunicación RS232 a una red Profinet, y soporta actualizaciones de software como el actual controlador del robot, KUKA KRC4 con el sistema operativo KUKA Software v8.3 (Elshatarat et al. 2015).

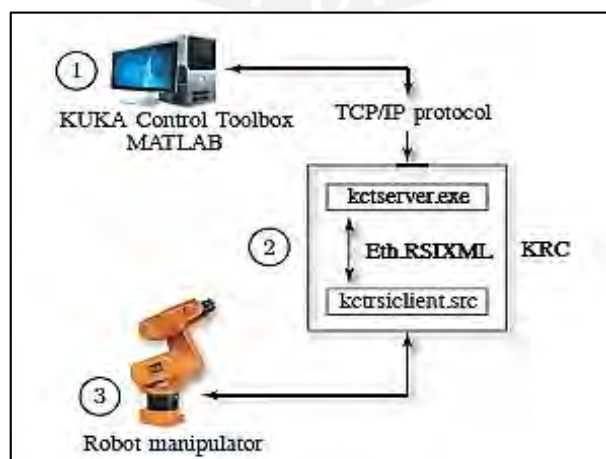


Figura 39: Esquema de comunicación entre toolbox y robot industrial, Fuente: KCT: a MATLAB toolbox

La comunicación se ejecuta a través de un archivo que contenga un lenguaje universal que el controlador del robot industrial pueda entender sin ningún problema. La creación del archivo XML (*Extensible Machine Language*) establece comunicación entre el sistema híbrido de sensado y el controlador del robot industrial [20] y permite tener acceso a la cinemática del robot para modificar la matriz de posiciones a través de una interpolación de puntos que sumado a la desviación capturada por la imagen permitirá actualizar la trayectoria [22]. El controlador del robot industrial interactúa con el sistema de sensor híbrido en tiempo real a través de una señal analógica para la corrección cartesiana en movimiento. La señal se transfiere a través de un Módulo de entrada de la marca Beckhoff conectado por un bus de campo EtherCAT al Controlador KUKA. De acuerdo con Elshatarat et al (Elshatarat et al. 2015), la entrada analógica se procesa utilizando el paquete RSI para el intercambio de datos a través del sistema de E/S, ver Figura 40. La señal analógica se normaliza de 0-5 V a 0.0-1.0 mm. La entrada analógica debe leerse dentro de la velocidad de ciclo del robot a 83 Hz (12 ms). Los resultados se muestran en la Figura 41.

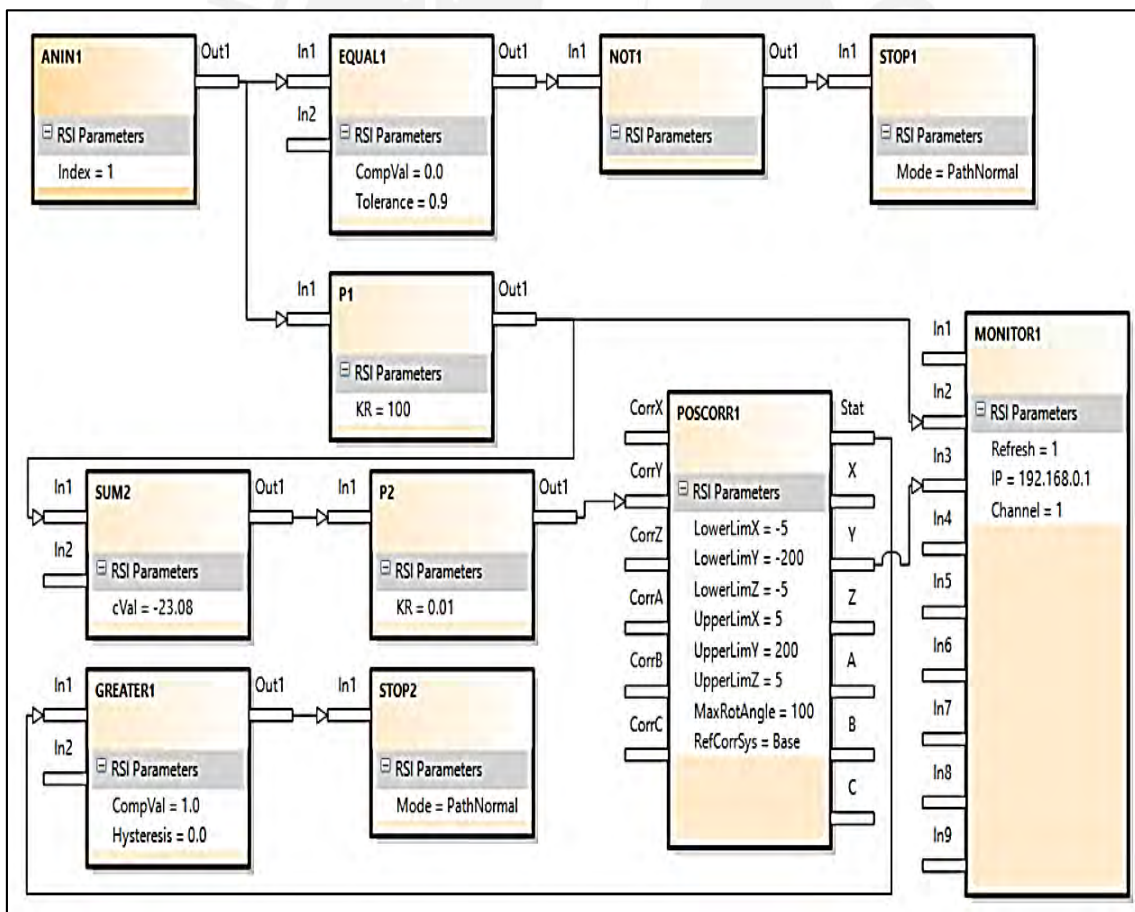


Figura 40: Diagrama de flujo de corrección cartesiana vía señal analógica

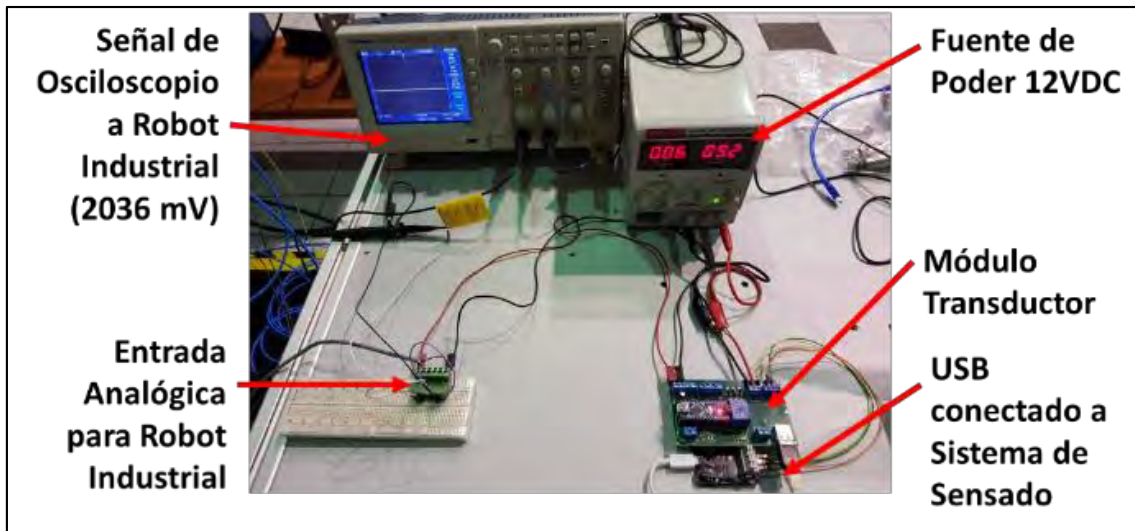



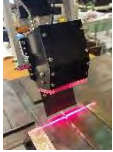


Figura 41: Pruebas de laboratorio de control de movimiento de robot industrial

4.5 Implementación de la celda de trabajo para soldadura automatizada

Se realizó una tabla comparativa de los sensores comerciales con mayor aceptación en el mercado, y con ella se resaltó algunas características en la Tabla 5. La tabla permitió la comparar las características de cada una de ellas, de esta manera permitió proponer el sistema de sensor híbrido de sensado presentado en la Figura 42, que se dividió en tres secciones: requisitos, diseño mecánico, electrónico y de control, los que fueron diseñados y desarrollados y permitió el alcance de un sensor con una resolución de hasta 0.23 mm y unas dimensiones similares a los sensores del mercado internacional.

Tabla 5: Comparativa de sensores industriales para seguimiento de juntas

	ServoRobot 	Micro-Epsilon 	MetaVision Systems 	PUCP – NOVA 
MODELO	POWER-SCAN	scanControl 2610	Smart Laser Pilot SLS	Laser-Sensor
Peso	0.5 kg	1 kg	1 kg	1 kg
Temperatura de Operación	5-40°C	5-40°C	5-40°C	5-40°C
Aplicado en	GMAW	GMAW	MIG TIG Plasma	GMAW
Interfaz	Ethernet, TCP / IP, MODBUS, TCP	FireWire o interfaces Ethernet standard	Ethernet and Analógico / Digital interfaz a controladores de robot	Serial RS485 and Analógica / Digital interfaz a controladores de robot

Comparativa de sensores industriales para seguimiento de juntas (continuación)

	ServoRobot 	Micro-Epsilon 	MetaVision Systems 	PUCP – NOVA 
MODELO	POWER-SCAN	scanControl 2610	Smart Laser Pilot SLS	Laser-Sensor
Inspección de soldadura				
Dimensiones de Cordón	Ancho, Alto	Forma / Geometría	Ancho, Alto	Ancho, Alto
Inspecciona	Junta en T, a tope, filete	NO	Junta en T, filete	Junta en T, a tope, filete
Caja de sensor				
Dimensiones	70 mm	145 x 25 mm	50 mm	80 x 60 mm
Protección	Diseño de boquilla de flujo de aire presurizado para proteger la lente desechable contra el polvo y el humo	Diseño de boquilla de flujo de aire presurizado para proteger la lente desechable contra el polvo y el humo	Proteger contra interferencia eléctrica	Diseño de flujo de aire forzado para proteger el sensor y la cámara contra el polvo y el humo
Resolución	0.05 mm	2 µm	0.05 mm	0.23 mm
PRECIO \$				
Sensor	40,000.00	25,000.00	24,000.00	3,000.00

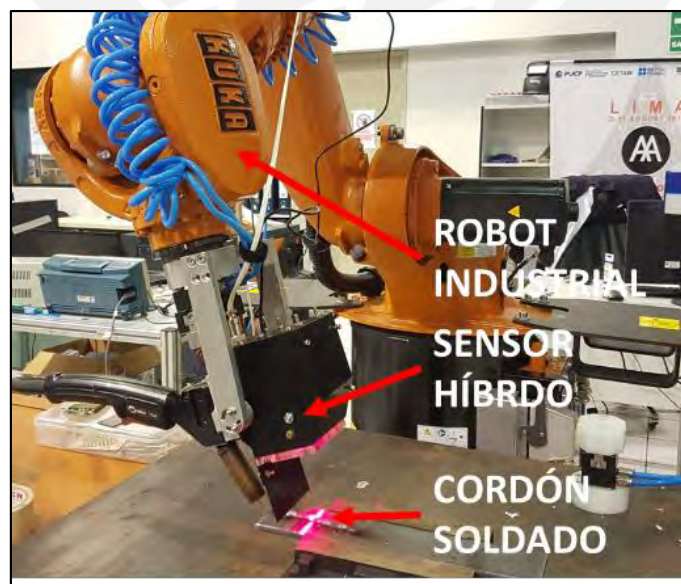


Figura 42: Diseño de sistema de sensado híbrido

4.6 Validación de secuencias de soldadura pre-programadas

El proceso de soldadura se validó con la ejecución de los programas desarrollados en el laboratorio de la PUCP. Las simulaciones se desarrollaron con un stick-out de electrodo de 15 mm respecto a la pieza a soldar, ver Figura 43.

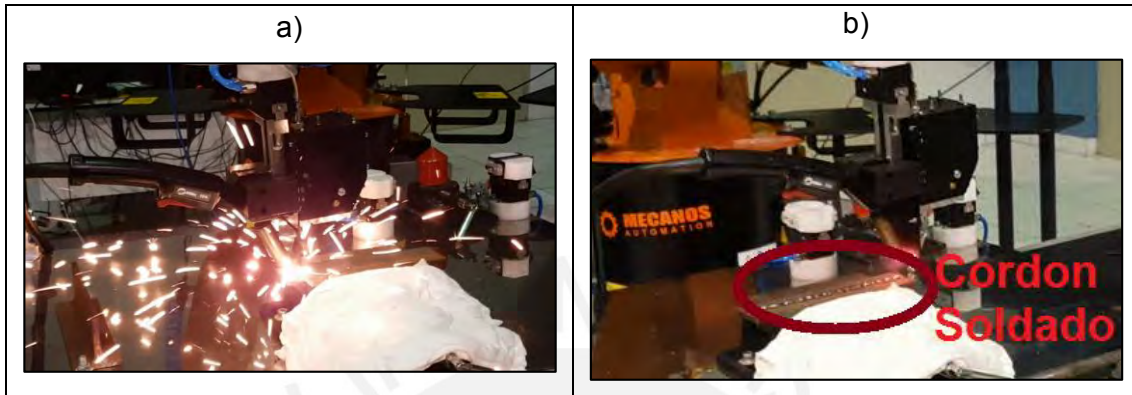


Figura 43: Validación de soldadura pre-programada, (a) durante la soldadura, (b) después de la soldadura

El software de control de sistema híbrido de sensado, ver Figura 44, cuyo hardware está integrado al robot industrial, se usará como medio de verificación para que el cordón de soldadura. El software permitió cumplir con los estándares de calidad y continuidad como es la sobremonta y el dimensionado de ancho y alto del cordón soldado.

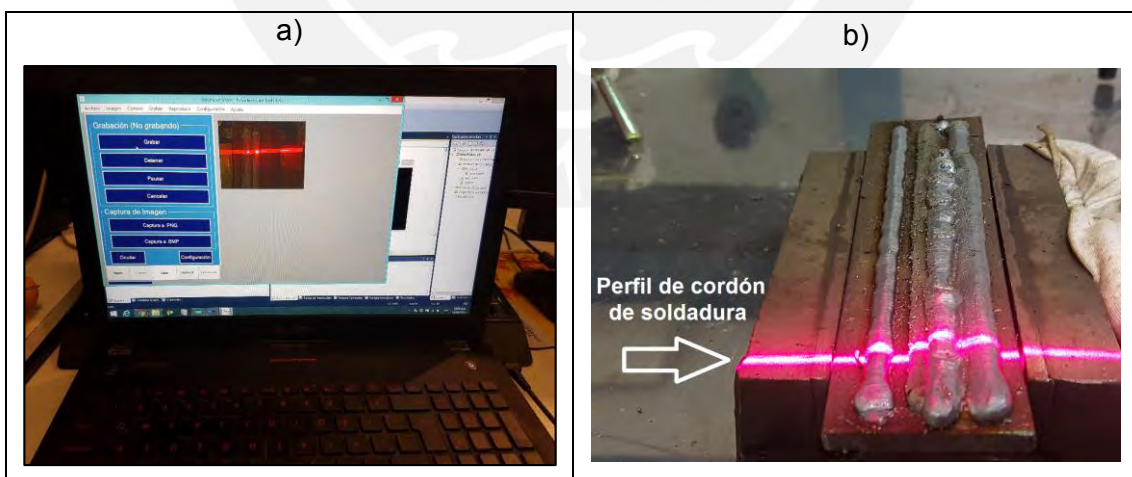


Figura 44: (a) Software de control y (b) perfil láser generado del cordón de soldadura del sistema de sensado híbrido

4.7 Resultados y discusión

En esta investigación y desarrollo, se instala un sistema de sensor híbrido para el seguimiento de junta e inspección de soldadura en un robot industrial de la marca KUKA. El rendimiento del sistema de detección se evalúa a través de los resultados de las características del cordón de soldadura, como sobremonta encontrando un error mínimo de 0.18 mm entre la distancia real y la distancia medida por el software, obtenida de 30 muestras. Para obtener una relación de píxeles de información en milímetros, se hace uso de un factor, que se traduce en la relación existente entre la distancia real capturada por la imagen de la cámara en milímetros y el ancho de la imagen analizada en píxeles. Por lo que el procesamiento de la imagen tiene una resolución mínima de 0.18 mm/píxel.

De las 30 muestras procesadas en la Tabla 6: se puede observar que mediante el análisis de los valores máximos del perfil del cordón soldado y de la segunda derivada, ver Figura 45 y Figura 46 se obtienen los valores de ancho y alto en píxeles, haciendo uso del factor de 0.18 mm/píxel se obtiene el ancho y alto del cordón en milímetros.

Tabla 6: Resultados de inspección visual

0.18 pixel/mm	Píxeles		Milímetros	
	Ancho	Alto	Ancho	Alto
Muestras				
1	34	25	6.48	4.5
2	36	24	6.3	4.32
3	35	24	6.12	4.32
4	35	27	6.48	4.86
5	34	27	6.66	4.86
6	33	25	6.3	4.5
7	33	26	6.48	4.68
8	36	26	6.66	4.68
9	34	26	6.48	4.68
10	34	26	6.3	4.68
11	33	26	6.48	4.68
12	34	24	6.48	4.32
13	35	25	6.66	4.5
14	34	27	5.94	4.86
15	35	25	6.3	4.5
16	35	25	6.12	4.5
17	33	25	6.66	4.5
18	35	25	5.94	4.5
19	33	26	6.48	4.68
20	36	27	6.12	4.86
21	34	26	6.3	4.68

Resultados de inspección visual (continuación)

0.18 pixel/mm	Píxeles		Milímetros	
Muestras	Ancho	Alto	Ancho	Alto
22	34	25	6.12	4.5
23	35	26	6.12	4.68
24	36	27	6.12	4.86
25	35	24	6.48	4.32
26	34	26	6.3	4.68
27	36	27	6.66	4.86
28	36	26	6.12	4.68
29	36	27	6.48	4.86
30	34	26	5.94	4.68

En la Tabla 7 se observa el valor promedio de los datos obtenidos en donde se tiene un promedio de 6.22 mm y 4.62 mm para el ancho y alto respectivamente con una desviación estándar de 0.1 mm, por lo que puede considerarse que existe una diferencia entre los datos y su promedio en 0.18 mm.

Tabla 7: Promedio y desviación de inspección visual

	Ancho (pixel)	Alto (pixel)	Ancho (mm)	Alto (mm)
Promedio	34.567	25.700	6.222	4.626
Desviación	1.040	0.988	0.187	0.178

En el control de seguimiento de junta, de las secuencias analizadas en la Tabla 8 se puede observar que se detecta una desviación del perfil mostrado en la Figura 47 mediante el uso de la segunda derivada, ver Figura 48, y que es traducida a una señal analógica, y que posteriormente se refleja en la corrección mínima y máxima del robot industrial. En la Figura 49, Figura 50 y Figura 51 se puede visualizar la desviación de la antorcha de soldadura, la señal analógica de control y la corrección cartesiana del robot industrial.

Tabla 8: Resultado de seguimiento de junta

0.18 pixel/m m	Píxeles		Milímetros		Seguimiento de junta		
	Muestra	Junta	Desviación	Sentido	Milímetros	Voltaje (mV)	Corrección (mm)
	1	66	6	DERECHA	1.08	4344.000	0.231
	2	66	6	DERECHA	1.08	4344.000	0.231
	3	65	5	DERECHA	0.9	4385.200	0.235
	4	65	5	DERECHA	0.9	4385.200	0.235
	5	64	4	DERECHA	0.72	3969.760	0.193
	6	63	3	DERECHA	0.54	3554.320	0.152
	7	62	2	DERECHA	0.36	3138.880	0.110
	8	61	1	DERECHA	0.18	2723.440	0.069
	9	60	0	IZQUIERDA	0	2308.000	-0.050
	10	61	1	DERECHA	0.18	2723.440	0.069
	11	62	2	DERECHA	0.36	3138.880	0.110
	12	61	1	DERECHA	0.18	2723.440	0.069
	13	60	0	IZQUIERDA	0	2308.000	-0.050
	14	59	-1	IZQUIERDA	-0.18	1892.560	-0.050
	15	58	-2	IZQUIERDA	-0.36	1477.120	-0.050
	16	57	-3	IZQUIERDA	-0.54	1061.680	-0.050
	17	58	-2	IZQUIERDA	-0.36	1477.120	-0.050
	18	59	-1	IZQUIERDA	-0.18	1892.560	-0.050
	19	60	0	IZQUIERDA	0	2308.000	-0.050
	20	61	1	DERECHA	0.18	2723.440	0.069
	21	62	2	DERECHA	0.36	3138.880	0.110
	22	61	1	DERECHA	0.18	2723.440	0.069
	23	60	0	IZQUIERDA	0	2308.000	-0.050
	24	60	0	IZQUIERDA	0	2308.000	-0.050
	25	59	-1	IZQUIERDA	-0.18	1892.560	-0.050
	26	58	-2	IZQUIERDA	-0.36	1477.120	-0.050
	27	59	-1	IZQUIERDA	-0.18	1892.560	-0.050
	28	60	0	IZQUIERDA	0	2308.000	-0.050
	29	61	1	DERECHA	0.18	2723.440	0.069
	30	62	2	DERECHA	0.36	3138.880	0.110

En la Tabla 9 se observa el valor promedio de la desviación de 0.18 mm, en donde el sistema de seguimiento de la junta obtiene una corrección cartesiana mínima de 0.05 mm y un máximo de 0.23 mm. El sistema de coordenadas de referencia es el sistema de coordenadas de la base, que se calibra antes de los ensayos.

Tabla 9: Promedio y desviación de seguimiento de junta

	Junta (pixel)	Desviación (pixel)	Milímetros	Corrección (mm)	
Promedio	61	1	0.18	Mínimo	0.050
Desviación	2.378	2.378	0.428	Máximo	0.231



Figura 45: Perfil de cordón soldado



Figura 46: Diferencia de segundo orden de perfil de cordón soldado (segunda derivada)



Figura 47: Perfil de junta a tope con preparación tipo V



Figura 48: Diferencia de segundo orden (segunda derivada)

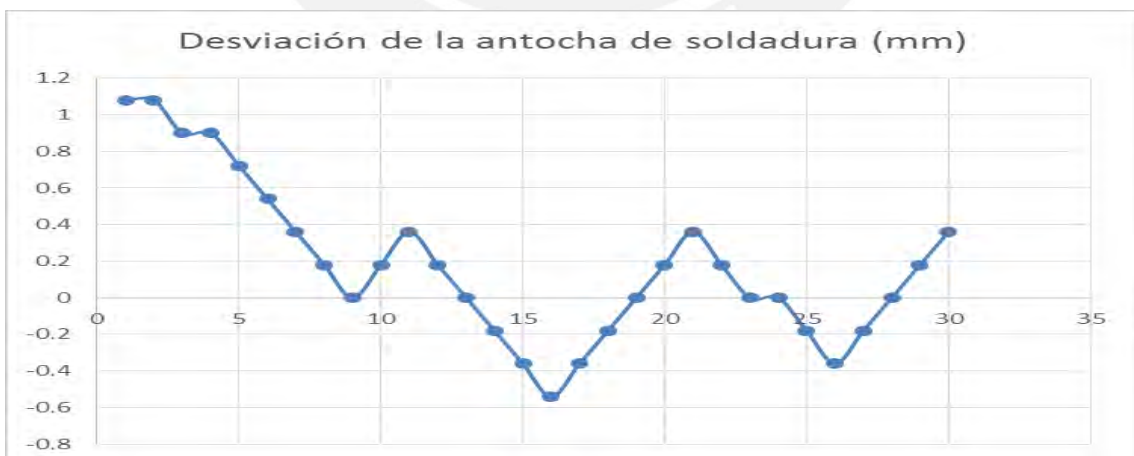


Figura 49: Desviación de antorcha de soldadura (mm)

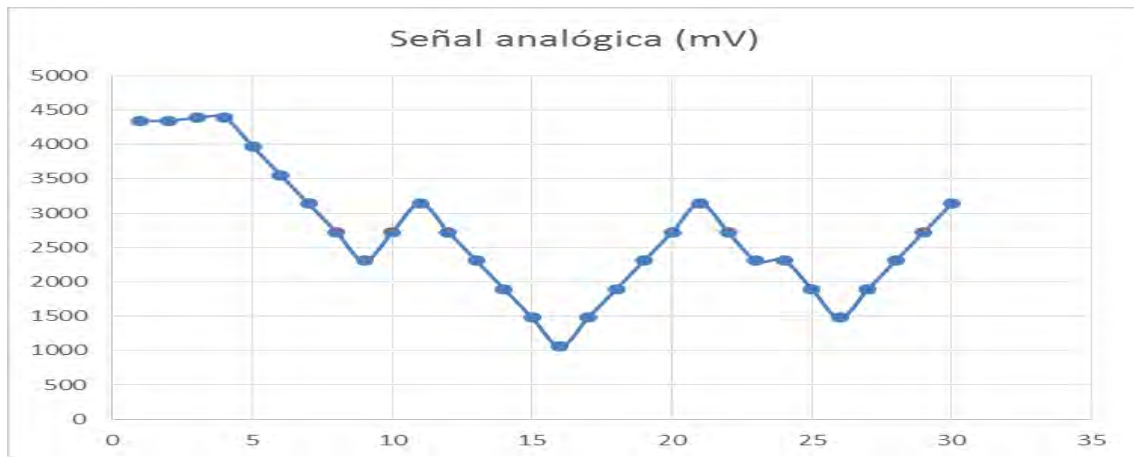


Figura 50: Señal analógica relacionada a la desviación de la antorcha de soldadura (mV)

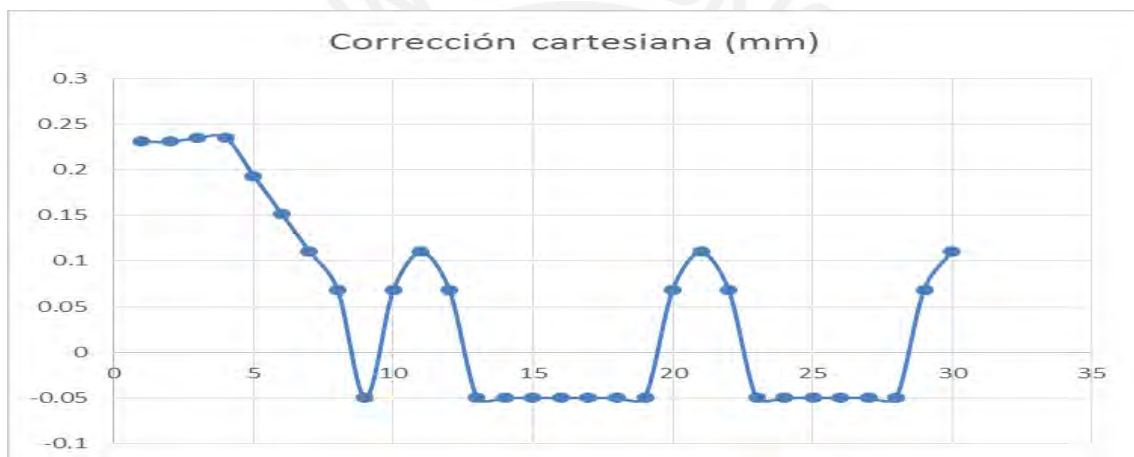


Figura 51: Corrección cartesiana del robot industrial (mm)

De los resultados se puede resumir el alcance del sistema híbrido de sensado en la Tabla 10, que indica la flexibilidad del sistema para desarrollarse y escalarse a un proceso industrial. Asimismo, se demostró que la inspección de soldadura con el sistema de sensor híbrido propuesto puede lograr una inspección adecuada para la mayoría de las aplicaciones de soldadura, donde se permite un margen de error no mayor a 1.0 mm de acuerdo con los “criterios de aceptación de inspección visual de AWS D1.1”. La velocidad de procesamiento de imagen del sistema de sensor híbrido está dentro de la tasa de ciclo (12ms) para el algoritmo de seguimiento de junta. Con respecto a la funcionalidad del sistema híbrido de sensado, el hardware y el software podrían considerarse para la integración con varios sistemas de soldadura mecanizados y automatizados. Por otro lado, según lo propuesto por Jinchao et al. (Liu et al. 2015),

se recomendaría el uso de un filtro de paso de banda estrecha para disminuir la intensidad de la luz en trabajos futuros.

Tabla 10: Costos y características de sistema de sensado híbrido en este estudio

Precisión de Sensor Híbrido	Características de Comunicación	Velocidad de Adquisición
Precisión de Robot Industrial 0.18 mm/pixel 0.05 a 0.23 mm	RS485 hasta 1000 m Cámara hasta 5 m	Hasta 18 fps

El costo general del sistema híbrido de sensado sólo incluye el hardware y software, se presenta un detalle del presupuesto que involucraría el desarrollo en la Tabla 11. Por lo que para la fabricación, demás pruebas, el ajuste a las máquinas del cliente, los gastos generales, las ventas y la garantía, el costo total aumentará probablemente acercando a sistemas existentes de alto costo.

Tabla 11: Presupuesto preliminar de trabajo de investigación

Descripción	Cantidad	Monto (Soles)
Mecánica y Electrónica		
Diodo Láser Linear	01	500.00
Filtro para Cámara	01	200.00
Cámara CCD	01	500.00
Acrílico protector de láser	01	200.00
Manufactura de Caja de Sensor (Aluminio)	01	1000.00
Servicio de Anodizado	01	800.00
Computadora (PC o Laptop)*	01	5,800.00
Total (S/.) (hardware y software)		9,000.00
Instrumentos para validación experimental		
Robot Industrial KUKA KR20-3*	01	200,000.00
Fuente de Soldadura Esab Aristo 5000iW*	01	90,000.00
Mesa Pedestal, de Soldadura, y Electrodo Carbofil PS-G6 1.0 mm*	01	11,300.00
Total Instrumentos para Validación (S/.)		371,300.00
Total (S/.)		376,180.00

*El Centro de Tecnologías Avanzadas de Manufactura otorgaría en calidad de préstamo los equipos en mención para el desarrollo del trabajo de investigación. **Fuente de Soldadura elegida por empresa para su implementación, costo variable en relación al tipo de tecnología a utilizar dentro del proceso de fusión MIG

Conclusiones

- Se validó el diseño del sistema híbrido de sensado para la manufactura de soldadura utilizando un robot industrial en un proceso de soldadura GMAW para la unión a tope con y sin preparación de junta en "V" de una plancha de metal con un espesor de 6.35 mm. Además se implementó un sensor híbrido de sensado que cuesta el 12.5% del precio del sensor más económico existente en el mercado actual, que cuenta con una precisión de 0.23 mm de corrección máxima relativa para seguimiento de juntas, mientras que para inspección visual se obtiene una precisión de 0.18 mm, que según los criterios de aceptación de inspección visual de la AWS D1.1., el valor se encuentra dentro del rango de aceptación.
- Se validó en el diseño mecánico del sensor el sistema de sensado durante un arco eléctrico de soldadura cuya protección permite al sistema funcionar bajo una protección IP30, hasta de partículas de 2.5 mm de diámetro.
- El sistema puede funcionar durante 24 horas sin interrupción desde temperaturas de 0 °C hasta 40 °C, siendo ésta última el nivel máximo que permite transmitir datos entre el sensor y la PC.
- El diseño electrónico del sensor se valida mediante un protocolo de comunicación que permite la transmisión de datos entre un sensor industrial y una PC hasta una distancia de 15 metros bajo conceptos básicos de comunicación serial.
- Se desarrolló en el diseño electrónico del sensor un módulo que interpreta la desviación de una antorcha de soldadura respecto a la junta a soldar con una señal analógica, que puede ser integrada no específicamente en un sistema robótico, sino también en sistemas mecánicos como vehículos de soldadura.
- El sistema posee componentes electrónicos que combinados con el uso de una cámara y un diodo láser permite realizar una correcta segmentación de la junta a soldar e inspeccionar.
- El algoritmo de control en el seguimiento de juntas contó con flujo de procesamiento de imágenes que mediante una fórmula matemática permita obtener valores para la ubicación de la junta a soldar, como también para la inspección visual.
- El algoritmo de control, durante las pruebas en tiempo real mostró un error mínimo de inspección dentro de +/- 0.18 mm en una junta a tope con y sin preparación tipo "V", y un máximo de 0.23 mm en la corrección cartesiana. Los resultados muestran que el rango de fluctuación del sistema de control se reduce, lo cual cumple con el requisito de tiempo real para inspecciones de soldadura, búsqueda de junta y seguimiento.

- La tecnología usada de un diodo láser para un sistema híbrido de sensado fortalece el software de control de calidad que considera el haz láser proyectado como un elemento a clasificar, y por ende a procesar.
- El uso de librería de código abierto en plataforma de software comerciales permite la fácil y rápida programación de procesamiento de imágenes, que permite el análisis de desviación de una antorcha de soldadura como también valores dimensionales como ancho y alto del cordón.
- Se identificó en la validación experimental que el sistema híbrido diseñado posee un alto grado de alcance para las industrias latinoamericanas; sin embargo, tener un ajuste del sistema a la máquina del cliente y otros gastos probablemente incrementa el costo total a los sistemas existentes en el mercado.
- El sistema tiene las características de una solución mecatrónica flexible y de fácil alcance para las industrias de soldadura donde los sensores de visión podrían proporcionar el servicio de control de calidad que necesitan establecer altos estándares para su proceso.
- Para que el sistema híbrido de sensado sea un dispositivo válido, la tecnología desarrollada debe alcanzar una integración con diversas estaciones de soldadura (marcas de robots, control de proceso, fuentes de soldadura y protocolos de comunicación).

Recomendaciones

- La investigación desarrolla un sistema mecatrónico con la capacidad de asistir al operador. Se recomienda tener el adecuado procedimiento de soldadura definido para cada pieza. De esta manera se tiene un control por cada componente y no se utiliza un procedimiento genérico.
- Se recomienda el empleo de un filtro de paso de banda centrado a $650 \text{ nm} \pm 50$ a 80 nm , en donde el espectro alcanzado durante la soldadura pueda llegar a valores de 100 nm a 600 nm ; por lo que en adición, el uso del filtro de densidad neutra estándar reduciría la luz del arco. Sin embargo, el uso de un filtro de densidad neutra reduciría la intensidad del haz láser capturado por la cámara, por lo que también podría atenuar el haz láser proyectado por el diodo.

- Se recomienda tener un área con una iluminación constante durante el uso del sistema híbrido de sensado para que la imagen a procesar tenga los mismos resultados durante la jornada de trabajo.
- Se recomienda también, considerar un filtro que disminuya el paso de la luz durante la soldadura, ya que la frecuencia de soldadura GMAW puede alterar el procesamiento de la imagen. Durante las pruebas del sensor, la cámara capturó interferencias que fueron atenuadas en cierto grado cambiando valores de la segmentación por color.



Referencias

- BISCHOFF, R., KURTH, J., SCHREIBER, G., KOEPPE, R., ALBU-SCHÄFFER, A., BEYER, A.-D., EIBERGER, O., HADDADIN, S., STEMMER, A., GRUNWALD, G. and HIRZINGER, G., 2016. The KUKA-DLR Lightweight Robot arm – a new reference platform for robotics research and manufacturing. [en línea], [Consulta: 26 June 2017]. Disponible en: http://www.best-of-robotics.org/pages/publications/KUKA_The_lightweight_Robot_Arm_ISR-Robotik2010_copyright.pdf.
- CHEN, S.B., 2007. On the Key Technologies of Intelligentized Welding Robot. *Robot. Weld., Intellige. & Automation LNCIS* [en línea], vol. 362, pp. 105–115. [Consulta: 27 June 2017]. Disponible en: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-540-73374-4_12.pdf.
- CHINELLO, F., SCHEGGI, S., MORBIDI, F. and PRATTICHIZZO, D., 2010. KCT: a MATLAB toolbox for motion control of KUKA robot manipulators. *2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation* [en línea]. S.l.: IEEE, pp. 4603–4608. [Consulta: 24 June 2017]. ISBN 978-1-4244-5038-1. DOI 10.1109/ROBOT.2010.5509415. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5509415/>.
- DING, D., SHEN, C., PAN, Z., CUIURI, D., LI, H., LARKIN, N. and VAN DUIN, S., 2016. Towards an automated robotic arc-welding-based additive manufacturing system from CAD to finished part. *Computer-Aided Design* [en línea], vol. 73, pp. 66–75. [Consulta: 25 June 2017]. ISSN 00104485. DOI 10.1016/j.cad.2015.12.003. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0010448515001748>.
- ELSHATARAT, H.L., BIESENBACH, R., YOUNUS, M.B. and TUTUNJI, T.A., 2015. MATLAB Toolbox implementation and interface for motion control of KUKA KR6-R900-SIXX robotic manipulator. *2015 16th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM)* [en línea]. S.l.: IEEE, pp. 12–15. [Consulta: 26 June 2017]. ISBN 978-3-9457-2801-7. DOI 10.1109/REM.2015.7380367. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7380367/>.
- FEI GAO, QINGLAN CHEN and LANZHONG GUO, 2015. Study on arc welding robot weld seam touch sensing location method for structural parts of hull. *2015 International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS)* [en línea]. S.l.: IEEE, pp. 42–46. [Consulta: 15 March 2018]. ISBN 978-1-4799-9892-0. DOI 10.1109/ICCAIS.2015.7338704. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7338704/>.
- Fronius International GmbH - Products - Arc welding. [en línea], 2017. [Consulta: 26 June 2017]. Disponible en: https://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-4775B727-FA39D6D0/fronius_international/hs.xsl/79_791_ENG_HTML.htm#.WVC5MOvhCpO.

- GODEFROID, L.B., FARIA, G.L., CÂNDIDO, L.C. and ARAUJO, S.C., 2014. Fatigue Failure of a Welded Automotive Component. *Procedia Materials Science* [en línea], vol. 3, pp. 1902–1907. [Consulta: 5 May 2017]. ISSN 22118128. DOI 10.1016/j.mspro.2014.06.307. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211812814003083>.
- HE, Y., ZHOU, H., WANG, J., WU, D. and CHEN, S., 2016. Weld seam profile extraction of T-joints based on orientation saliency for path planning and seam tracking. *2016 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO)* [en línea]. S.l.: IEEE, pp. 110–115. [Consulta: 14 March 2018]. ISBN 978-1-5090-4079-7. DOI 10.1109/ARSO.2016.7736266. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7736266/>.
- HERRERA, J.M., LASO, A., SALGADO, D.R., CAMBERO, I., MARCELO, A., GONZÁLEZ, A., SANZ-CALCEDO, J.G. and LÓPEZ, O., 2015. Definition of a Procedure for the Comparative Analysis of Different Welding Technologies. *Procedia Engineering* [en línea], vol. 132, pp. 709–715. [Consulta: 26 June 2017]. ISSN 18777058. DOI 10.1016/j.proeng.2015.12.551. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S187770581504463X>.
- High precision sensors, measurement devices and systems | Micro-Epsilon America. [en línea], 2017. [Consulta: 24 June 2017]. Disponible en: <http://www.micro-epsilon.com/>.
- Home | Metavision. [en línea], 2017. [Consulta: 24 June 2017]. Disponible en: <http://www.meta-mvs.com/>.
- HUANG, W. and KOVACEVIC, R., 2011. A laser-based vision system for weld quality inspection. *Sensors (Basel, Switzerland)* [en línea], vol. 11, no. 1, pp. 506–21. [Consulta: 26 June 2017]. ISSN 1424-8220. DOI 10.3390/s110100506. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22344308>.
- HUANG, Y., GAO, X., YOU, D. and LI, Z., 2012. Investigation of Laser Welding Seam Tracking Based on Visual Sensing. *2nd International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology*, pp. 1197–1200.
- JIA, J., ZHANG, H. and XIONG, Z., 2006. A Fuzzy Tracking Control System for Arc Welding Robot Based on Rotating Arc Sensor. *2006 IEEE International Conference on Information Acquisition* [en línea]. S.l.: IEEE, pp. 967–971. [Consulta: 15 March 2018]. ISBN 1-4244-0528-9. DOI 10.1109/ICIA.2006.305867. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4097800/>.
- KAH, P., SHRESTHA, M., HILTUNEN, E. and MARTIKAINEN, J., 2015. Robotic arc welding sensors and programming in industrial applications. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering* [en línea], vol. 10, no. 1, pp. 13. [Consulta: 27 June 2017]. ISSN 1823-0334. DOI 10.1186/s40712-015-0042-y. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1186/s40712-015-0042-y>.

- KIM, C.-H., CHOI, T.-Y., LEE, J.-J., SUH, J., PARK, K.-T. and KANG, H.-S., 2008. Development of Welding Profile Sensor and Its Application. *2008 International Conference on Smart Manufacturing Application* [en línea]. S.I.: IEEE, pp. 24–29. [Consulta: 15 March 2018]. ISBN 978-89-950038-8-6. DOI 10.1109/ICSMA.2008.4505606. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4505606>.
- LI, X., LI, X., GE, S.S., KHYAM, M.O. and LUO, C., 2017. Automatic Welding Seam Tracking and Identification. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* [en línea], vol. 64, no. 9, pp. 7261–7271. [Consulta: 14 March 2018]. ISSN 0278-0046. DOI 10.1109/TIE.2017.2694399. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7903643/>.
- LIBERINI, M., ASTARITA, A., CAMPATELLI, G., SCIPPA, A., MONTEVECCHI, F., VENTURINI, G., DURANTE, M., BOCCARUSSO, L., MINUTOLO, F.M.C. and SQUILLACE, A., 2017. Selection of Optimal Process Parameters for Wire Arc Additive Manufacturing. *Procedia CIRP* [en línea], vol. 62, pp. 470–474. [Consulta: 25 June 2017]. ISSN 22128271. DOI 10.1016/j.procir.2016.06.124. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827117301968>.
- LILING, Z., JIAJU, A., JIANXIONG, Y. and ZHANGQIANG, W., 2016. Application of ultrasonic and CCD dual sensor technology in the underwater welding seam tracking. *2016 IEEE Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference* [en línea]. S.I.: IEEE, pp. 901–904. [Consulta: 14 March 2018]. ISBN 978-1-4673-9194-8. DOI 10.1109/ITNEC.2016.7560492. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7560492/>.
- LIU, J., FAN, Z., OLSEN, S.I., CHRISTENSEN, K.H. and KRISTENSEN, J.K., 2015. A real-time passive vision system for robotic arc welding. *2015 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)* [en línea]. S.I.: IEEE, pp. 389–394. [Consulta: 27 June 2017]. ISBN 978-1-4673-8183-3. DOI 10.1109/CoASE.2015.7294109. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7294109/>.
- LÓPEZ APOSTOLOVICH, L.F., 2011. Modelación y simulación dinámica de un brazo robótico de 4 grados de libertad para tareas sobre un plano horizontal. *Pontificia Universidad Católica del Perú* [en línea], [Consulta: 12 July 2017]. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/377>.
- MATUSKA, S., HUDEC, R. and BENCO, M., 2012. The comparison of CPU time consumption for image processing algorithm in Matlab and OpenCV. *Proceedings of 9th International Conference, ELEKTRO 2012*, pp. 75–78. ISSN 9781467311793. DOI 10.1109/ELEKTRO.2012.6225575.
- MEHTA, S., PATEL, A. and MEHTA, J., 2015. CCD or CMOS Image sensor for photography. *2015 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP)* [en línea]. S.I.: IEEE, pp. 0291–0294. [Consulta: 27 June 2017]. ISBN 978-1-4799-8081-9. DOI 10.1109/ICCSP.2015.7322890. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7322890/>.

- MIN-GOO KANG, JOON-HONG KIM, YOUNG-JUN PARK and GAP-JOO WOO, 2007. Laser vision system for automatic seam tracking of stainless steel pipe welding machine (ICCAS 2007). *2007 International Conference on Control, Automation and Systems* [en línea]. S.I.: IEEE, pp. 1046–1051. [Consulta: 27 June 2017]. DOI 10.1109/ICCAS.2007.4407052. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4407052/>.
- MOSLEMI, N., REDZUAN, N., AHMAD, N. and HOR, T.N., 2015. Effect of Current on Characteristic for 316 Stainless Steel Welded Joint Including Microstructure and Mechanical Properties. *Procedia CIRP* [en línea], vol. 26, pp. 560–564. [Consulta: 2 July 2017]. ISSN 22128271. DOI 10.1016/j.procir.2015.01.010. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212827115000128>.
- NAGARAJAN, S., BANERJEE, P., CHEN, W. and CHIN, B.A., 1992. Control of the welding process using infrared sensors. *IEEE Transactions on Robotics and Automation* [en línea], vol. 8, no. 1, pp. 86–93. [Consulta: 27 June 2017]. ISSN 1042296X. DOI 10.1109/70.127242. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/127242/>.
- NAYAK, N.R. and RAY, A., 1993. Seam Tracking in an Unstructured Environment: A Case Study with Vee-Groove Joints. [en línea]. S.I.: s.n., pp. 84–130. [Consulta: 26 June 2017]. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4471-2045-2_5.
- NOMURA, H., SUGITANI, Y. and SUZUKI, Y., 1986. AUTOMATIC CONTROL OF ARC WELDING BY ARC SENSOR SYSTEM. *Nippon Kokan Technical Report Overseas (Japan)* [en línea], no. No.47. [Consulta: 10 July 2017]. Disponible en: <https://trid.trb.org/view/395435>.
- OGBEMHE, J. and MPOFU, K., 2015. Towards achieving a fully intelligent robotic arc welding: a review. *Industrial Robot: An International Journal* [en línea], vol. 42, no. 5, pp. 475–484. ISSN 0143-991X. DOI 10.1108/IR-03-2015-0053. Disponible en: <http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/IR-03-2015-0053>.
- Página web | KUKA AG. [en línea], 2017. [Consulta: 26 June 2017]. Disponible en: <https://www.kuka.com/#>.
- PAJUELO CÉSPEDES, J.E., 2011. Evaluación de los procesos de soldadura TIG con y sin material de aporte en planchas de acero estructural. *Pontificia Universidad Católica del Perú* [en línea], [Consulta: 10 July 2017]. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/579>.
- PEIQUN, X., XINHUA, T., FENGGUI, L. and SHUN, Y., 2007. An active vision sensing method for welded seams location using “circle–depth relation” algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [en línea], vol. 32, no. 9–10, pp. 918–926. [Consulta: 27 June 2017]. ISSN 0268-3768. DOI 10.1007/s00170-006-0410-0. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s00170-006-0410-0>.

- PIRES, J. NORBERTO, LOUREIRO, ALTINO, BÖLMSJO, G., 2006. Introduction and Overview. *Welding Robots* [en línea]. London: Springer-Verlag, pp. 1–25. [Consulta: 24 June 2017]. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/1-84628-191-1_1.
- REK, K., 2017. Numerical Analysis and Experimental Research on Deformation of Flat Made of TIG Welded 0H18N9 Steel. *Procedia Engineering* [en línea], vol. 177, pp. 182–187. [Consulta: 2 July 2017]. ISSN 18777058. DOI 10.1016/j.proeng.2017.02.217. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817307233>.
- SANFILIPPO, F., HATLEDAL, L.I., ZHANG, H., FAGO, M. and PETTERSEN, K.Y., 2015. Controlling Kuka Industrial Robots: Flexible Communication Interface JOpenShowVar. *IEEE Robotics & Automation Magazine* [en línea], vol. 22, no. 4, pp. 96–109. [Consulta: 25 June 2017]. ISSN 1070-9932. DOI 10.1109/MRA.2015.2482839. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7349325/>.
- Sensing equipment for robotic welding. [en línea], 2017. [Consulta: 4 July 2018]. Disponible en: <http://www.robotwelding.co.uk/sensing-equipment-for-robots.html>.
- SHI, F., LIN, T. and CHEN, S., 2009. Efficient weld seam detection for robotic welding based on local image processing. [en línea], [Consulta: 6 April 2017]. DOI 10.1108/01439910910950559. Disponible en: <http://search.proquest.com/docview/216993155/fulltextPDF/39849D91111F44B5PQ/18?accountid=28391>.
- Smart Laser Vision Systems for Smart Robots. [en línea], 2017. [Consulta: 24 June 2017]. Disponible en: <https://servo-robot.com/>.
- SOARES, L.B., WEIS, A.A., RODRIGUES, R.N., DREWS, P.L.J., GUTERRES, B., BOTELHO, S.S.C. and FILHO, N.D., 2017. Seam tracking and welding bead geometry analysis for autonomous welding robot. *2017 Latin American Robotics Symposium (LARS) and 2017 Brazilian Symposium on Robotics (SBR)* [en línea]. S.I.: IEEE, pp. 1–6. [Consulta: 15 March 2018]. ISBN 978-1-5386-0956-9. DOI 10.1109/SBR-LARS-R.2017.8215324. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8215324/>.
- Structural welding code - steel: AWS D1.1/D1.1m.*, 2015. S.I.: American Welding Society. ISBN 9780871718648.
- SUN, J.-D., CAO, G.-Z., HUANG, S.-D., CHEN, K. and YANG, J.-J., 2016. Welding seam detection and feature point extraction for robotic arc welding using laser-vision. *2016 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)* [en línea]. S.I.: IEEE, pp. 644–647. [Consulta: 27 June 2017]. ISBN 978-1-5090-0821-6. DOI 10.1109/URAI.2016.7625795. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7625795/>.

- TANG, Q., 2014. Localization and tracking control for mobile welding robot. *Industrial Robot: An International Journal* [en línea], vol. 41, no. 3, pp. 259–265. [Consulta: 6 April 2017]. ISSN 0143-991X. DOI 10.1108/IR-07-2013-377. Disponible en: <http://search.proquest.com/docview/1662765455/fulltextPDF/39849D91111F44B5PQ/15?accountid=28391>.
- WEI, S., KONG, M., LIN, T. and CHEN, S., 2010. Autonomous Seam Acquisition and Tracking for Robotic Welding Based on Passive Vision. [en línea], pp. 41–48. [Consulta: 12 July 2017]. Disponible en: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-19959-2_5.pdf.
- WEI, S., KONG, M., LIN, T. and CHEN, S., 2011. Three-dimensional weld seam tracking for robotic welding by composite sensing technology. [en línea], [Consulta: 6 April 2017]. DOI 10.1108/01439911111154072. Disponible en: <http://search.proquest.com/docview/883236636/fulltextPDF/39849D91111F44B5PQ/3?accountid=28391>.
- WU, Q.Q., LEE, J.P., PARK, M.H., JIN, B.J., KIM, D.H., PARK, C.K. and KIM, I.S., 2015. A study on the modified Hough algorithm for image processing in weld seam tracking. *Journal of Mechanical Science and Technology* [en línea], vol. 29, no. 11, pp. 4859–4865. [Consulta: 6 April 2017]. ISSN 1738-494X. DOI 10.1007/s12206-015-1033-x. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s12206-015-1033-x>.
- WU, Q.Q., LEE, J.P., PARK, M.H., PARK, C.K. and KIM, I.S., 2014. A study on development of optimal noise filter algorithm for laser vision system in GMA welding. *Procedia Engineering* [en línea], vol. 97, pp. 819–827. ISSN 18777058. DOI 10.1016/j.proeng.2014.12.356. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.356>.
- XIONG, Z., WAN, W. and PAN, J., 2011. Application of Fuzzy Edge Detection in Weld Seam Tracking System. [en línea], pp. 323–330. [Consulta: 27 June 2017]. Disponible en: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-19959-2_40.pdf.
- XU, D., FANG, Z., CHEN, H., YAN, Z. and TAN, M., 2012. Compact visual control system for aligning and tracking narrow butt seams with CO₂ gas-shielded arc welding. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 62, no. 9–12, pp. 1157–1167. ISSN 02683768. DOI 10.1007/s00170-011-3873-6.
- XU, Y., FANG, G., LV, N., CHEN, S. and JIA ZOU, J., 2015. Computer vision technology for seam tracking in robotic GTAW and GMAW. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 32, pp. 25–36. ISSN 07365845. DOI 10.1016/j.rcim.2014.09.002.
- XU, Y., YU, H., ZHONG, J., LIN, T. and CHEN, S., 2012. Real-time image capturing and processing of seam and pool during robotic welding process. [en línea], [Consulta: 6 April 2017]. DOI 10.1108/01439911211249805. Disponible en: <http://search.proquest.com/docview/1033787075/fulltextPDF/39849D91111F44B5PQ/2?accountid=28391>.

YE, Z., FANG, G., CHEN, S. and DINHAM, M., 2013. A robust algorithm for weld seam extraction based on prior knowledge of weld seam. *Sensor Review* [en línea], vol. 33, no. 2, pp. 125–133. ISSN 0260-2288. DOI 10.1108/02602281311299662. Disponible en: <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?issn=0260-2288&volume=33&issue=2&articleid=17084106&show=html>.

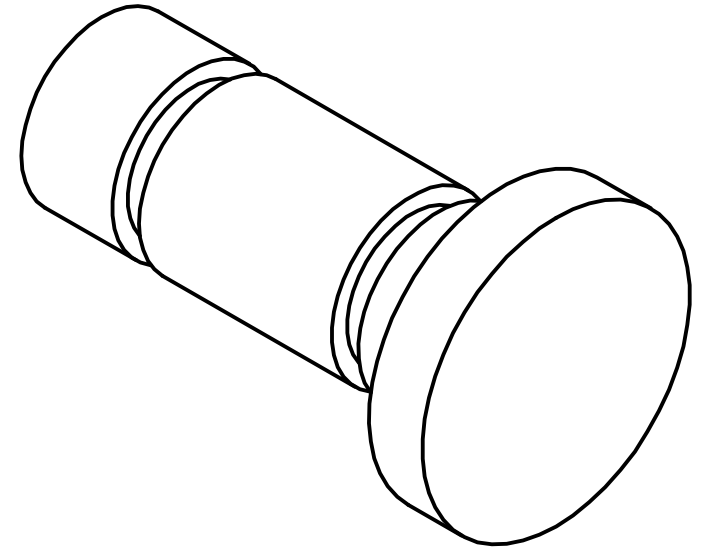
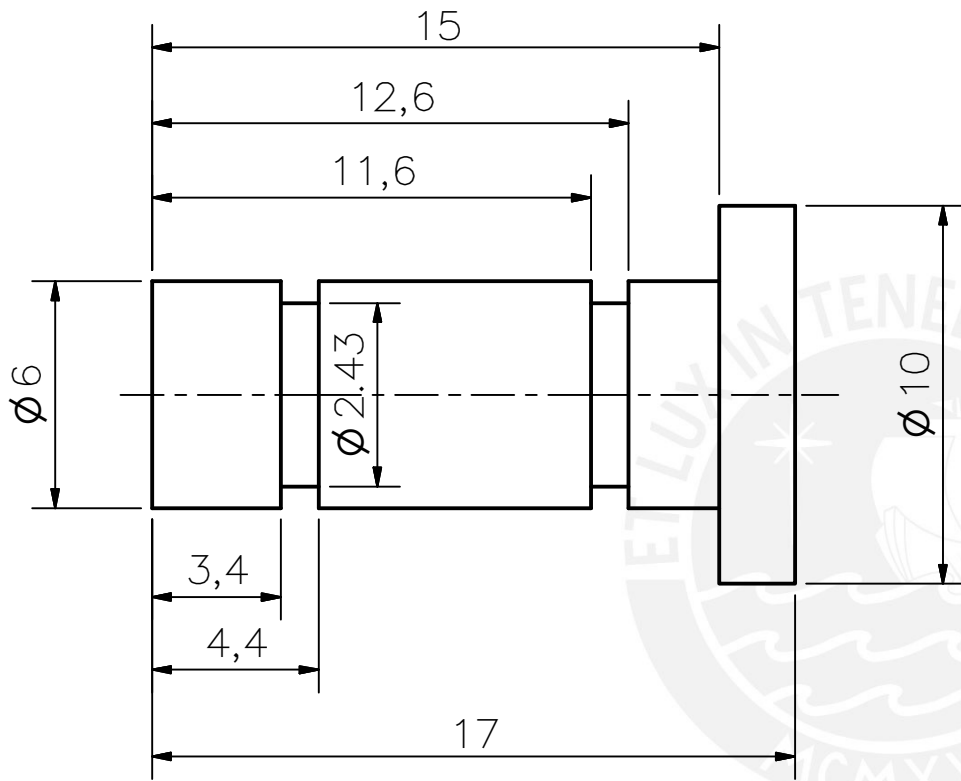
YUAN LI, YOU FU LI, QING LIN WANG, DE XU and MIN TAN, 2010. Measurement and Defect Detection of the Weld Bead Based on Online Vision Inspection. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* [en línea], vol. 59, no. 7, pp. 1841–1849. [Consulta: 26 June 2017]. ISSN 0018-9456. DOI 10.1109/TIM.2009.2028222. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5288594/>.

ZHAI, Y., HUANG, B., ZHANG, J., ZHANG, B., LIU, S. and HUANG, Q., 2016. Effect of weld spacing on microstructure and mechanical properties of CLAM electron beam welding joints. *Fusion Engineering and Design* [en línea], vol. 112, pp. 440–449. ISSN 09203796. DOI 10.1016/j.fusengdes.2016.06.027. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fusengdes.2016.06.027>.

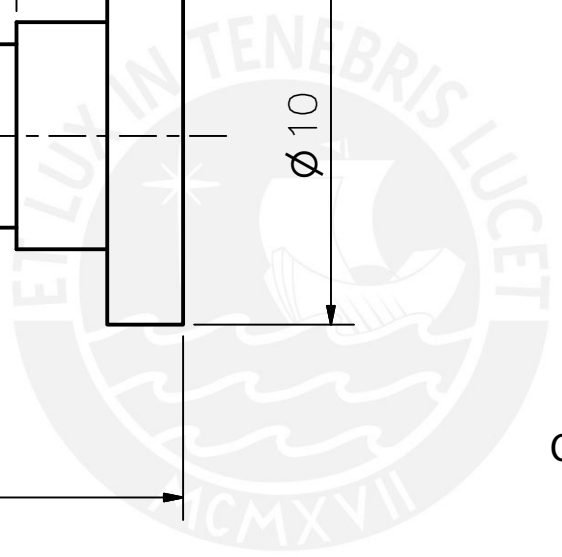


Anexo 1: Planos de Despiece del Sistema de Sensado Híbrido





CANTIDAD: 02



ACABADO SUPERFICIAL ✓ (✓)	TOLERANCIA GENERAL MEDIA DIN 7168	MATERIAL BRONCE
------------------------------	---	--------------------

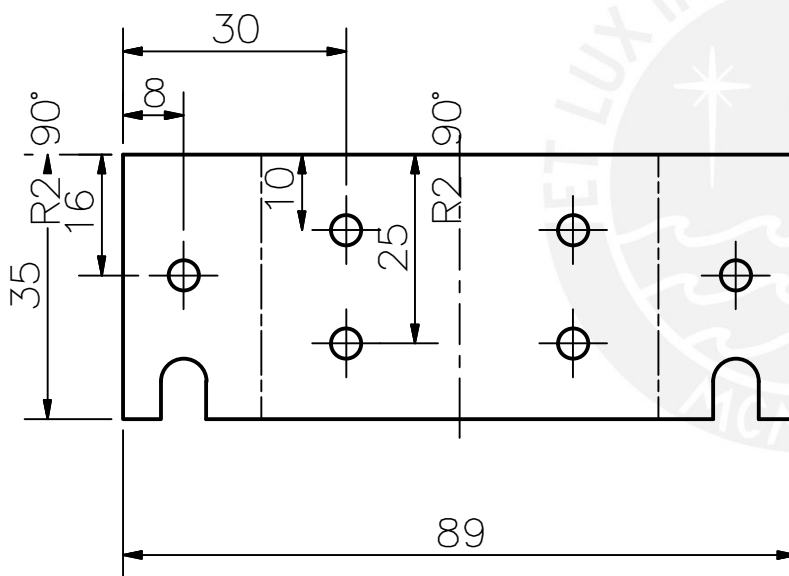
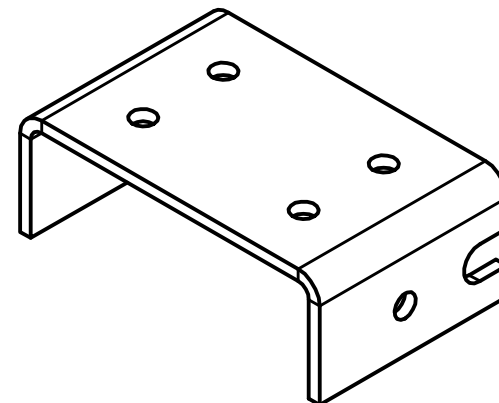
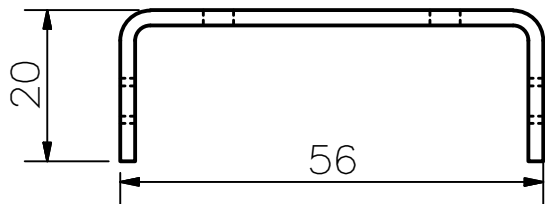
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO - INGENIERÍA DE SOLDADURA

MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕	TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PIN SENSOR	ESCALA 5:1
---------------------------	--	---------------

DIBUJADO	SIGÜENZA, M	REVISADO	LA CHIRA, H	FECHA: 2018.08.20
DISEÑADO	SIGÜENZA, M	APROBADO	LEAN, PAUL	LAMINA: A4-L01

TOLERANCIAS GENERALES
SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Desde 0.5 hasta 3	Desde 3 hasta 6	Desde 6 hasta 30	Desde 30 hasta 120	Desde 120 hasta 400
MEDIA	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5



CANTIDAD: 01
 ESPESOR: 2 mm

ACABADO SUPERFICIAL 	TOLERANCIA GENERAL MEDIA DIN 7168	MATERIAL ALUMINIO 6061
-------------------------	---	------------------------------

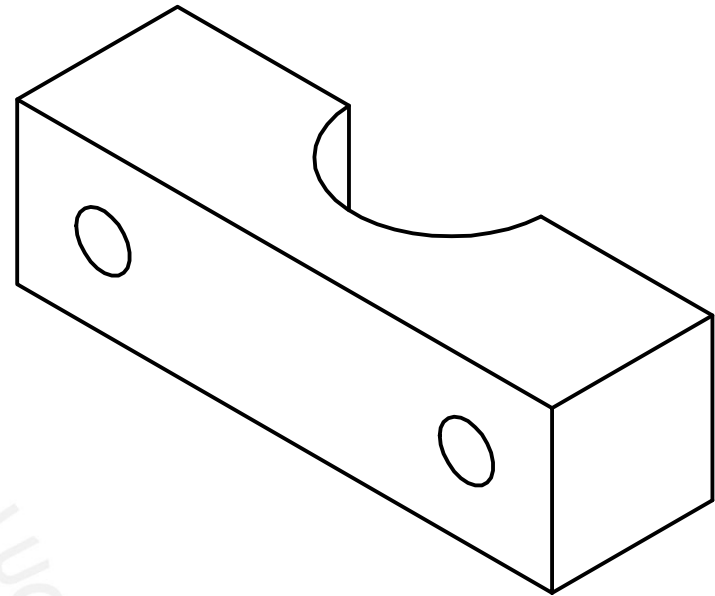
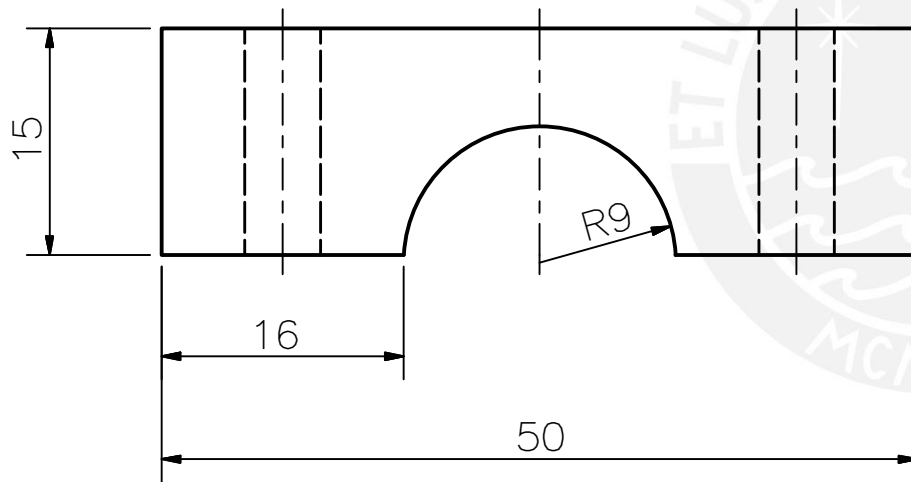
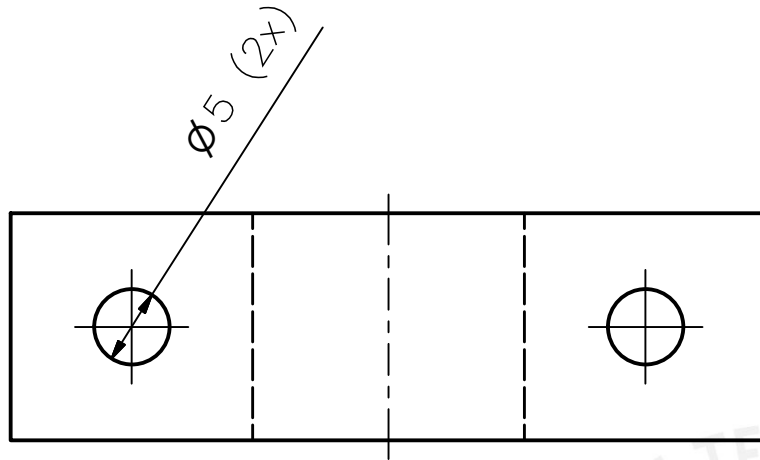
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 ESCUELA DE POSGRADO - INGENIERÍA DE SOLDADURA

MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE INVESTIGACIÓN SOPORTE LASER	ESCALA 1:1
--------------------------	---	---------------

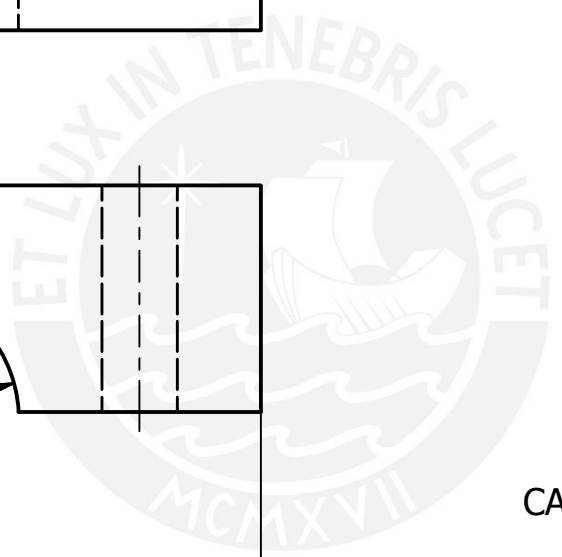
DIBUJADO	SIGÜENZA, M	REVISADO	LA CHIRA, H	FECHA: 2018.08.20
DISEÑADO	SIGÜENZA, M	APROBADO	LEAN, PAUL	LAMINA: A4-L01

TOLERANCIAS GENERALES
 SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Desde 0.5 hasta 3	Desde 3 hasta 6	Desde 6 hasta 30	Desde 30 hasta 120	Desde 120 hasta 400
MEDIA	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5

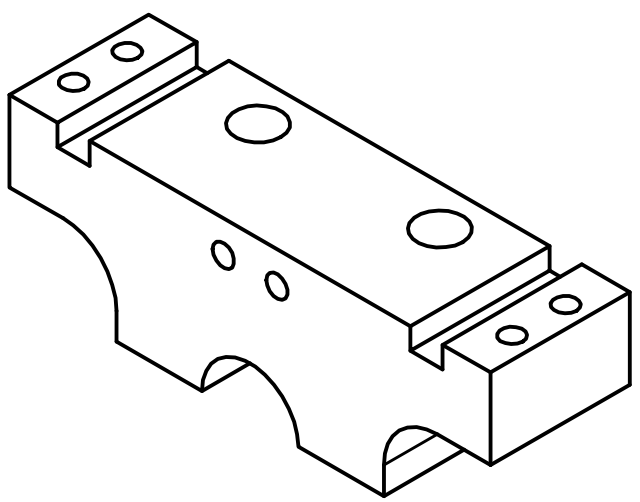
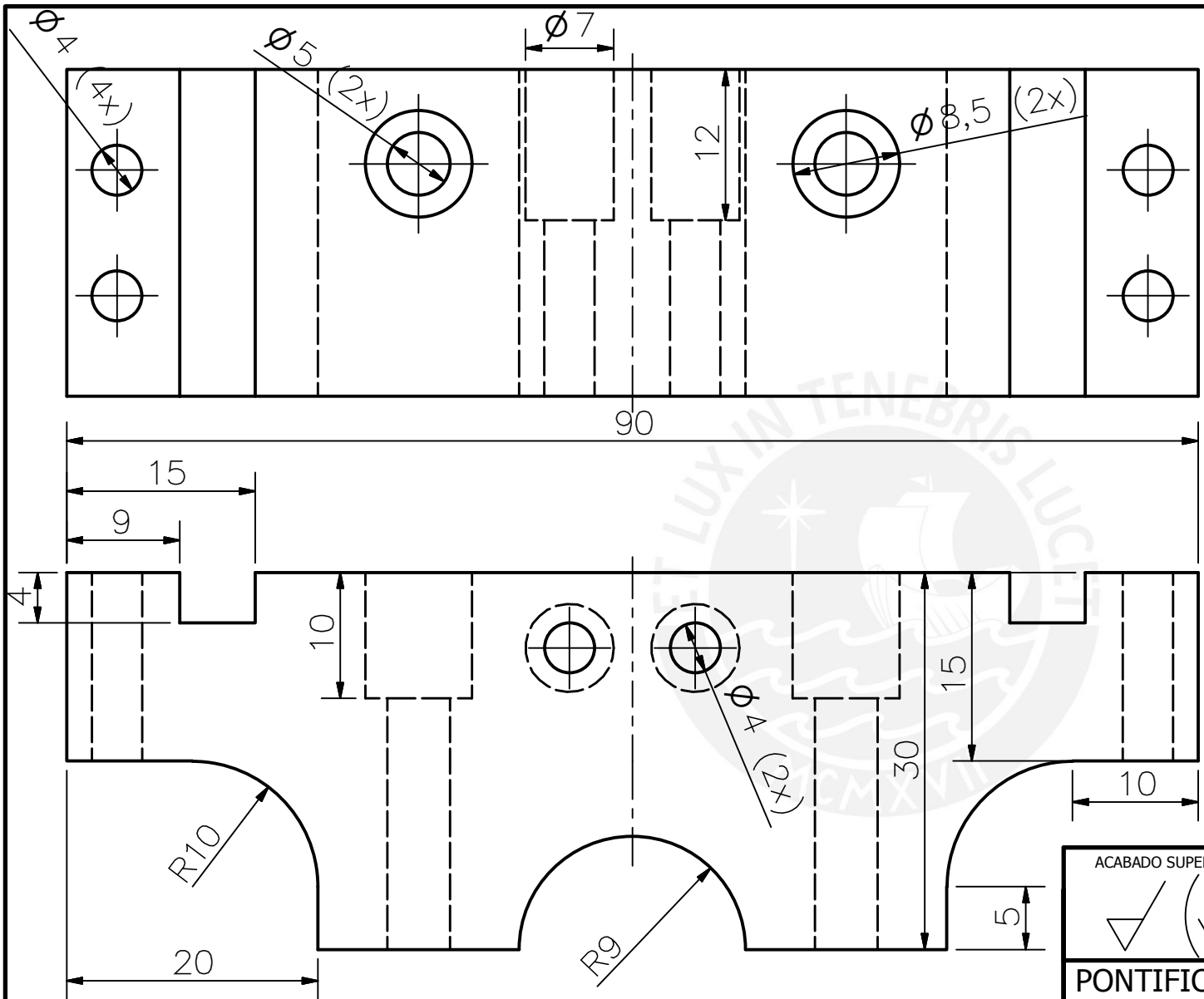


CANTIDAD: 01



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Desde 0.5 hasta 3	Desde 3 hasta 6	Desde 6 hasta 30	Desde 30 hasta 120	Desde 120 hasta 400
MEDIA	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5

ACABADO SUPERFICIAL 	TOLERANCIA GENERAL MEDIA DIN 7168	MATERIAL ALUMINIO 6061		
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ESCUELA DE POSGRADO - INGENIERÍA DE SOLDADURA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE INVESTIGACIÓN SOPORTE TORCHA CARA A	ESCALA 2:1		
DIBUJADO	SIGÜENZA, M	REVISADO	LA CHIRA, H	FECHA: 2018.08.20
DISEÑADO	SIGÜENZA, M	APROBADO	LEAN, PAUL	LAMINA: A4-L01

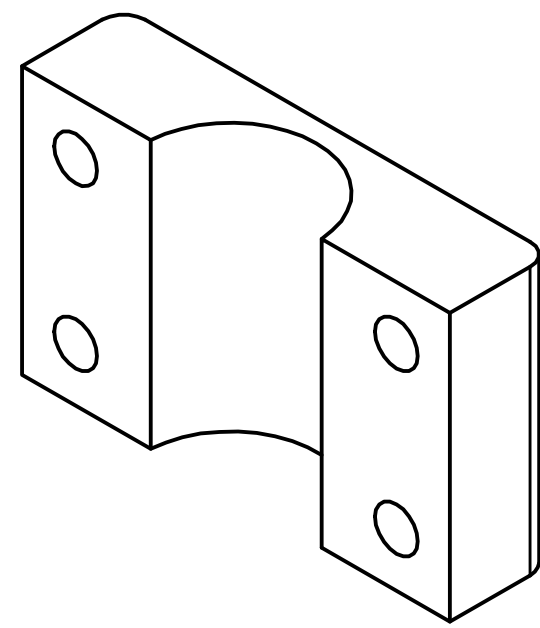
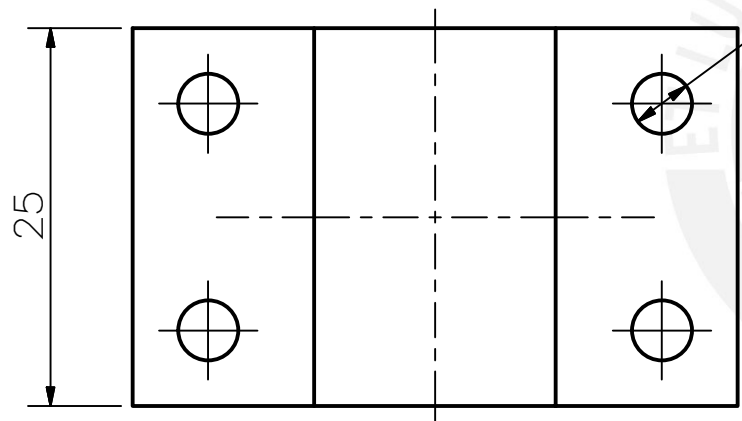
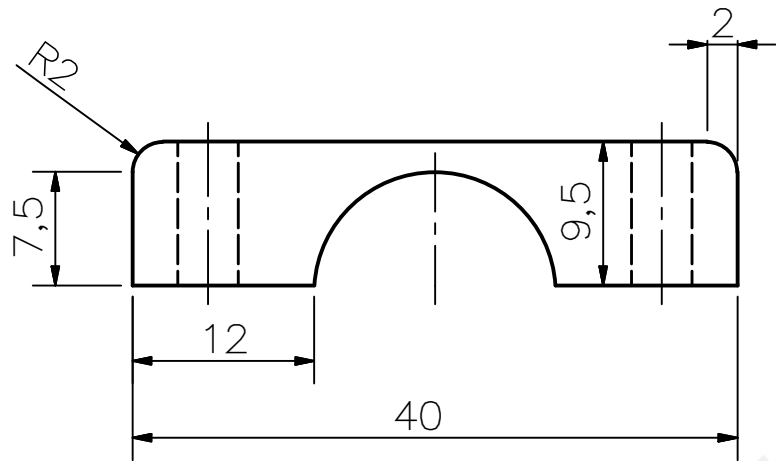


CANTIDAD: 01

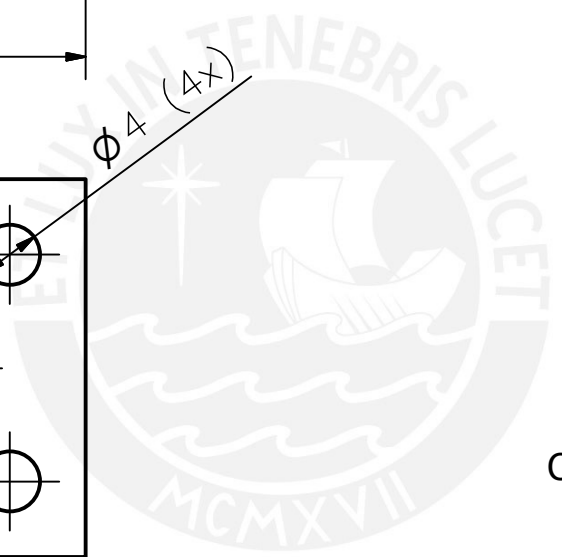
**TOLERANCIAS GENERALES
SEGÚN DIN 7168**

GRADO DE EXACTITUD	Desde 0.5 hasta 3	Desde 3 hasta 6	Desde 6 hasta 30	Desde 30 hasta 120	Desde 120 hasta 400
MEDIA	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5

ACABADO SUPERFICIAL 		TOLERANCIA GENERAL MEDIA DIN 7168	MATERIAL ALUMINIO 6061	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ESCUELA DE POSGRADO - INGENIERÍA DE SOLDADURA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN 		TRABAJO DE INVESTIGACIÓN SOPORTE TORCHA CARA B		ESCALA 2:1
DIBUJADO	SIGÜENZA, M	REVISADO	LA CHIRA, H	FECHA: 2018.08.20
DISEÑADO	SIGÜENZA, M	APROBADO	LEAN, PAUL	LAMINA: A4-L01

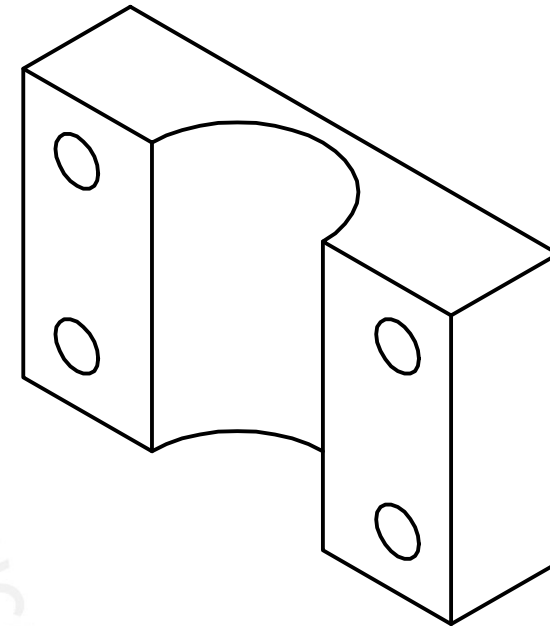
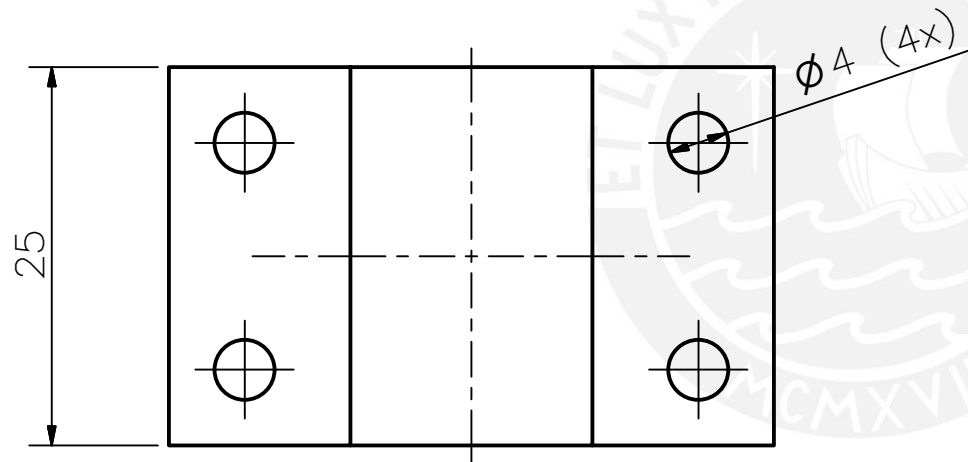
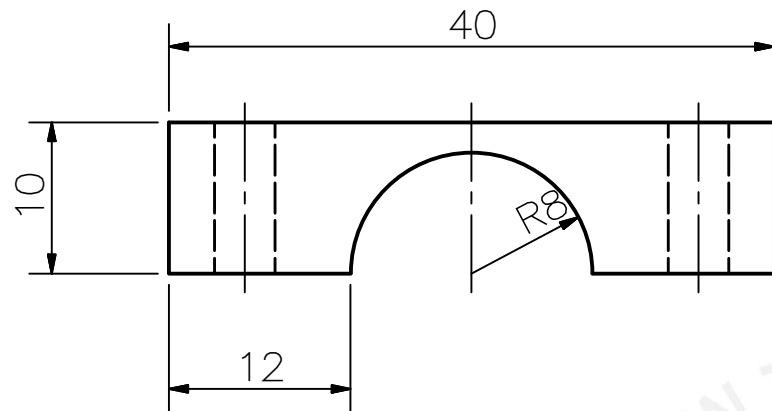


CANTIDAD: 01



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Desde 0.5 hasta 3	Desde 3 hasta 6	Desde 6 hasta 30	Desde 30 hasta 120	Desde 120 hasta 400
MEDIA	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5

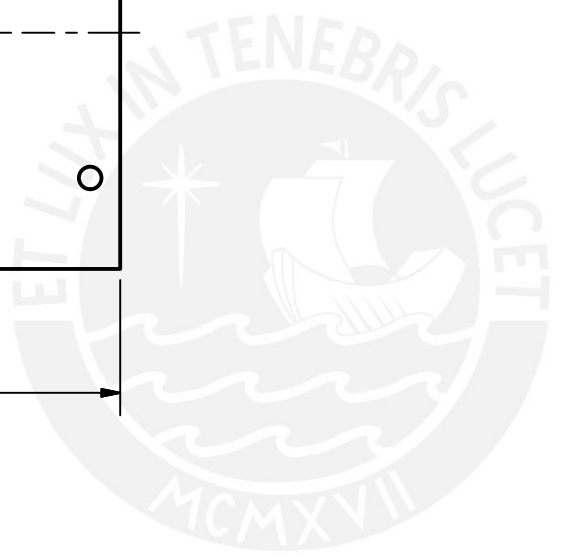
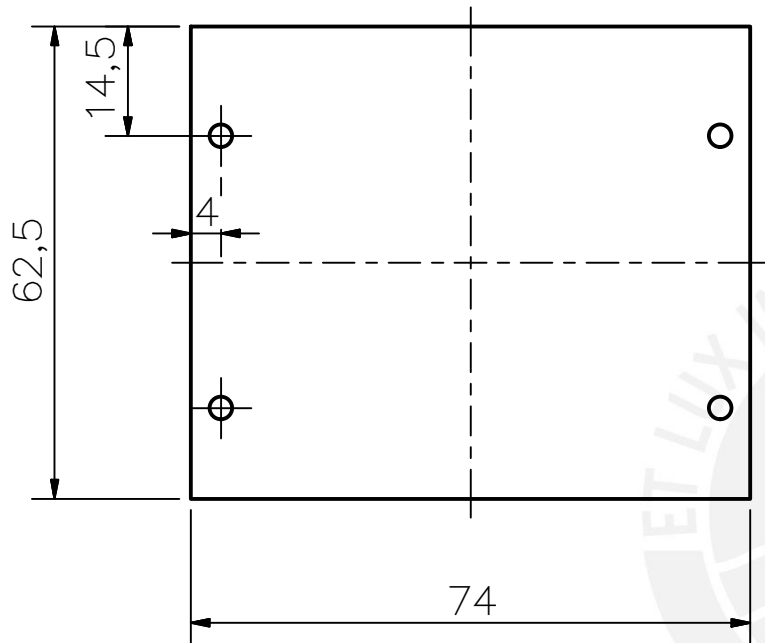
ACABADO SUPERFICIAL 		TOLERANCIA GENERAL MEDIA DIN 7168		MATERIAL ALUMINIO 6061	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ESCUELA DE POSGRADO - INGENIERÍA DE SOLDADURA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN 		TRABAJO DE INVESTIGACIÓN SUJECIÓN SENSOR CARA A		ESCALA 2:1	
DIBUJADO	SIGÜENZA, M	REVISADO	LA CHIRA, H	FECHA: 2018.08.20	
DISEÑADO	SIGÜENZA, M	APROBADO	LEAN, PAUL	LAMINA: A4-L01	



CANTIDAD: 01

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Desde 0.5 hasta 3	Desde 3 hasta 6	Desde 6 hasta 30	Desde 30 hasta 120	Desde 120 hasta 400
MEDIA	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5

ACABADO SUPERFICIAL 		TOLERANCIA GENERAL MEDIA DIN 7168		MATERIAL ALUMINIO 6061	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ESCUELA DE POSGRADO - INGENIERÍA DE SOLDADURA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN 		TRABAJO DE INVESTIGACIÓN SUJECIÓN SENSOR CARA B		ESCALA 2:1	
DIBUJADO	SIGÜENZA, M	REVISADO	LA CHIRA, H	FECHA: 2018.08.20	
DISEÑADO	SIGÜENZA, M	APROBADO	LEAN, PAUL	LAMINA: A4-L01	



CANTIDAD: 03
 ESPESOR: 2 mm

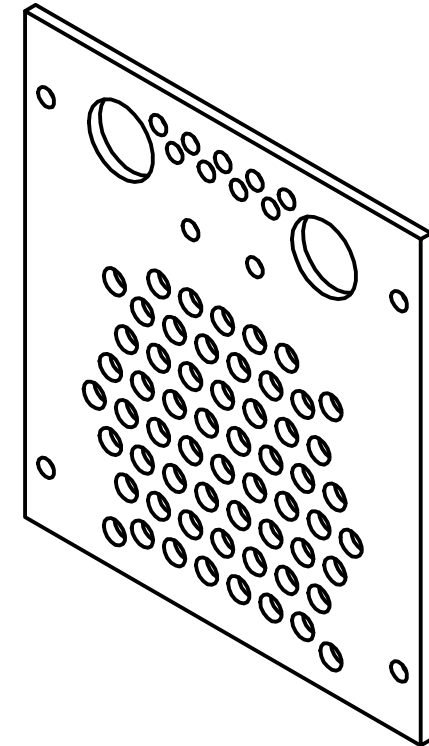
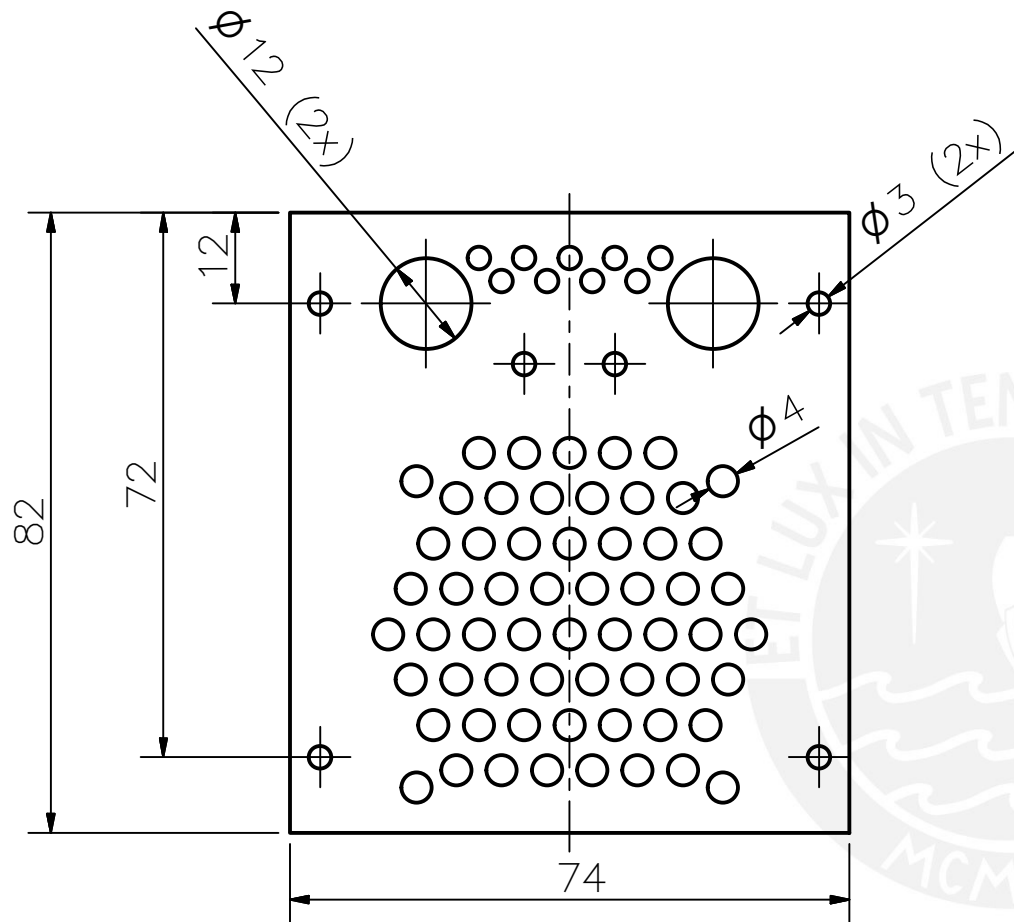
ACABADO SUPERFICIAL 	TOLERANCIA GENERAL MEDIA DIN 7168	MATERIAL ALUMINIO 6061
-------------------------	---	------------------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 ESCUELA DE POSGRADO - INGENIERÍA DE SOLDADURA

MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE INVESTIGACIÓN TAPA FRONTAL	ESCALA 1:1
--------------------------	--	---------------

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Desde 0.5 hasta 3	Desde 3 hasta 6	Desde 6 hasta 30	Desde 30 hasta 120	Desde 120 hasta 400
MEDIA	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5

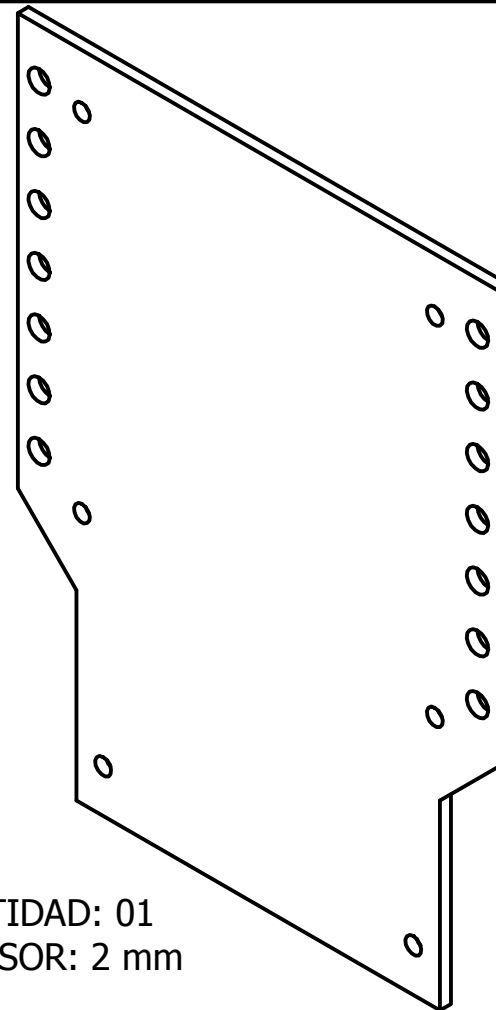
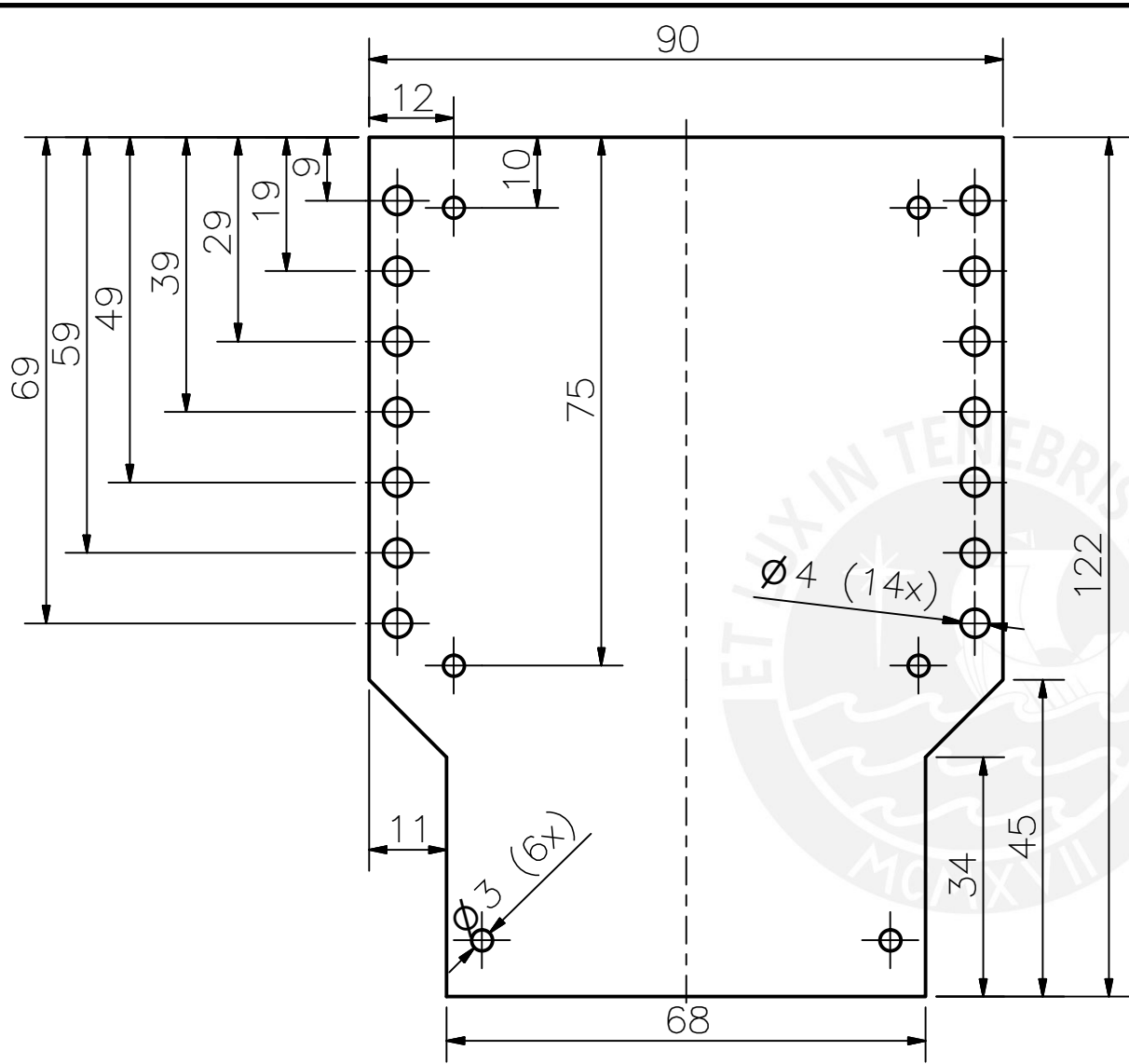
DIBUJADO	SIGÜENZA, M	REVISADO	LA CHIRA, H	FECHA: 2018.08.20
DISEÑADO	SIGÜENZA, M	APROBADO	LEAN, PAUL	LAMINA: A4-L01



CANTIDAD: 01
 ESPESOR: 2 mm

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Desde 0.5 hasta 3	Desde 3 hasta 6	Desde 6 hasta 30	Desde 30 hasta 120	Desde 120 hasta 400
MEDIA	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5

ACABADO SUPERFICIAL 		TOLERANCIA GENERAL MEDIA DIN 7168		MATERIAL ALUMINIO 6061	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ESCUELA DE POSGRADO - INGENIERÍA DE SOLDADURA*					
MÉTODO DE PROYECCIÓN 		TRABAJO DE INVESTIGACIÓN TAPA SUPERIOR		ESCALA 1:1	
DIBUJADO	SIGÜENZA, M	REVISADO	LA CHIRA, H	FECHA: 2018.08.20	
DISEÑADO	SIGÜENZA, M	APROBADO	LEAN, PAUL	LAMINA: A4-L01	



CANTIDAD: 01
 ESPESOR: 2 mm

ACABADO SUPERFICIAL 	TOLERANCIA GENERAL MEDIA DIN 7168	MATERIAL ALUMINIO 6061
-------------------------	---	------------------------------

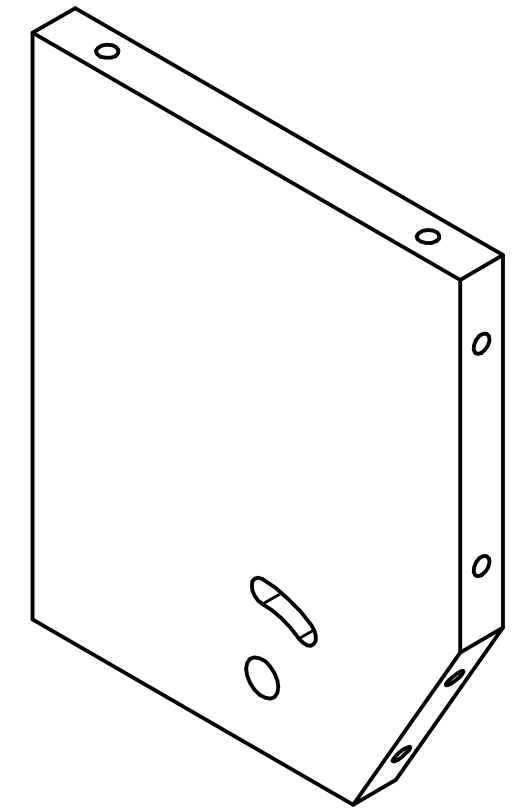
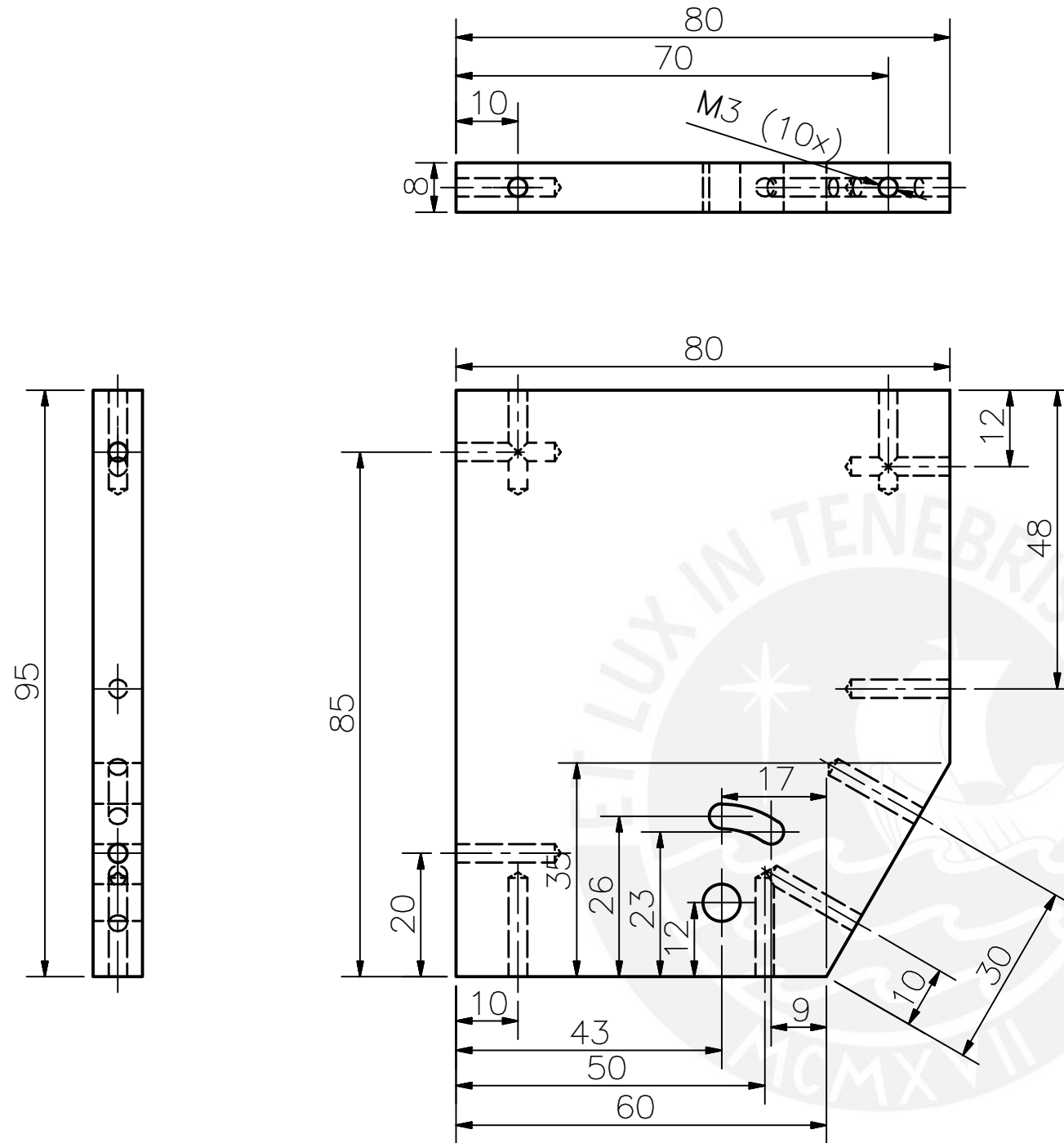
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 ESCUELA DE POSGRADO - INGENIERÍA DE SOLDADURA

MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE INVESTIGACIÓN TAPA TRASERA	ESCALA 1:1
--------------------------	--	---------------

DIBUJADO	SIGÜENZA, M	REVISADO	LA CHIRA, H	FECHA: 2018.08.20
DISEÑADO	SIGÜENZA, M	APROBADO	LEAN, PAUL	LAMINA: A4-L01

TOLERANCIAS GENERALES
 SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Desde 0.5 hasta 3	Desde 3 hasta 6	Desde 6 hasta 30	Desde 30 hasta 120	Desde 120 hasta 400
MEDIA	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5



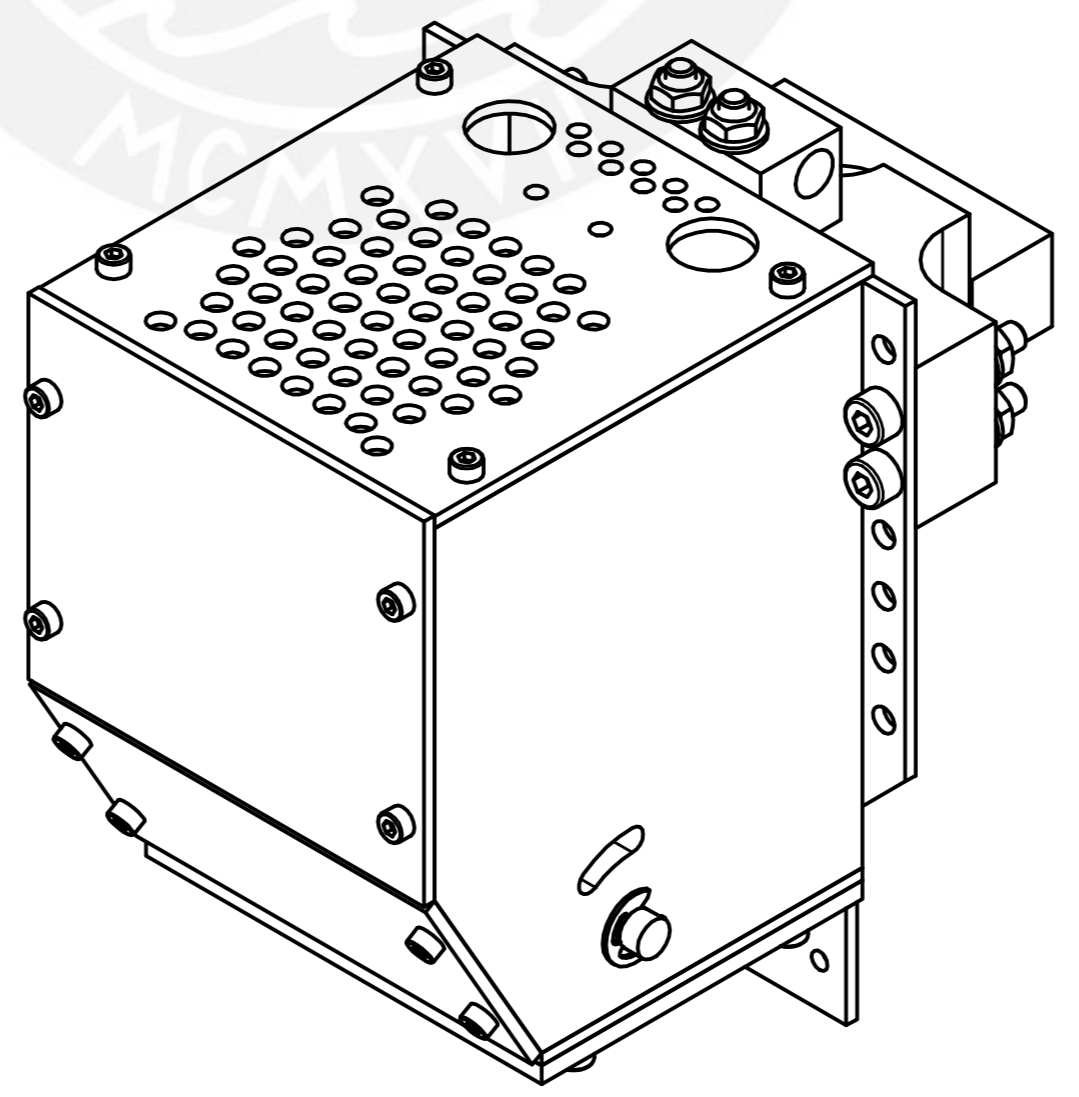
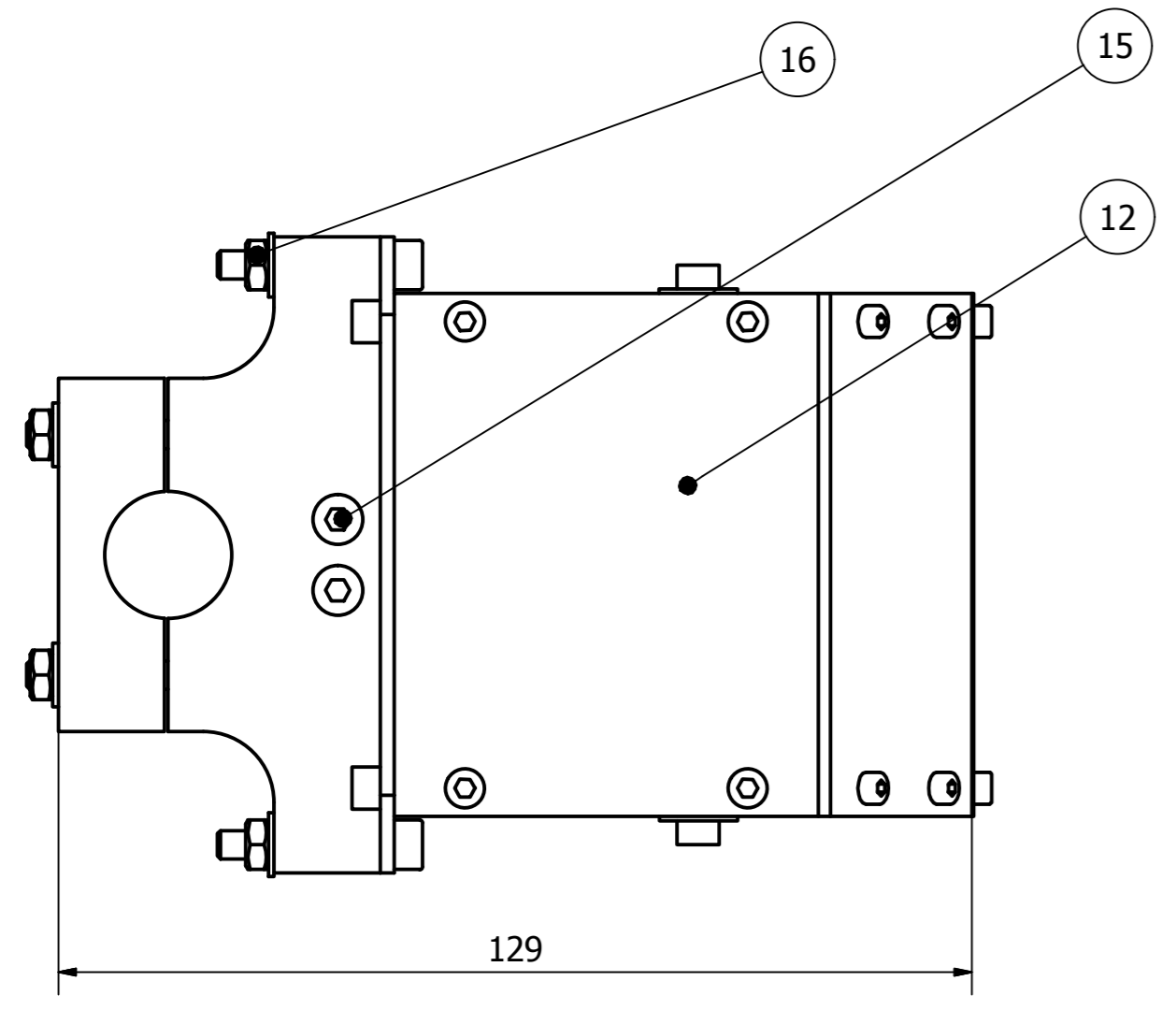
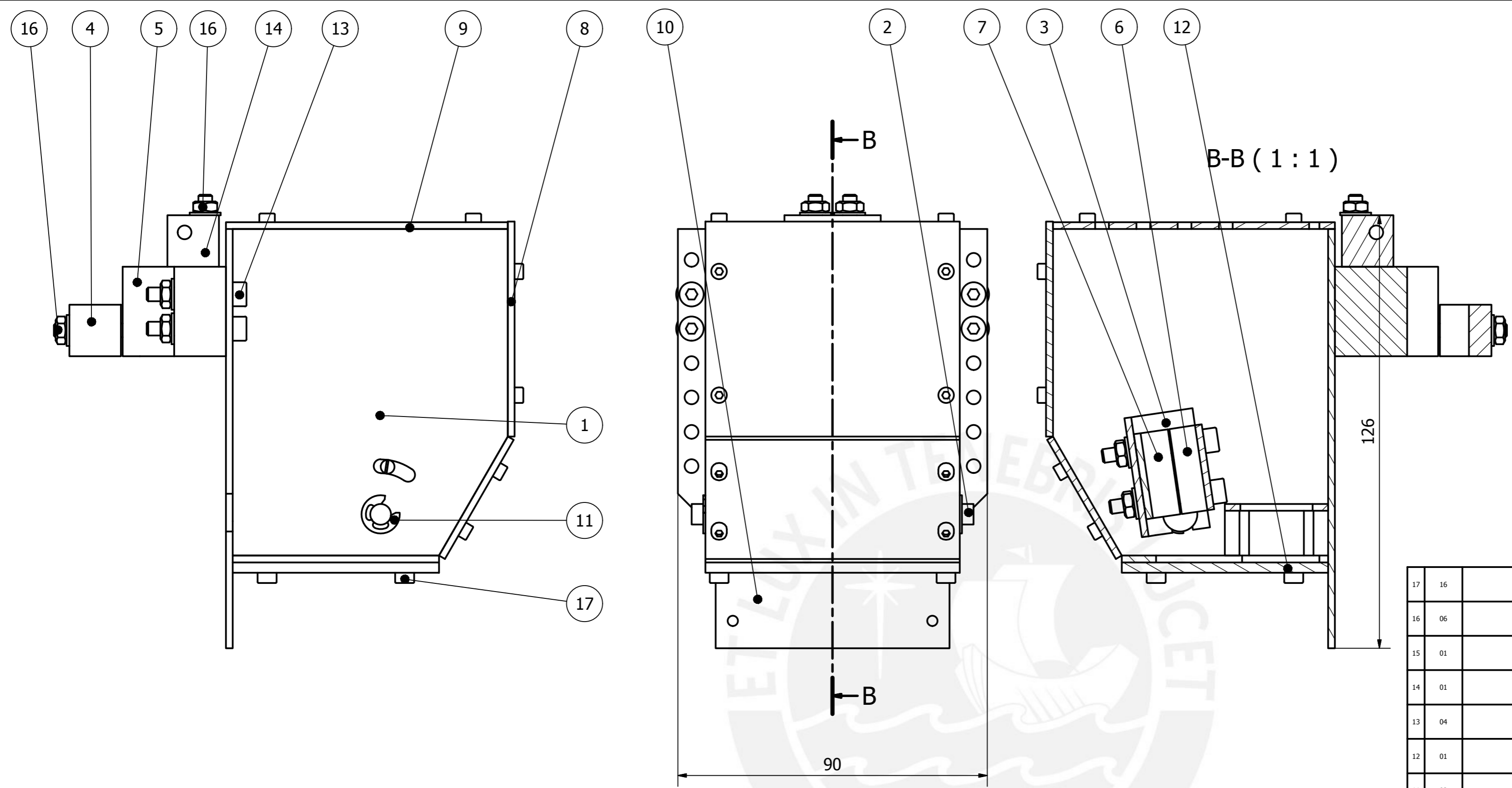
CANTIDAD: 02
 ESPESOR: 8 mm

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Desde 0.5 hasta 3	Desde 3 hasta 6	Desde 6 hasta 30	Desde 30 hasta 120	Desde 120 hasta 400
MEDIA	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5

ACABADO SUPERFICIAL ✓ (✓)	TOLERANCIA GENERAL MEDIA DIN 7168	MATERIAL ALUMINIO 6061		
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ESCUELA DE POSGRADO - INGENIERÍA DE SOLDADURA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕	TRABAJO DE INVESTIGACIÓN CARA LATERAL	ESCALA 1:1		
DIBUJADO	SIGÜENZA, M	REVISADO	LA CHIRA, H	FECHA: 2018.08.20
DISEÑADO	SIGÜENZA, M	APROBADO	LEAN, PAUL	LAMINA: A3-L01

Anexo 2: Planos de Ensamblaje del Sistema de Sensado Híbrido

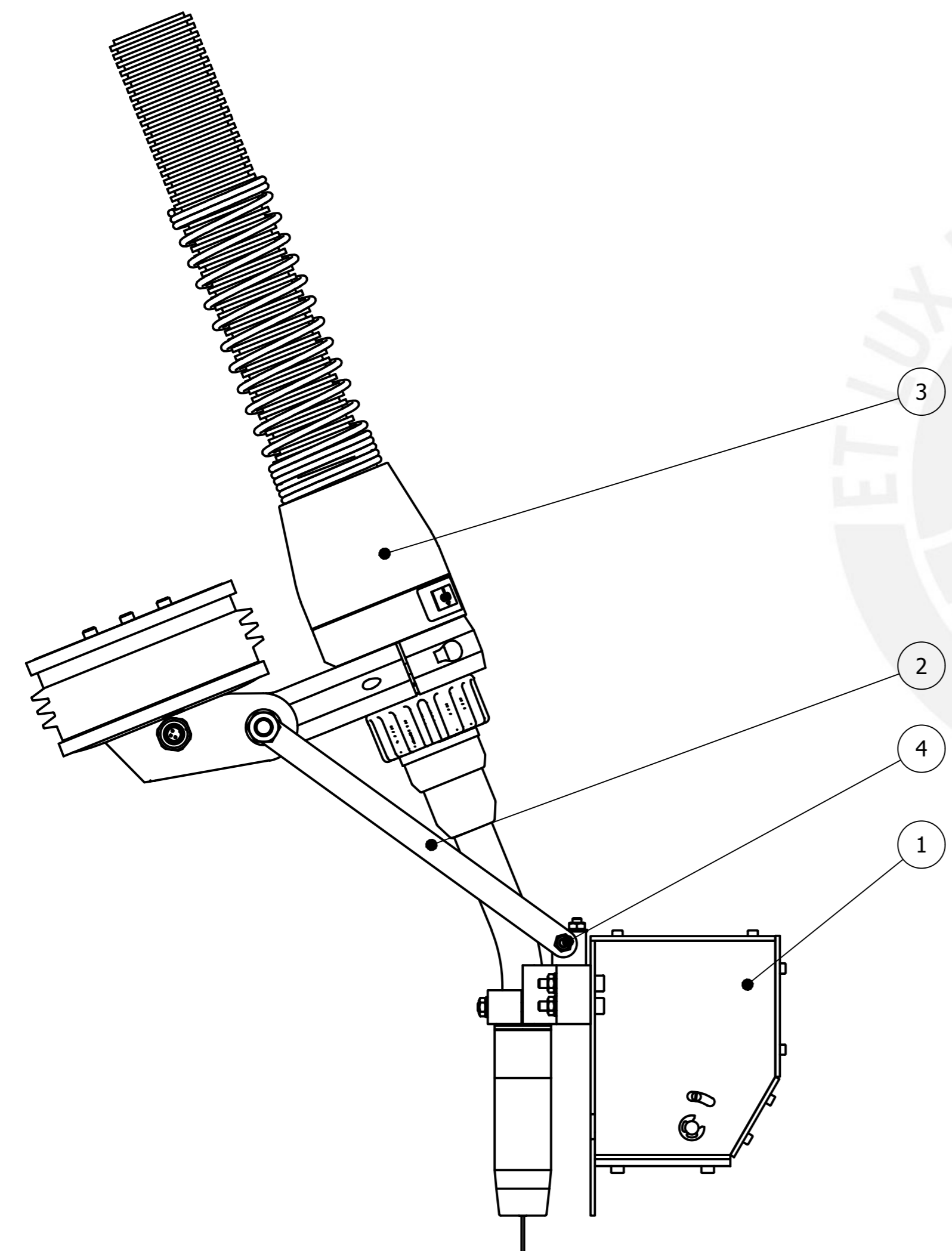
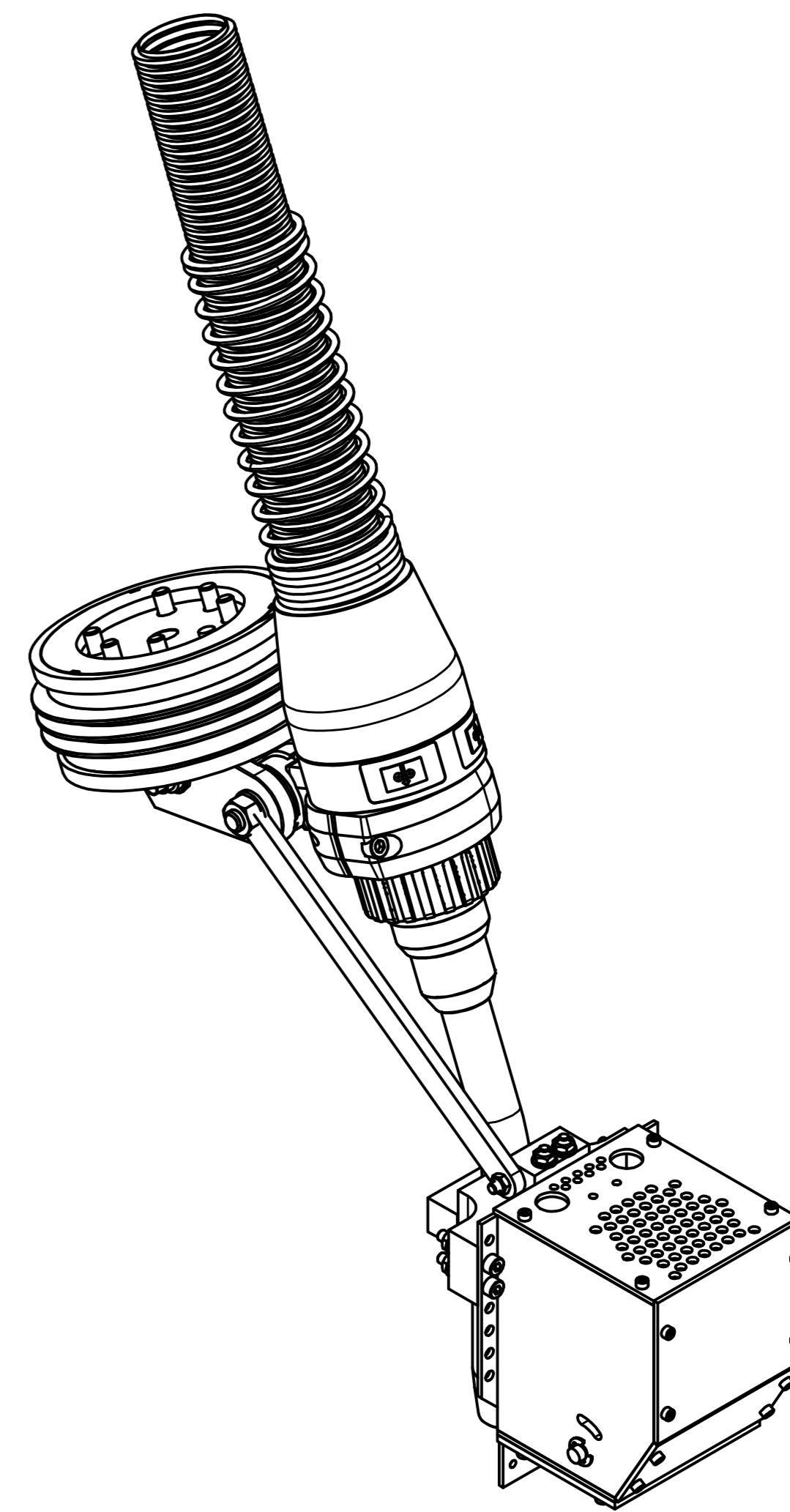




17	16	PERNO M3	ISO 4762	AISI 304	M3 X 15
16	06	ARANDELA Y TUERCA M4	ISO 7089 ISO 4032	VARIOS	CANTIDAD POR JUEGO
15	01	PERNO M4	ISO 4762	VARIOS	M4 X 35
14	01	ACOPLE ANTORCHA ESAB		ALUMINIO 6061	
13	04	PERNO M4	ISO 4762	AISI 304	M4 X 25
12	01	TAPA DE ACRILICO		VARIOS	
11	02	ANILLO DE SEGURIDAD	ANSI B27.7	AISI 304	
10	01	TAPA TRASERA		ALUMINIO 6061	
09	01	TAPA SUPERIOR		ALUMINIO 6061	
08	04	TAPA FRONTAL		ALUMINIO 6061	
07	01	SUJICION SENSOR CARA B		ALUMINIO 6061	
06	01	SUJICION SENSOR CARA A		ALUMINIO 6061	
05	01	SOPORTE TORCHA CARA B		ALUMINIO 6061	
04	01	SOPORTE TORCHA CARA A		ALUMINIO 6061	
03	01	SOPORTE LASER		ALUMINIO 6061	
02	01	PIN SENSOR		BRONCE	
01	02	CARA LATERAL		ALUMINIO 6061	
POS.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIA	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO - INGENIERÍA DE SOLDADURA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	ESCALA			
	ENSAMBLE DE SISTEMA DE SENSADO	1:1			
Dibujado por:	SIGÜENZA, M	Revisado por:	LA CHIRA, HAROLD	FECHA:	2018.08.20
Diseñado por:	SIGÜENZA, M	Aprobado por:	LEAN, PAUL	LÁMINA:	A2-L01

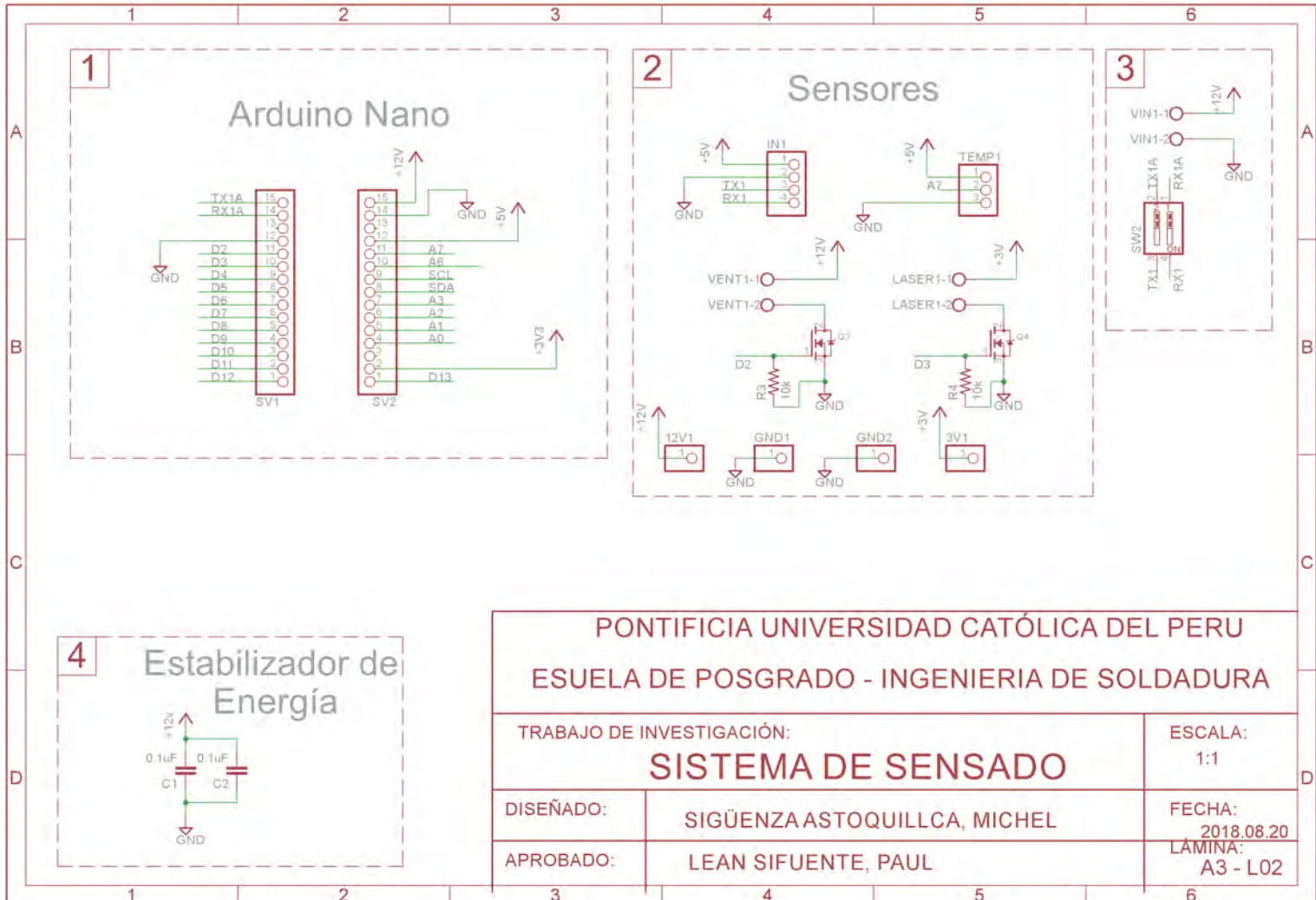


04	01	Perno y tuerca M5		VARIOS	Obs
03	01	ANTORCHA DE SOLDADURA ESAB		VARIOS	Sujetar con perno y tuerca M5
02	01	VIELA ANTORCHA DE SOLDADURA		ALUMINIO 6061	Obs
01	01	SISTEMA DE SENSADO		VARIOS	A2-L01
POS.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ESCUELA DE POSGRADO - INGENIERÍA DE SOLDADURA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRABAJO DE INVESTIGACIÓN			ESCALA
	ENSAMBLE DE SISTEMA DE SENSADO CON ANTORCHA DE SOLDADURA			1:2
Dibujado por:	SIGÜENZA, M	Revisado por:	LA CHIRA, HAROLD	FECHA: 2018.08.20
Diseñado por:	SIGÜENZA, M	Aprobado por:	LEAN, PAUL	LÁMINA: A2-L01

Anexo 3: Esquemático del Sistema de Sensado Híbrido





PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERU
 ESUELA DE POSGRADO - INGENIERIA DE SOLDADURA

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

SISTEMA DE SENSADO

ESCALA:
1:1

DISEÑADO:

SIGÜENZA ASTOQUILLCA, MICHEL

FECHA:
2018.08.20

APROBADO:

LEAN SIFUENTE, PAUL

LÁMINA:
A3 - L02

Anexo 4: Publicación del Sistema de Sensado Híbrido en Conferencia CASE 2018 (14th IEEE International Conference on Automation Science and Engineering 2018)



Design and Development of a Low Cost Hybrid Sensor System for Welding Manufacturing

Michel Sigüenza, Paul Lean, Francisco Cuellar

Abstract—The high demand of technology to increase the quality control in welding applications is a convenient opportunity for industrial sensors. The products that require welding process during production are subjected to strict quality controls where conventional or automated sensor-less welding processes are not able to achieve high standards during the production. Additionally, metal inner gas (MIG) welding sensors are still of high cost, especially for medium-sized companies seeking access to a system that allows them to improve the excellence of their products. In this paper we propose the development of a low cost hybrid sensor system for the automation of the welding process, which is compatible with industrial robots. It is designed with a simple graphical user interface (GUI) that assists the operator to perform and control the welding task, store values for quality control, and send commands to an automated welding system, in order to increase the quality of the product. We present, details of the design and development process of the hybrid sensor system for tracking and welding inspections, preliminary experiments to validate the use of the system in an automated welding process, and the discussion of the results.

Keywords—seam tracking, quality control, hybrid sensor system

I. INTRODUCTION

Two of the relevant applications of robot technology in manufacturing is welding [1] and wire arc additive manufacturing (WAAM) [2]. In order to improve the quality of these activities, sensor systems for seam technologies [3] [4] and weld bead inspections are used. Seam finding and seam tracking technologies are used in order to achieve flexible production lines without preprogramming the long path weld, where sensor system provide an important solution [5] [6]. It also contributes to the weld inspection on weld bead for identification and calculation of undersize welds [7]. The demand for this technology is due to the fact that the preprogrammed motions of the robot, do not permit readjustment in the trajectory of the torch or measured undersize welds, unless there is sensory feedback. Additionally if the task is performed manually by humans operators or even with qualified and non-qualified staff, it does not provide accuracy and repeatability obtained with a robot in order to reduce the cost per unit during production [8].

Therefore, real time adjustment is not achieved, where it is necessary due to changes because of distortion of the material

Michel Sigüenza is with the Engineering Department, Section of Mechatronics, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú (corresponding author: 611-626-2000 extension 4667; e-mail: michel.siguenza@pucep.edu.pe).

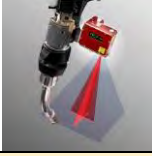


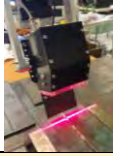
Paul Lean is with the Engineering Department, Section of Mechanical, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú (corresponding author: 611-626-2000 annex 4862; e-mail: plean@pucep.edu.pe).

by applying an irregular distribution of heat or excess heat [9], separation of gasket [10], and others, which can lead to failures in weld beads. Hence, the development of a technology that provides a feedback for the correction of the movement of the welding torch is necessary for a variety of simple and complex welding applications. A feedback system contributes to the correction of the welding torch that causes a correction at the desired point to be welded [11], and the results could improve considerably the quality of the welded structure [12]. Nowadays, real-time sensors for monitoring joints in robotic and mechanized welding have an important role in quality control, within the literature several types of sensors are observed, and they vary mainly by contact or non-contact. The location and monitoring of the joint are acquired by devices such as: touch [13] [14] [15], contact, inductive, capacitive, acoustic [16], and optical sensing, indicated by P. Kah et al [17]. In optical sensors (contactless) there are two types of models: passive vision and active vision, they have a great advantage due to its flexibility, speed processing and rich information compared to other sensors.

The used of a feedback sensors on welding cell applications provides intelligence to the station for the acquisition and control of the process [18]. Meanwhile, passive vision processes present a complex control algorithm due to the fact that their processing begin from the weld pool image captured [19]; the development of active vision by laser requires lower computational cost, and possesses less complexity in its algorithm control by the image processing of laser stripe. The use of a hybrid sensor system that combines passive and active sensing will provide robustness to the system against conditions such as light reflection in the material in comparison with passive vision [20], as well is being able to provide a fast visual inspection in order to acquire the profile of the welded joint, with characteristics such as width and height of the weld bead, and also defects such as undercutting and displacement [21]. There are commercial sensors with active vision, which allow the correction of the deviations of the welding torch in industrial robots. Examples of these products are: Meta-Vision System [22], Servo-Robot [23] and Micro-Epsilon [24]. The mentioned products are based on a camera supported by a sensor system; however, the algorithm for the recognition of patterns at the classification and location of weld joints is not necessarily supported for integration with mechatronic system and a variety of industrial

Francisco Cuellar is with the Engineering Department, Section of Mechatronics, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú (corresponding author: 611-626-2000 extension 4668; e-mail: cuellar.ff@pucep.edu.pe).

Table 1 Characteristics Comparison between Sensor and developed Hybrid Sensor System

	ServoRobot	Micro-Epsilon	MetaVision Systems	PUCP – NOVA
				
MODEL	POWER-SCAN	scanControl 2610	Smart Laser Pilot SLS	Laser-Sensor
Weight	0.5 Kg	1 Kg	1 Kg	1 Kg
Operating Temperature	5-40°C	5-40°C	5-40°C	5-40°C
Suitable for	GMAW / MIG-MAG	GMAW / MIG-MAG	MIG / TIG / Plasma	GMAW / MIG-MAG
Interface	Ethernet, TCP / IP, MODBUS, TCP	FireWire or Ethernet standard interfaces	Ethernet and Analogue / Digital interfaces to common robot controllers	Serial RS485 and Analogue / Digital interfaces to common robot controllers
Weld Inspection				
Weld Bead Dimensions	Width, Height	Shape / Geometry	Width, Height	Width, Height
Inspection	T-joint, Butt joint, Fillet weld, Groove weld	NO	T-joint, Fillet weld, Groove weld	T-joint, Fillet weld, Groove weld
Case sensor				
Dimensions	70 mm	145 x 25 mm	50 mm	80 x 60 mm
Protection	Pressurized air flow nozzle design to protect disposable lens against dust and fume	Pressurized air flow nozzle design to protect disposable lens against dust and fume	Protect against electrical interference	Forced air flow design to protect sensor and camera against dust and fume
Resolution	0.05 mm	2um	0.05 mm	0.30 mm
PRICE \$				
Sensor	40,000.00	25,000.00	24,000.00	3,000.00

robotic arms. Additionally, the high investment required for the sensors, does not allow this technology to be spread through small business (micro, small, and medium enterprises). The development of a low cost sensor for welding applications will allow the metal-mechanical industry in developing countries such as the Latin American to increase the quality and demand of products.

This work presents the design and implementation of a low cost hybrid sensor system based on the combination of a camera and a laser for projection of the linear beam in the joint in a robotic welding cell, for aligning the welding torch in real time, through the use of algorithms and mathematical models that allow to locate the joint for welding, for reduce deviation, and detect errors caused by the distortions of the material in the presence of heat or human factors. In section I, a brief summary of the types of sensors are presented. In section II, the design criteria based on the worker and system requirements are described, and the development is defined. In section III, the experimental setup is described, and the preliminary results are discussed in section IV. Finally, section V presents the conclusions and future work of the present research and development.

II. DESIGN AND DEVELOPMENT

From the state of art, and some of the current commercial sensors a comparison of characteristics has been performed and summarized in Table 1. Based on the analysis, we

proposed the hybrid sensor system presented in Fig. 1, which was divided into four sections: requirements, mechanical, electronic and software design.

A. Requirements

The main goal is to track the joint to be welded, and an inspection weld bead that allow to perform a quality control of the process in real time. In addition, quality control must be performed for warning the operator if the parameters of the welding process are established, in order to comply with standard indicators such as overlays, which are measured in width and height in millimeters; and avoid welding defects, such as weld cracks and porosities.

1) *User Functional Requirement:* The operator must be able to access the sensor's control in order to register welding parameters, and access the inspection results of the weld bead. The operator also must visualize if the weld bead is suitable and is within the welding standards AWS D1.1, ASME IX or API1104, depending on the base material and the filler material to be used.

2) *System Functional Requirement:* The software application must maintain a local database with information about the location of the joint previous the process, deviation during welding, and undersize weld beads after the process. Additionally, it communicates with an automated welding system for adjusting position of welding torch in real time.

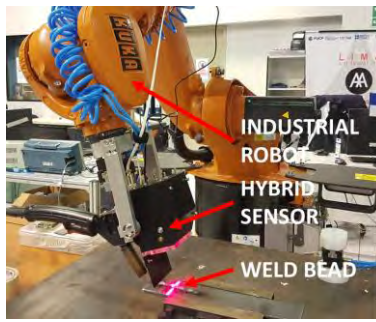


Fig. 1 Design of Hybrid Sensor System

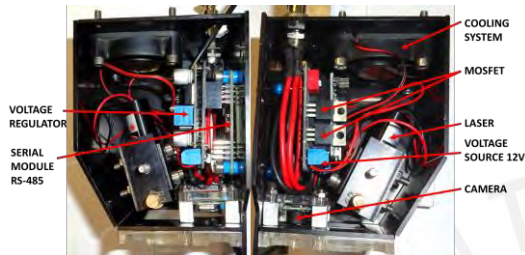


Fig. 2 Components of Hybrid Sensor System, Left and Right side

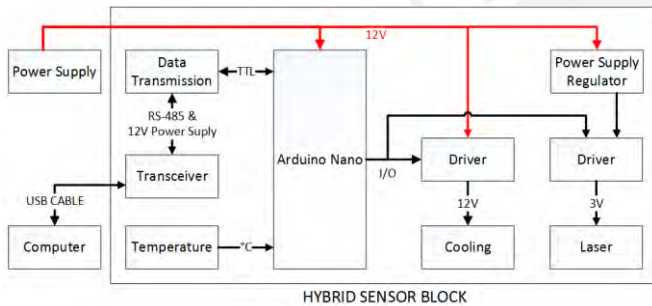


Fig. 3 Hybrid Sensor System Modules

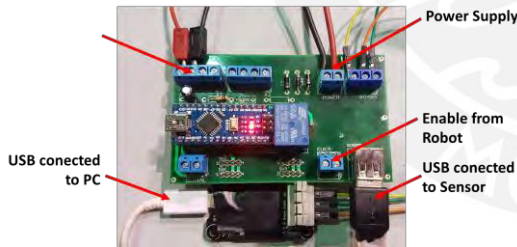


Fig. 4 Receiver module (module for connection to computer)

B. Mechanical Design

A metallic box was designed, mainly with aluminum and screwed with M3 hexagon bolts. The metallic box holds the hybrid sensor system, the camera, the printed circuit board (PCB), and the forced cooling system. These components are located as indicated in Fig. 2. The laser has an inclination of 30° to be able to capture better the profile weld bead. In order to increase the effect of the laser's light. The bottom side of the hybrid sensor system is of transparent acrylic, which allows the light stripe of the laser to pass through, and allows the camera to capture the composed image. In the upper side, the forced cooling system is located.

C. Electronic Design

A CCD digital camera with a capacity of up to 60fps at 1080p; a laser (Class II & IIIa) with a power of 1mW and a

linear beam with adjustable focus. This laser operates in a temperature range of -10° C to 40° C, and it has a divergence of less than 2.0 mrd (milliradians of divergence).

It is also designed with a Plug-and-Play (PnP) system, which allows the sensor to be connected to a computer by serial communication (TTL) in order to transmit at distance over 15 meters. The system includes a PCB board that contain the communication module TTL to RS485 at 9600 bpps, power supply module (12VDC), transistors functioning as switches to enable the cooling system for sensor, a temperature module (-10°C to 40°C), and a microcontroller based in Atmega328p to control the hybrid sensor system. Therefore, the block diagram for the modular system is shown in Fig. 3, indicating the electronic components embedded on the hybrid sensor system. All modules are easy to replace with of the shelf components. The features of the electronic devices are presented below:

1) *Data Transmission Module*: a TTL interface is developed to communicate the hybrid sensor system to the computer, a transceiver module TTL to RS485 is employed, which is connected to the computer. The communication is supported via a multiplexer with TTL and RS485 interfaces. RS485 protocol allows to establish a stable communication. For interaction with industrial robot, a microcontroller based in Atmega328p is mounted in the Transceiver Module, which generates the analog signal input for the robot controller. To enable communication with the computer, a TTL serial communication is configured at 9600 bpps, no parity, 1 stop bit and 8 data bits, as shown in Fig. 4.

2) *Laser and Cooling Module*: the laser is driven at 3VDC (30mA) based on a MOSFET IRF540 transistor which offers a continuous power supply. MOSFET is activated when a 5VDC signal is applied through the gate pin and enables the laser and the fan for the forced cooling system in an operating range of 9 to 12 VDC in the drain pin.

3) *Power Supply Module*: The hybrid sensor system has a 12VDC power supply. When the system is turned on, the microcontroller, transistors and voltage regulators of 3 and 5VDC are energized. The system allows to control the drivers for the laser stripe projection, and cooling system.

4) *Temperature Module*: The hybrid sensor system includes a module for sensing the temperature from -10°C to 40°C. An LM35 sensor with an accuracy of 0.5°C is used. This information is used by the microcontroller for controlling the speed of the cooling fan.

D. Software Design

The software interface allows to obtain indicators of weld bead dimensions and deviation of the welding torch, which is described in a graphical user interface (GUI), presented in Fig. 5, which the operator uses to control the hybrid sensor system. The program runs on the computer with Windows Operating

System (OS), from version Win7. The program was developed in Visual Studio C++ and establishes communication with sensing system by serial RS485 at 9600bps. The program shows a panel of options to configure the image of the camera for processing and interaction with the hybrid sensor system.

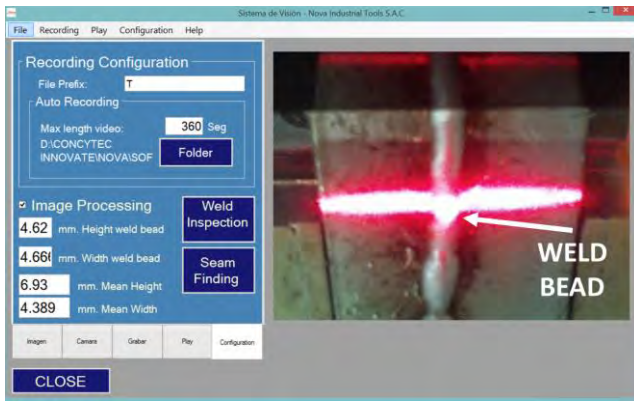


Fig. 5 Graphical User Interface



Fig. 6 Original image and Image after median filter



Fig. 7 Image after, threshold of 0.8 and morphological operations (a) and Contour of laser stripe (b)

Table 2 Parameter of experiment for A36 in GMAW

Parameters	Value
Welding Material	A36
Type of welding seam	Butt joint
Welding current, volts, feed and travel speed	125 A, 18.5 V, 105 mm/s, 3 mm/s.
Wire diameter	0.8 mm
Shielding gas	80%Ar + 20% CO2
Gas flow	16 L/m
Work price	6.35 mm

The GUI contains graphic and functional elements of interaction that are integrated for providing a comfortable experience for the user in terms of usability and operability. The interface has a panel of options, each of them with a specific function, in some cases, they are related to each other in a hierarchical structure. The GUI architecture presents five panels: Image, Camera, Recording, Playback, and Control Configuration. The panel has option buttons to scroll through the panels that are activated when the user clicks on the corresponding button.

Control Configuration is divided into two panels: configuration of recording and visualization of data such as the average and peak values dimensions of the weld bead (width and height). The recording settings allow to modify the folder and the prefixes for the videos for storing. In the data visualization, the operator can enable or disable the correction of the welding torch. The configuration changes will be

updated in real time. Future control options will be added to the interface as software updates become available.

III. PRELIMINARY EXPERIMENTS

In order to obtain an acceptable welding quality, preliminary welding experiments were performed. The relevant welding parameters are shown in Table 2. The hybrid sensor system consists of a digital camera, a line structure laser, and an embedded microcontroller board. The camera is settled to 240*320 pixels, which can capture color images. The wavelength of the line structure laser is 650nm, and the power is 100mW. Experiments will provide a feedback to the WPS (Welding Procedure Specimen) and PQR (Process Qualification Record), for welding tests. An algorithm was conducted with four main objectives: A) Obtain the contour of the laser stripe, B) acquire the welding bead geometry analysis, C) acquire the center joint bead for welding test, and D) adjust the motion control of the robot according to the deviation of the center joint bead.

A. Image Processing Algorithm

A region of interested (ROI) is defined from the entire image to enhance the computational costs. In order to improve the image, a set of algorithms are used. A mean filter with a kernel size of 3x3 is used to smooth the image and remove noise for processing. A median filter is selected for removing noise such “salt and pepper”, despite, Gaussian filter is effectively removing noise, the Mean filter shows cleared laser stripe with less noise [25], as shown in Fig. 6. Then the image capture is convert into a model HSV (Hue, Saturation and Value) scale in order to capture the laser line projected into the seam. Then, a manual threshold is established to perform binary conversion. In order to thin the contour of the laser stripe, we suggest the use of a computational effective algorithm applying morphological operations such as dilation and erosion. Then, contour is found and filtered to eliminate the interference of the light arc in this study as show in equation (1).

$$A_i > A = \begin{cases} 1 & \text{true, area is a stripe laser contour} \\ 0 & \text{false, the area is caused by noise} \end{cases} \quad (1)$$

where A is the smallest area size considered as a normal laser stripe contour, which is 200 square pixels, and A_i is the size of the i-th area. By using equation (2) the contour laser stripe is acquired, a kernel size 3x3 in fitted in mask.

$$\begin{cases} fdilate(x,y) = fimage(x,y) \oplus mask \\ ferode(x,y) = fdilate(x,y) \ominus mask \\ foutput(x,y) = |fdilate(x,y) - fimage(x,y)| \end{cases} \quad (2)$$

where $fimage(x,y)$, $fdilate(x,y)$, $ferode(x,y)$ and $foutput(x,y)$ are original, dilate, erode and output image respectively, result is shown in Fig. 7-a.

B. Weld Inspection Algorithm

For welding inspection, the points of the laser stripe where the column value changes fastest represent the start and the end corner from the weld bead. Therefore, to find the weld bead features such as height and width, an equation based on the second order difference method is implemented as proposed by Jun-Di et al [26]. With equation (3) the location of weld bead is found, where $D(i)$ is the second order difference on the

i -th row and the column index of i -th row, and dk is difference range. Undersize welds is obtained via the maximum values at column index for height and distance between the highest values from second order difference for width. Fig. 7-b shows the result. Therefore, a flow chart procedure is shown in Fig. 8.

$$D(i) = \frac{C(i+dk)+C(i-dk)-2C}{2dk} \quad (3)$$

C. Seam Tracking Algorithm

For seam tracking, the aim is to locate the joint between the base materials to be weld. In Fig. 9, two pieces are processed, in the left side the image margin the laser stripe projects; in the right side the gray scale image capture the joint. According to the flow chart, the edge detection is performed getting the laser stripe contour lower limit. Meanwhile the second order difference is applied to obtain the location of the center joint. As the results shown in Fig. 10, the joint is located at the 49-th pixel from left to right from a total width (ROI) of 120 pixels. And then a correction of 11 pixels equivalent to 1.98 mm is performed to finally center the image. This is obtained with an analog voltage of 423.1 mV for a period of time of 60ms.

D. Setting Interface with Industrial Robot

The robot controller interacts with the hybrid sensor system in real-time via an analog signal for cartesian correction at motion. Signal is transferred via an input Beckhoff Module connected by EtherCAT fieldbus to KUKA Controller. According to Elshatarat et al [27], the analog input is processed by using RSI package for data exchange via I/O system. Analog signal is normalized from 0-5V to 0.0-1.0mm. The analog input must be read within the cycle rate of the robot at 83Hz.

IV. RESULTS AND DISCUSSIONS

In this research and development, a hybrid sensor system for welding inspection and seam tracking is installed on an industrial robot KUKA KR20-3 to inspect weld joint and bead. The performance of the sensing system is evaluated through the results of the characteristics of the weld bead, such as over mount and undercut. The minimum error is 0.18 mm. between the real distance and the distance measured by software, obtained from 30 specimens, the image processing has a minimum resolution of 0.18mm/pixel. Meanwhile, the seam tracking system was tested, obtaining a minimum Cartesian correction of 0.05 mm and a maximum of 0.23mm. The reference coordinate system is the Base Coordinate System, which is calibrated before experiments.

The result demonstrate, that the welding inspection with the proposed hybrid sensor system is able to achieve a proper inspection for most welding application, where a margin of error of 1.0mm is allowed according to Visual Inspection Acceptance Criteria from AWS D1.1. Image processing speed of the hybrid sensor system is within the cycle rate (12ms) for seam tracking algorithm. Results are summarized in Table 3, which indicates the flexibility of the system in order to be developed and scaled to industrial process. Moreover, it is demonstrated that the measured specimen output possesses an accuracy from 0.18 mm. Regarding hybrid sensor system functionality, the hardware and software

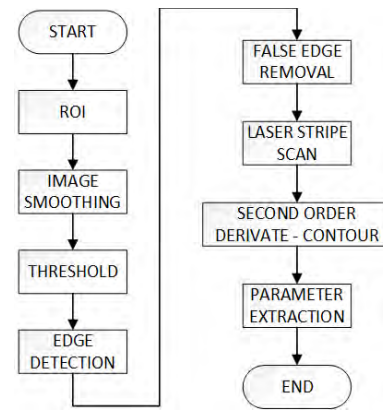


Fig. 8 Flow chart image processing procedure

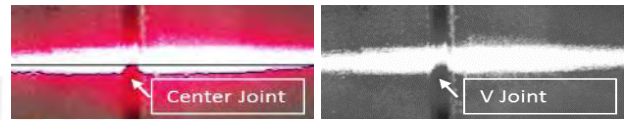


Fig. 9 Original image with contour drawn and Image after median filter



Fig. 10 Location of joint center using contour and Second order difference

Table 3 Costs and features of the hybrid sensor system in this study

Cost (US dollar)	Accuracy Hybrid Sensor (mm) Resolution (mm/pixel) Accuracy Industrial Robot (mm)	Features	Acquisition speed
Overall 3,000 Camera, Laser, Laptop (included VisualStudio) and Others	0.308 mm 0.18 mm/pixel 0.05 to 0.23 mm	RS485 allow cable length to 1000 m. Camera communication allow cable length to 5 m	Up to 18 fps

could be considered for integrating with several mechanized and automated welding systems. More over a method implemented as proposed by Jinchao et al [28], the use of a narrow band pass filter for decreasing the intensity of light is recommendable, and it will be proposed in the hybrid sensor system for future work.

V. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

A hybrid sensor system for weld inspections and seam tracking is validated base on a purpose-built active vision sensor. The System has the characteristics of a flexible and low-cost Mechatronic solution for welding industries where vision sensors could provide the quality control service for industries that need to stablish high standards for their process. The real-time nature of the welding inspections and seam tracking is also verified in this paper. It is shown that the minimum error of inspection in real-time is within ± 0.18 mm

in butt and “V” joint, and a minimum of 0.23mm at Cartesian correction. The results show that the fluctuation range of control system is reduced, which can meet the requirement of real-time for welding inspections, seam finding and tracking.

At the time of publication of this paper, the hybrid sensor system is being tested within real industrial environment with test specimens of welding. From the feedback acquired, the system will be validated, and the suggested improvements will be considered for the following design of the hybrid sensor system. Additionally the system could employ a band pass filter centered at 650 nm \pm 50/80nm, spectrum during welding reach from 100nm to 600nm; the use of standard neutral density filter reduce the arc light. However, the use a neutral density reduces the intensity of the laser stripe captured by camera. For the hybrid sensor system to be a useful device, the technology developed must be studied in order to be capable of being integrated with the several welding stations (brands of robots, control of process, power welding source and communication protocols).

For the future work the research will be extended to cover the preferred robots from Latin American Industries with an analog input module; this features will be important to expand their development to industries in developing countries.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank Nova Industrial Tools, FINCYT (PIPEI-8-P-130-261-14), Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) and the Center of Advanced Manufacturing Technologies (CETAM) for providing the necessary means to develop and implement the sensor.

REFERENCES

- [1] D. Ding *et al.*, “Towards an automated robotic arc-welding-based additive manufacturing system from CAD to finished part,” *Comput. Des.*, vol. 73, pp. 66–75, Apr. 2016.
- [2] M. Liberini *et al.*, “Selection of Optimal Process Parameters for Wire Arc Additive Manufacturing,” *Procedia CIRP*, vol. 62, pp. 470–474, 2017.
- [3] Y. Huang, X. Gao, D. You, and Z. Li, “Investigation of Laser Welding Seam Tracking Based on Visual Sensing,” *2nd Int. Conf. Electron. Mech. Eng. Inf. Technol.*, pp. 1197–1200, 2012.
- [4] J. Ogbemhe and K. Mpofu, “Towards achieving a fully intelligent robotic arc welding: a review,” *Ind. Robot An Int. J.*, vol. 42, no. 5, pp. 475–484, 2015.
- [5] Y. He, H. Zhou, J. Wang, D. Wu, and S. Chen, “Weld seam profile extraction of T-joints based on orientation saliency for path planning and seam tracking,” in *2016 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO)*, 2016, pp. 110–115.
- [6] X. Li, X. Li, S. S. Ge, M. O. Khyam, and C. Luo, “Automatic Welding Seam Tracking and Identification,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 9, pp. 7261–7271, Sep. 2017.
- [7] L. B. Soares *et al.*, “Seam tracking and welding bead geometry analysis for autonomous welding robot,” in *2017 Latin American Robotics Symposium (LARS) and 2017 Brazilian Symposium on Robotics (SBR)*, 2017, pp. 1–6.
- [8] G. Pires, J. Norberto, Loureiro, Altino, Bölmjsjo, “Introduction and Overview,” in *Welding Robots*, London: Springer-Verlag, pp. 1–25.
- [9] L. B. Godefroid, G. L. Faria, L. C. Cândido, and S. C. Araujo, “Fatigue Failure of a Welded Automotive Component,” *Procedia Mater. Sci.*, vol. 3, pp. 1902–1907, 2014.
- [10] Y. Zhai, B. Huang, J. Zhang, B. Zhang, S. Liu, and Q. Huang, “Effect of weld spacing on microstructure and mechanical properties of CLAM electron beam welding joints,” *Fusion Eng. Des.*, vol. 112, pp. 440–449, 2016.
- [11] K. Rek, “Numerical Analysis and Experimental Research on Deformation of Flat Made of TIG Welded 0H18N9 Steel,” *Procedia Eng.*, vol. 177, pp. 182–187, 2017.
- [12] Q. Tang, “Localization and tracking control for mobile welding robot,” *Ind. Robot An Int. J.*
- [13] Fei Gao, Qinglan Chen, and Lanzhong Guo, “Study on arc welding robot weld seam touch sensing location method for structural parts of hull,” in *2015 International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS)*, 2015, pp. 42–46.
- [14] J. Jia, H. Zhang, and Z. Xiong, “A Fuzzy Tracking Control System for Arc Welding Robot Based on Rotating Arc Sensor,” in *2006 IEEE International Conference on Information Acquisition*, 2006, pp. 967–971.
- [15] C.-H. Kim, T.-Y. Choi, J.-J. Lee, J. Suh, K.-T. Park, and H.-S. Kang, “Development of Welding Profile Sensor and Its Application,” in *2008 International Conference on Smart Manufacturing Application*, 2008, pp. 24–29.
- [16] Z. Liling, A. Jiaju, Y. Jianxiong, and W. Zhangqiang, “Application of ultrasonic and CCD dual sensor technology in the underwater welding seam tracking,” in *2016 IEEE Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference*, 2016, pp. 901–904.
- [17] P. Kah, M. Shrestha, E. Hiltunen, and J. Martikainen, “Robotic arc welding sensors and programming in industrial applications,” *Int. J. Mech. Mater. Eng.*, vol. 10, no. 1, p. 13, Dec. 2015.
- [18] D. Xu, Z. Fang, H. Chen, Z. Yan, and M. Tan, “Compact visual control system for aligning and tracking narrow butt seams with CO 2 gas-shielded arc welding,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 62, no. 9–12, pp. 1157–1167, 2012.
- [19] S. Wei, M. Kong, T. Lin, and S. Chen, “Three-dimensional weld seam tracking for robotic welding by composite sensing technology.”
- [20] F. Shi, T. Lin, and S. Chen, “Efficient weld seam detection for robotic welding based on local image processing.”
- [21] Yuan Li, You Fu Li, Qing Lin Wang, De Xu, and Min Tan, “Measurement and Defect Detection of the Weld Bead Based on Online Vision Inspection,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 59, no. 7, pp. 1841–1849, Jul. 2010.
- [22] “Home | Metavision.” [Online]. Available: <http://www.meta-mvs.com/>. [Accessed: 24-Jun-2017].
- [23] “Smart Laser Vision Systems for Smart Robots.” [Online]. Available: <https://servo-robot.com/>. [Accessed: 24-Jun-2017].
- [24] “High precision sensors, measurement devices and systems | Micro-Epsilon America.” [Online]. Available: <http://www.micro-epsilon.com/>. [Accessed: 24-Jun-2017].
- [25] Q. Q. Wu, J. P. Lee, M. H. Park, C. K. Park, and I. S. Kim, “A study on development of optimal noise filter algorithm for laser vision system in GMA welding,” *Procedia Eng.*, vol. 97, pp. 819–827, 2014.
- [26] J.-D. Sun, G.-Z. Cao, S.-D. Huang, K. Chen, and J.-J. Yang, “Welding seam detection and feature point extraction for robotic arc welding using laser-vision,” in *2016 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, 2016, pp. 644–647.
- [27] H. L. Elshatarat, R. Biesenbach, M. B. Younus, and T. A. Tutunji, “MATLAB Toolbox implementation and interface for motion control of KUKA KR6- R900-SIXX robotic manipulator,” in *2015 16th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM)*, 2015, pp. 12–15.
- [28] J. Liu, Z. Fan, S. I. Olsen, K. H. Christensen, and J. K. Kristensen, “A real-time passive vision system for robotic arc welding,” in *2015 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, 2015, pp. 389–394.

Anexo 5: Registro de protección de software del Sistema de Sensado Híbrido





PERÚ

Presidencia
del Consejo de Ministros

INDECOPI

DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR

CERTIFICADO DE REGISTRO DE PROGRAMAS DE ORDENADOR (SOFTWARE)

Nro. Partida Registral: **01938- 2017**
Asiento: **01**
Fecha Presentación: **2017-12-06**
Fecha de Inscripción : **2017-12-21**
No. de Expediente : **003324-2017**

DATOS DE LA OBRA

Título : NOVA CHECK

INEDITA

Tipo de Obra : ORIGINARIA,

País de Origen : PERU

DATOS DEL AUTOR O AUTORES

Anónimo

DATOS DEL PRODUCTOR

Apellidos y Nombres : PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA DEL PERU - PUCP

Domicilio : AV. UNIVERSITARIA N° 1801, SAN MIGUEL (LIMA 32), LIMA. LIMA

DATOS DEL TITULAR O TITULARES


Apellidos y Nombres : PONTIFICIA UNIVERSIDAD Doc. de Identidad 20155945860

País de Nacimiento : PERU

Domicilio : AV. UNIVERSITARIA N° 1801, SAN MIGUEL (LIMA 32), LIMA. LIMA

OBSERVACIONES :

NINGUNA.


.....
DANIEL LAZO BARRETO
Dirección de Derecho de Autor
INDECOPI


FAUSTO VIENRICH ENRÍQUEZ
Director de Derecho de Autor
INDECOPI

El derecho de autor protege exclusivamente la forma original y creativa, mediante la cual las ideas del autor son descritas, explicadas, ilustradas o incorporadas a las obras. No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias y artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas, ni su aprovechamiento industrial o comercial (artículos 8° y 9° del Decreto Legislativo Nro. 822.)



INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA DE LA COMPETENCIA Y DE LA PROTECCIÓN DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL



Se adjunta:

REQUISITOS NECESARIOS

1. Ejemplar de la obra en formato
 Papel CD Diskette Otro

2. La tasa administrativa Sí No

REQUISITOS DE SOFTWARE

1. Código Fuente Sí No
 Sí No

2. Ejecutables o Memoria Descriptiva Sí No
 Sí No

3. Manual del usuario Sí No
 Sí No

REQUISITOS DE SER EL CASO

1. Poder Sí No
 Sí No

2. Atorizaciones o cesión de derechos Sí No
 Sí No

Dirección de Derecho de Autor
Indecopi

2017 DEC -6 PM 12:14
Sello de Recepción

RECIBIDO
MESA DE PARTES

Solicitud de Registro de Software y Base de Datos,

1. Solicitante

Declaro bajo juramento que todos los datos consignados en el presente formato corresponden a la verdad.

■ ¿Es usted? Autor / Co-Autor
 Productor
 Titular
 Representante o apoderado de: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 (Representado o Poderdante)

■ Mis datos personales son:

GUEVARA Apellido Paterno PAREDES Apellido Materno MELISA Nombres

07536364 Documento de Identidad AV. UNIVERSITARIA 1801 Domicilio - Vía (Calle, Jirón, Avenida, etc.) / Número

SAN MIGUEL Distrito LIMA Provincia LIMA Departamento 6262027 Teléfono

2. Datos de la Obra

El título es: NOVA CHECK

■ ¿La Obra se publicó? Sí No

■ ¿La Obra es derivada? Sí (llenar 5b) No

¿Cuál es el país de origen de la obra? PERÚ

¿Cuándo se terminó la obra? 10/10/17

¿Cuándo se publicó la obra? 1-1

Obra Derivada: Es aquella basada en otra obra ya existente, ejemplo adaptación, arreglo, traducción, resumen u otra transformación de la obra originaria.

3. Datos del Autor o Autores

(marcar con "x")

La obra se publicó en forma ANÓNIMA (sin señalar nombre de autor)

La obra se publicó bajo SEUDÓNIMO

Se puede identificar al autor o autores

Llenar esta información sólo si la obra fue publicada bajo SEUDÓNIMO

SEUDÓNIMO del Autor 1

SEUDÓNIMO del Autor 2

SEUDÓNIMO del Autor 3

Autores identificados

■ Autor N° 1

SIGUENZA Apellido Paterno ASTOQUILLCA Apellido Materno MICHEL Nombres

73193040 Documento de Identidad 25/08/1992 Fecha de Nacimiento — Fecha de Defunción (si fuera el caso)

PERÚ País de Nacimiento JR. JUAN MANUEL DEL MAR Y BERNEDO 1369 INT. 304 Domicilio - Vía (Calle, Jirón, Avenida, etc.) / Número

CERCADO DE LIMA Distrito LIMA Provincia LIMA Departamento

(el autor ha decidido aparecer de forma ANÓNIMA)

Abg. MELISA GUEVARA PAREDES
Jefe Oficinas de Propiedad Intelectual
Vicerrectorado de Investigación
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Autor N° 2

Apellido Paterno	Apellido Materno	Nombres
Documento de Identidad	Fecha de Nacimiento	Fecha de Defunción (si fuera el caso)
País de Nacimiento	Domicilio - Vía(Calle, Jirón, Avenida, etc.) / Número	
Distrito	Provincia	Departamento

Autor N° 3

Apellido Paterno	Apellido Materno	Nombres
Documento de Identidad	Fecha de Nacimiento	Fecha de Defunción (si fuera el caso)
País de Nacimiento	Domicilio - Vía(Calle, Jirón, Avenida, etc.) / Número	
Distrito	Provincia	Departamento

Si usted necesita más espacio puede utilizar hojas adicionales

4. Datos del Productor o Titular (*)

Productor: Es la persona natural o jurídica que tiene la iniciativa, coordinación y financia la producción de la obra.

Apellido Paterno	Apellido Materno	Nombres / Razón Social	
20155945860	AV. UNIVERSITARIA 1801	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	
Documento de Identidad	Domicilio - Vía (Calle, Jirón, Avenida, etc.) / Número		
SAN MIGUEL	LIMA	LIMA	6262027
Distrito	Provincia	Departamento	Teléfono

(*) Se presume, salvo pacto en contrario, que los derechos patrimoniales de los autores han sido cedidos al productor en forma ilimitada y exclusiva (Art 68 del Decreto Legislativo 822).

5. Autorización o Cesión de Derechos

(marcar con "X" en caso de ser afirmativa su respuesta)

- a. Declaro que la obra fue realizada po encargo del Productor o Titular.
 - b. Declaro poseer el documento de **Cesión de Derechos** de la obra otorgada a mi favor.
- En caso de Obra Derivada**
- b. Declaro poseer la autorización escrita del autor de la obra originaria titulada para modificar esta obra.

6. Exhibición de la Obra

- Sí No ¿Acepta Ud. que la obra sea exhibida en las exposiciones que la Dirección de Derecho de Autor organice?
- Sí No ¿Acepta Ud. que el título de su obra con una breve sumilla del contenido sea publicado en el Boletín Electrónico de la Dirección de Derecho de Autor?
- Sí No ¿Acepta Ud. la reproducción digital de su obra para su conservación en el Archivo del Registro Nacional de Derecho de Autor y Derechos Conexos?

Correspondencia

Autorizo la entrega de las NOTIFICACIONES y el CERTIFICADO DE REGISTRO (Marcar una sola opción)

- Entrega personal (Vía courier)
- Por correo electrónico
- Por telefax

a la siguiente dirección:

AV. UNIVERSITARIA 1801		SAN MIGUEL	
Domicilio - Vía (Calle, Jirón, Avenida, etc.) / Número			
LIMA	LIMA	PERÚ	melisa.guevara@pucp.pe
Provincia	Departamento	País	E-mail / Telefax

[Firma manuscrita]
Firma del Solicitante

NOTA: Los documentos o materiales presentados con la solicitud **no** serán devueltos.

En cumplimiento de lo dispuesto por la Ley N° 29733, Ley de protección de Datos Personales, le informamos que los datos personales que usted nos proporcione serán utilizados y/o tratados por el Indecopi (por sí mismo o a través de terceros), estricta y únicamente para administrar el sistema de promoción, registro y protección de derechos de propiedad intelectual (signos distintivos, invenciones y nuevas tecnologías, y derecho de autor) en sede administrativa, así como, de ser el caso, para las actividades vinculadas con el registro de usuarios del sistema de patentes, pudiendo ser incorporados en un banco de datos personales de titularidad del Indecopi.

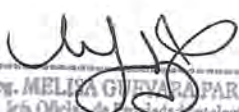
Se informa que el Indecopi podría compartir y/o usar y/o almacenar y/o transferir su información a terceras personas, estrictamente con el objetivo de realizar las actividades antes mencionadas.

Usted podrá ejercer, cuando corresponda, sus derechos de información, acceso, rectificación, cancelación y oposición de sus datos personales en cualquier momento, a través de las mesas de partes de las oficinas del Indecopi.

Anexo de Solicitud de Registro de Software

Se adjunta a la presente solicitud los siguientes documentos:

- 1- Documento de poder a favor de Melisa Guevara Paredes, para actuar en representación de la Pontificia Universidad Católica del Perú
- 2- Convenio de Asociación en Participación y Adenda
- 3- Contrato de Cesión de Derechos
- 4- Un (1) CD que contiene el Código Fuente del Software "NOVA CHECK", el Manual de Usuario y los Ejecutables.


Abg. MELISA GUEVARA PAREDES
Jefa Oficina de Propiedad Intelectual
Vicerrectorado de Investigación
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ