

PROYECTO

DATOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

- **Título del Proyecto de investigación.**

“MEJORAMIENTO DE LA DETECCIÓN DE DEFECTOS EN LA FABRICACIÓN ADITIVA A TRAVÉS DE UN SISTEMA TERMOGRÁFICO DE PULSO LARGO”

- **Responsable del Proyecto.**

M.sc. Henry Shuta Lloclla.

Correo electrónico: Henry.shuta@gmail.com

- **Área en la que se inscribe.**

“DESARROLLO ENERGÉTICO SOSTENIBLE, GESTIÓN AMBIENTAL Y FUENTES DIVERSAS DE ENERGÍA”.

RESUMEN

La fabricación aditiva (AM, por sus siglas en inglés), a lo largo de los años, ha visto una gran cantidad de investigación para mejorar la capacidad de fabricación de materiales en productos finales. Las principales ventajas de La fabricación aditiva es la reducción residual, ya que es un proceso aditivo. También como la capacidad de crear productos personalizados de bajo volumen sin la necesidad de crear costosas herramientas o programación antes de que comience la fabricación. Debido a estas ventajas, sin embargo, AM es susceptible a desafíos únicos en el lado de la calidad de la fabricación.

Estos desafíos incluyen minimizar y detectar defectos durante la construcción. El foco de esta investigación es analizar la capacidad de usar el pulso termográfico (PT), un método de prueba no destructivo, con más de longitud de pulso típica en piezas fabricadas aditivamente para la detección de defectos superficiales y subterráneos así como la determinación de propiedades térmicas basadas en una profundidad de vacío conocida.

Se analizarán un rango de longitudes de pulso mayor que 100 ms para determinar si la suposición previamente definida es necesaria para un defecto preciso detección. La importancia de aumentar la longitud del pulso es tener la capacidad de aumentar la entrada de energía global en la pieza sin tener que aumentar la potencia. Permitiendo capacidad de detección de defectos para defectos superficiales y profundos con la misma configuración general.

PALABRAS CLAVE

Fabricación aditiva, reducción residual, detectar defectos, pulso termográfico, método de prueba no destructivo.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Perú, los residuos representan un problema grave para las autoridades y también para la sociedad, esto debido a la falta de interés por reducir la producción de residuos por parte de las empresas, en tal sentido, las empresas que trabajan con fabricación aditiva y que tienen mermas o defectos podrán detectar estos durante la producción y ya no esperar a que se culmine y simplemente desecharlos.

Procesos de fabricación como el Control Numérico por Computadora (CNC), forja, conformado de chapa y más han existido por mucho tiempo. Los dos tipos de fabricación de estos procesos caen debajo son sustractivos y formadores. Substractivo es donde un producto se corta de una pieza del material de stock y la formación implica la remodelación del producto deseado a partir de una pieza de material de stock (Stansbury & Idacavage, 2016).

Aunque estos procesos de fabricación han existido durante años, tienen algunos inconvenientes específicos. Por ejemplo, si se necesita una parte estructuralmente fuerte, pero la reducción de peso es crítica, una estructura de celosía podría agregar el soporte necesario mientras mantiene el peso en un mínimo. Sería muy difícil, si es posible, que un proceso de mecanizado de Control Numérico por Computadora (CNC) pueda cortar una estructura reticular interna. O, si una parte tiene una geometría muy compleja con tolerancias requeriría múltiples procesos de fabricación para producir en última instancia.

Recientemente, ha surgido un nuevo enfoque de fabricación en el mercado que aborda algunos de estos inconvenientes, y se conoce como fabricación aditiva (AM). Los productos están hechos por el agregado de material capa por capa de abajo hacia arriba. Originalmente AM se llamaba creación rápida de prototipos porque el proceso se usó principalmente como una forma rápida de construir 3 dimensiones prototipos de modelos CAD para la visualización práctica del diseño (Gibson et al., 2015).

A medida que la tecnología creció y los procesos refinados, el nombre fue cambiado ya que las piezas ahora se construían no para prototipos, sino como productos terminados utilizados en el campo. Las principales ventajas que la fabricación aditiva tiene sobre la mayoría de los otros procesos de fabricación son la capacidad de crear bajo volumen formas personalizadas y complejas sin la necesidad de una configuración costosa inicial. Además, la pérdida de material es mínima en comparación, ya que solo se utiliza el material necesario para construir el producto. Los restos de material, si los hay, pueden ser reutilizados en la fabricación de otro producto. Por lo tanto, AM es cada vez más ganando el interés de los fabricantes y siendo utilizado cada vez más para la construcción final de productos (Attaran, 2017).

Existen múltiples procesos de fabricación aditiva, que son diferentes entre sí, que se especializan en diferentes aspectos; ya sea ese es el tipo de material, la precisión dimensional o la resistencia de la pieza.

a. Formulación del problema.

Los métodos de prueba no destructivos han demostrado capacidad para detectar defectos en piezas de fabricación aditiva. El uso de la termografía infrarroja entre esos métodos es muy atractivo en la fabricación aditiva ya que este método es relativamente rápido y es menos sensible a la rugosidad de la superficie. Con esto se pretende pues reducir la cantidad de residuos generados por la industria de la fabricación aditiva ya que no se presentarán unidades defectuosas que luego serán desechadas, por lo tanto, se plantean las siguientes interrogantes.

b. Problema general.

¿En qué nivel se logra mejorar la detección de defectos en la fabricación aditiva a través de un sistema termográfico de pulso largo?

De este problema general se desprenden los siguientes problemas específicos:

- i. ¿Cuál es el impacto ambiental de lograr la detección de defectos en la fabricación aditiva a través de un sistema termográfico de pulso largo?
- ii. ¿Cuál es el impacto económico de implementar un sistema termográfico de pulso largo para la detección de defectos en la fabricación aditiva?
- iii. ¿Cuáles son las limitaciones existentes del sistema termográfico de pulso largo sobre la fabricación aditiva?

II. JUSTIFICACIÓN.

El pulso termográfico (PT) utiliza un pulso térmico en la superficie de una pieza y monitorea la variación espacial de la temperatura de la superficie a lo largo del tiempo. Materiales previamente estudiados utilizando Este método de detección de defectos incluye polímeros reforzados con fibra de vidrio (GFRP) y aluminio (Al), acero inoxidable 316, compuesto cerámico y polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP). En la fabricación aditiva, este método podría aplicarse para la detección de defectos capa por capa o para defectos subsuperficiales después de colocar un par de capas. Esto a su vez, crea la posibilidad de estar en línea reparar si se detecta un defecto antes de la finalización, reduciendo el material de desecho.

a. Justificación Técnica

Desde el aspecto técnico, podemos afirmar que el pulso termográfico puede ser utilizado para la calificación y cuantificación de los defectos debajo de la superficie

que será examinada y discutida. Un método modificado de PT se utilizarán pulsos más largos (pulso > 100 ms) en función de una relajación del original supuestos para cuantificar con precisión los defectos superficiales y subsuperficiales. Entonces, el método modificado se utilizará para la detección de defectos subsuperficiales posteriores al proceso de fabricación aditiva. Desde allí, debido al método modificado, la capacidad de caracterización de superficie y defectos serán detectados de manera temprana evitando así la merma o los productos defectuosos.

b. Justificación Económica

Considerando que la implementación del sistema termográfico de pulso largo reduce los productos defectuosos y la merma hace que estos productos se conviertan en productos listos para vender en su inventario, en este sentido, significa un aumento de las ventas de la empresa dedicada a la fabricación aditiva.

La implementación del sistema termográfico de pulso largo es pues una medida viable de implementar ya que la inversión inicial supone una recuperación a largo plazo a través de los productos que ya no serán defectuosos y podrán ser puestos a la venta.

c. Justificación Social

La implementación del sistema termográfico de pulso largo en la industria de la fabricación aditiva con el propósito de la reducción de los productos fallados hará que se generen menos residuos sólidos, por lo tanto, esto beneficiará de manera directa a la sociedad ya que no tendrán que lidiar con el exceso de residuos o el mal tratamiento de estos generando así un clima positivo y óptimo de confort social para las personas.

III. HIPÓTESIS.

a. Hipótesis general.

Sería posible mejorar la detección de defectos en la fabricación aditiva a través de un sistema termográfico de pulso largo.

b. Hipótesis específicas.

- Se generaría un impacto ambiental positivo de lograr la detección de defectos en la fabricación aditiva a través de un sistema termográfico de pulso largo.
- Se obtendría un impacto económico positivo de implementar un sistema termográfico de pulso largo para la detección de defectos en la fabricación aditiva.
- Existirían limitaciones existentes respecto a la implementación del sistema termográfico de pulso largo sobre la fabricación aditiva.

IV. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.

La presente investigación tiene el propósito de analizar la factibilidad correspondiente al mejoramiento de la detección de defectos en la fabricación aditiva a través de un sistema termográfico de pulso largo. Teniendo presente la gran dimensión que tiene el concepto de fabricación aditiva y siendo consecuentes con la realidad nacional, se estudiará esta en líneas generales de proporción de soluciones para la detección de defectos en la fabricación aditiva de piezas complementarias en rubros como la medicina y las industrias en general.

a) Objetivo General.

Establecer el nivel de mejora de la detección de defectos en la fabricación aditiva a través de un sistema termográfico de pulso largo.

b) Objetivos específicos

- Determinar el impacto ambiental de lograr la detección de defectos en la fabricación aditiva a través de un sistema termográfico de pulso largo.
- Analizar el impacto económico de implementar un sistema termográfico de pulso largo para la detección de defectos en la fabricación aditiva.
- Sintetizar las limitaciones existentes del sistema termográfico de pulso largo sobre la fabricación aditiva.

V. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

Göni (2014) en su trabajo de investigación titulado: "Ensayos no destructivos para localización de grietas en piezas estampadas" realiza un análisis de los diferentes ensayos no destructivos con la finalidad de introducir un sistema de detección de grietas en piezas estampadas a la salida o en el interior de la prensa, entre dos estampaciones consecutivas de la misma, y de cada ensayo no destructivo se analizarán las ventajas e inconvenientes descartando aquellos cuya implantación no es posible. Por lo que las posibilidades de dispositivos de control de las grietas se basarán en cuatro de estos ensayos: termografía infrarroja activa, resonancia acústica, ultrasonidos y visión artificial. Para finalizar la autora considera importante remarcar que a pesar de que la visión artificial es un método que no detecta fisuras, la implantación de este es sencilla y poco costosa que no supondría una modificación de la salida de la prensa a diferencia que en el caso de la termografía activa, ya que en este caso la instalación de los sistemas de excitación y recepción podría modificar la distribución actual. Finalmente hace presente su opinión sobre que un sistema de detección de grietas por visión artificial supondría muy beneficioso para la fábrica solucionando el problema al que se refiere.

Ramírez (2011) en su tesis doctoral titulada: "Detección y Reconstrucción de Defectos Subsuperficiales en 3-D mediante el Análisis de Datos de Termografía Pulsada" nos explica que En el campo de la inspección de materiales existen dos aproximaciones básicas: la inspección destructiva y la no-destructiva. La inspección destructiva de objetos implica la inutilización o pérdida del objeto inspeccionado. Este tipo de técnicas de inspección es útil y la única opción en ciertas aplicaciones. Sin embargo, tienen un alto costo debido a la destrucción del objeto, aún si resulta que éste estaba libre de defectos y en buenas condiciones para cumplir con la función para la cual fue diseñado. Adicionalmente, la inspección destructiva es aplicable sólo a unos cuantos objetos de muestra, ya que sería imposible examinar y destruir una producción completa. En tal sentido, el autor desarrolló un modelo de transferencia de calor para sintetizar, comprimir y reconstruir datos de termografía pulsada de objetos laminados. El autor presenta como una de sus conclusiones a su afirmación de que los sistemas de inspección mediante termografía IR tienen las ventajas de ser no-destructivos, no-invasivos o sin contacto, seguros para el operador y el objeto, y altamente sensibles. Además pueden operar en tiempo real o fuera de línea, y han demostrado ser rentables en muchas aplicaciones.

VI. MARCO TEORICO.

Calidad en fabricación aditiva

El control de calidad es un proceso esencial en la fabricación para garantizar un acabado final sin defectos. Para la mayoría de los procesos de fabricación de gran volumen, pruebas destructivas de una muestra finita de productos es un método viable para la detección de defectos. Las técnicas de control de procesos y el costo de las pruebas destructivas es pequeño, ya que se limita a un pequeño porcentaje de las partes. Este enfoque no es efectivo para la fabricación aditiva. El proceso capa por capa de la fabricación aditiva le permite sobresalir en partes con bajo volumen y/o formas complejas, esto crea un entorno desafiante para el control de calidad. El complejo las geometrías complican la evaluación de calidad y las bajas cantidades hacen pruebas destructivas para un Control de calidad mucho más caro. También debido a la naturaleza y al punto personalizable de la introducción de material localizada con la fabricación aditiva son posibles muchos más tipos de defectos y ubicaciones (Lieneke et al., 2016).

Si bien la calidad se puede evaluar en función del monitoreo de las condiciones del proceso, la actual Los métodos de control pueden ser insuficientes para garantizar que el mismo conjunto de parámetros Producir piezas libres de defectos. Las variaciones de los parámetros de entrada, así como el proceso no controlado y Las variables posteriores al proceso pueden generar variaciones entre las compilaciones. Esto afectará a todos los tipos diferentes. de tecnologías de fabricación aditiva. Por ejemplo, con procesos basados en

polvo, el tamaño de partícula del polvo tiene variación normal (Zhang & Zhao, 2017). Por lo tanto, dentro de cada capa, la variación de densidad puede ocurrir debido a la variación en distribución del tamaño de partícula en cada punto cuando se deposita la capa de polvo.

Monitoreo de procesos in situ en fabricación aditiva

Dados estos desafíos, se ha realizado un trabajo significativo para comprender las condiciones de procesamiento de un buen producto como primer paso hacia el control de calidad. Por ejemplo, Kousiatza y Karalekas (2016) utilizaron sensores de rejilla de fibra Bragg (FBG) y termopares integrados en diferentes capas del proceso FDM para el monitoreo en tiempo real de cepas residuales y perfiles de temperatura.

Seppala y Migler, (2016) estudiaron la capacidad de medir con precisión las temperaturas de la zona de soldadura en el proceso para comprender mejor las características térmicas durante la construcción para mejorar la resistencia de la soldadura. Dando un paso más allá, Costa et al. (2017) se le ocurrió una solución analítica para la conducción del calor a lo largo del tiempo de la extrusión del filamento. Demostraron que cuanto más baja era la temperatura de extrusión, más pobre era la adhesión entre las carreteras. Mejorar la resistencia de la soldadura entre carreteras de la parte FDM aumentará la resistencia general y minimizará la posibilidad de delaminación entre capas.

Con los procesos de fusión, se han realizado muchas investigaciones para estudiar el grupo de fusión como bien. El grupo de fusión es la zona crítica de cualquier proceso de fusión localizado en un punto, ya que es el finito área que derrite el polvo y crea la pieza. Con la fuente termal localizada a tan buena área, pequeñas variaciones en el aporte de energía pueden cambiar el resultado del proceso. Craeghs et al. (2012) utilizó monitoreo óptico, a través de una cámara CMOS y fotodiodo plano con una longitud de onda sensibilidad de 400-900nm, para controlar el resplandor de la piscina de fusión. Estudiaron la correlación con la ubicación del láser y los datos de la imagen del grupo de fusión en un proceso de fusión selectiva por láser (SLM) para detectar cuando el láser está sobrecalentando el polvo. Se encontró que al mapear el grupo de fusión con el láser en el plano X-Y en lugar del tiempo, se podría ver cuando el láser está sobrecalentando un voladizo (cuando la piscina de fusión está rodeada de polvo crudo) y necesita estructuras de soporte para minimizar el fenómeno Este sobrecalentamiento puede afectar la calidad de la superficie y crear defectos en la parte

Monitoreo no destructivo de la calidad en la fabricación aditiva

El enfoque inicial de la mayoría de los métodos en la literatura está en el monitoreo de procesos, así como Control de propiedades mecánicas y térmicas. Esto es crítico para garantizar que el proceso esté optimizado, por lo tanto aumentando el porcentaje de compilaciones exitosas. En la fabricación aditiva, como con otros procesos de fabricación. sin embargo, existen posibilidades de parámetros no controlados, como los desechos

extraños en el filamento, que puede causar defectos internos en la parte: defectos que podrían conducir a una disminución propiedades mecánicas y posible falla de la pieza. Por lo tanto, métodos no destructivos para detectar Los defectos son cruciales para maximizar el control de calidad de las piezas fabricadas aditivamente. Con el Mejoras en el monitoreo y control de procesos, la investigación se ha desplazado a pruebas no destructivas y detección de defectos.

Con la fusión selectiva por láser (SLM), Rieder et al (2014) también analizaron la detección de piezas. utilizando ultrasonido. Mostraron la capacidad de detectar un defecto de 2 mm de polvo sin fundir en un cilindro fabricado por un proceso SLM.

Zeltmann et al (2016), evaluaron la capacidad del ultrasonido para detectar un defecto de 500 μm en una pieza impresa FDM; sin embargo, no pudieron distinguir el defecto del ruido de los datos. Otro método de prueba no destructivo estudiado es el óptico. tomografía de coherencia (OCT) que produce una representación tridimensional de la parte.

Guan et al. (2015) mostraron que OCT detectó variaciones microestructurales en el láser sinterizado selectivo (SLS) parte. Sin embargo, solo pudieron penetrar la parte a una profundidad de aproximadamente 400 μm . Sin embargo, con espesores de capa de un promedio de 100 μm , este podría ser un método útil para implementación para monitoreo de procesos en línea.

Pasivo es cuando una parte u objeto es estudiado produce su propia fuente de calor y activo es cuando el objeto se calienta y luego Se controla la temperatura de la superficie. Ejemplos de técnicas activas de termografía infrarroja en AM incluye la evaluación de la zona afectada por el calor en correlación con la estrategia de escaneo láser y datos de parte de Inconel 718 en SLM, así como defectos debajo de la superficie, como polvo en bruto. Krauss et al. (2012) descubrieron que midiendo la irradiancia total de una capa durante el tiempo de exposición podían Detecta defectos de polvo en bruto de hasta 100 μm . La razón de esto es porque la tasa de transferencia de calor para el polvo crudo es muy lenta en comparación con el polvo ya sinterizado. Schwerdtfeger et al. (2012) de manera similar, observó una parte construida por un proceso EBM a través de una cámara infrarroja durante la construcción para controlar el perfil de temperatura de la superficie y determinar si la detección de defectos en línea fue posible. Cuando se analizaron los termogramas en comparación con las imágenes ópticas tomadas de Schwerdtfeger et al encontraron que los puntos calientes en los termogramas coincidían con los del imágenes ópticas tomadas a la misma altura de capa.

Método de pendiente de contraste de temperatura pico

Para reducir el ruido, se promediaba una pequeña región rectangular de píxeles en cada momento punto para la región de sonido y defecto. Las profundidades del defecto se calcularon tomando un polinomio ajuste de los datos de contraste de temperatura, y luego

la primera derivada de eso como se ve en la Figura 1 es presentada para encontrar la pendiente máxima veces t_s . Según los resultados de la simulación, $t = 0$ se toma como el punto medio del pulso.

Figura 1. Imagen Térmica: inmediatamente después de flash y persianas



Figura 2. Imagen térmica: $t=0.7s$

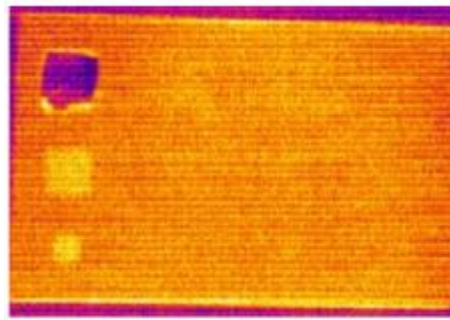


Figura 3. Imagen térmica: $t=4.2s$

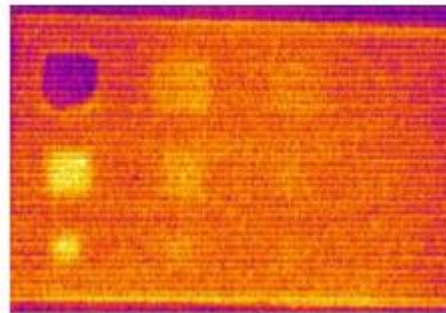
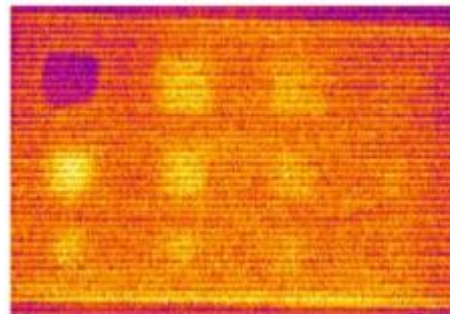


Figura 4. Imagen térmica: $t=9s$



Interpretación: El lugar fresco (punto azul) en la esquina superior izquierda es un recorte que se realizó para el análisis de profundidad y no se considera un defecto para fines de análisis.

A medida que los defectos se hacen más profundos, la variación de la profundidad calculada aumenta cuando se usa el método de pendiente de contraste de temperatura pico. Sin embargo, eso es lo esperado, porque los defectos más profundos crean un gradiente de temperatura mucho más pequeño a medida que la energía se disipa con el tiempo. Con estos más pequeños gradientes de temperatura, se hace más difícil diferenciar del ruido en la temperatura medición y los efectos de los defectos del sustrato. Además, cuanto más profundo es el defecto, mayor área transversal se requiere para un cálculo preciso de la profundidad. El ancho de 8x8 mm del defecto de 1.8 mm es no es lo suficientemente grande para una predicción precisa dentro del ABS que tiene una baja difusividad térmica. El análisis cuantitativo de la profundidad del defecto bajo la superficie se centra en la descomposición de la superficie temperatura después del final del pulso. La efectividad de la detección de defectos bajo la superficie a través del pulso La termografía depende del tamaño del defecto y la profundidad. Como se muestra en los resultados, profundidades se calcularon con precisión hasta 1,2 mm con un defecto de ancho de 8x8 mm. Cuando se trata de propiedades mecánicas, sin embargo, defectos mucho más pequeños que esto pueden causar fallas mecánicas en la parte.

Anna y Selcuk (2003) descubrieron que durante las pruebas de tracción, algunas piezas del ABS fallaban prematuramente debido a pequeñas imperfecciones / defectos que incluyen microgrietas en la superficie. Así, La capacidad de detectar defectos finos es crítica para el rendimiento de la pieza.

Este trabajo muestra que el uso de un pulso más largo de más de 100 ms en termografía de pulso sigue siendo un método efectivo para determinar defectos de hasta 1.2 mm de profundidad en polímero ABS. En mayor profundidades (1,8 mm), se pudieron detectar los defectos, pero la profundidad real del defecto estaba por debajo del profundidad calculada. Lo más probable es que esto se atribuya a que el ancho del defecto es demasiado pequeño para Cálculo preciso de la profundidad con el material de baja difusividad térmica del ABS. También puede ser relacionado con los límites de los modelos de temperatura / profundidad utilizados.

Sin embargo, esta profundidad no es del mayor interés en AM para el monitoreo de procesos en línea y se puede ver más como una cualitativa detección de profundidad. Como el objetivo para la detección de profundidad de defectos debajo de la superficie en AM es la capacidad de detección temprana para posibles reparaciones o desperdicios con un desperdicio mínimo, la segunda derivada de registro el método no fue tan consistente en

la detección de la profundidad del defecto como la pendiente de contraste de la temperatura máxima método con un pulso más largo y esto probablemente se atribuya al error magnificado con el segunda derivada y los gradientes de baja temperatura de la entrada de energía por la configuración.

Es posible analizar un modelo más refinado para determinar aún más la efectividad de este método con pulsos más largos. Con un pulso más largo, este estudio también muestra que la luz infrarroja reflejada puede ser utilizada para la detección de defectos en la superficie de piezas impresas de ABS.

Defectos como extrusiones, se pueden ver grietas en las superficie y otras no conformidades tan pequeñas como 4 píxeles térmicos. Así, con un pulso más largo, la superficie de cada capa se puede monitorear a través de luz infrarroja reflejada mientras Los defectos debajo de la superficie dentro de las capas anteriores se pueden detectar y cuantificar para maximizar la calidad información de control en la parte de la fabricación aditiva.

Beneficio del pulso más largo

Dos lámparas de flash de 2000 vatios (W) parpadearon para un rango entre 2-10 ms y producen un rango de 8-40 julios (J) de energía que se proyecta sobre la superficie de la parte que se excita térmicamente. Simplemente aumentando la duración del flash de 2 a 10 ms (5x), la entrada de energía también aumenta 5x. Para poder aumentar aún más la cantidad de energía se requeriría un condensador más grande para almacenar más energía Sin embargo, al usar un suministro continuo de voltaje continuo para pulsos más largos, La misma entrada de energía de 32J se puede producir con dos bombillas halógenas de 500W que parpadearan durante 40 ms. Y las bombillas halógenas se pueden encender durante mucho más tiempo, aumentando aún más la energía.

Esta capacidad de usar un pulso más largo es especialmente atractiva en la fabricación aditiva (AM) de componentes metálicos a través de procesos en polvo. Como muestran Masamune y Smith (1963), la conductividad térmica de los lechos de polvo es significativamente menor que la conductividad térmica de su contraparte de material a granel. Por lo tanto, las difusividades térmicas también son significativamente más pequeñas. Por lo tanto, se necesitaría un pulso más largo para la detección de defectos para obtener un contraste térmico lo suficientemente grande para propósitos de cuantificación precisos. El pulso más largo permitiría la capacidad de expandir PT en la industria de AM como un método de prueba no destructivo viable.

Kim et al (2013) miraron al usar termografía activa con una duración de calentamiento de 150 s para detectar el adelgazamiento de la pared en nuclear componentes de tubería. El objetivo del estudio no fue cuantificar las profundidades, sino simplemente determinar si el

método fue efectivo para detectar los defectos, lo que fue. Recientemente Almond et al. (2017) estudió un nuevo método de cuantificación analítica de profundidades de defectos utilizando longitudes de pulso de 5s en 4 materiales diferentes basados en el contraste térmico de la región defectuosa producida a partir de un flujo de calor específico. Basado en el flujo de calor estimado aplicado a la superficie por encima de un defecto región, podrían comparar el contraste de temperatura experimental con el contraste previsto y correlacione eso con una profundidad de defecto prescrita. Se demostró que para materiales con baja temperatura conductividad, el método demostró ser efectivo para determinar las profundidades de los defectos, aunque se mencionó que los defectos más profundos se predijeron con mayor precisión. Desde un punto de vista de monitoreo en línea para AM, sin embargo, estos métodos serían menos efectivos ya que las longitudes de pulso requeridas aumentar drásticamente los tiempos de construcción y los defectos menos profundos serían más difíciles de cuantificar.

Al usar un pulso más largo, la detección precisa de defectos se hace posible con varios pulsos longitudes Por lo tanto, permite la capacidad de aumentar la longitud del pulso para aumentar la energía entrada en la parte. Al utilizar la longitud de pulso máxima permitida para defectos precisos detección, la entrada de energía se puede aumentar significativamente creando contrastes térmicos más grandes en el superficie. Esto a su vez minimiza el posible error de la relación señal / ruido. También permite mediciones de profundidad de defectos de un rango mucho más amplio de profundidades de defectos así como también Gama de piezas con varias propiedades térmicas. También hay otro beneficio importante de más tiempo análisis de pulso, y ese es el uso de los reflejos infrarrojos emitidos por la parte durante el pulso. Dependiendo de las características de la superficie, como defectos, los reflejos variarán en el IR cámara fuera de la superficie.

VII. METODOLOGIA.

7.1 Lugar de estudio.

El estudio se realizará en la ciudad de Lima, focalizando en especial empresas dedicadas a la fabricación aditiva.

7.2 Población y tamaño de muestra.

La población de muestra serán empresas con reconocida trayectoria, dedicadas a la fabricación aditiva en la ciudad de Lima las cuales son: Voestalpine High Performance Metals del Perú S.A y Kankunapa Group.

7.3 Descripción de los métodos.

Se trata de una investigación analítica de corte transversal y de diseño cuantitativo a través del cual se utilizará la recolección de datos y cálculo de las cantidades de residuos sólidos desechados en materia de productos defectuosos o merma.

VIII. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

ACTIVIDADES	N° SEMI. MES.	2019				2020																							
		DIC				ENE				FEB				MAR				ABR				MAY							
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Presentación y Revisión del perfil de tesis		x	x	x	x	x	x	x	x																				
Revisión Bibliográfica						x	x	x	x	x	x																		
Recopilación de Información										x	x	x	x																
Sistematización de información												x	x	x	x	x	x												
Elaboración del borrador de tesis																		x	x										
Selección de la tecnología																				x	x	x	x						
Revisión del borrador de Tesis																						x	x	x	x				
Presentación del borrador de Tesis																										x	x		
Presentación y sustentación de la tesis																												x	x

IX. PRESUPUESTO.

Detalle	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario S/.	Precio total S/.
Adquisición de computadora	Und.	1	4500.00	4500.00
Adquisición de impresora	Und.	1	450.00	450.00
Papel 80g	Millar	10	22.00	220.00
Adquisición bibliográfica	Und.	2	100.00	200.00
Adquisición de datos para el diseño	Und.	1	300.00	300.00
Tóner	Und.	2	120.00	240.00
Adquisición de revistas especiales	Und.	5	40.00	200.00
Adquisición de software	Und.	1	750.00	750.00
Internet 6MB	Mes	6	179.00	1074.00
Copias fotostáticas	Und.	2500	0.10	250.00
Digitadores	Mes	4	300.00	1200.00
Disco duro Memoria externa	Unidad	1	280.00	280.00
Total				S/. 9,664.00

X. BIBLIOGRAFÍA.

- Almond, D., Angioni, S. & Pickering, S. (2017). Long pulse excitation thermographic non-destructive evaluation. Publicado en *NDT & E International*, 87, pp. 7-14.
- Anna, B. & Selçuk, G. (2003). Mechanical characterization of parts fabricated using fused deposition modeling. Publicado en *Rapid Prototyping Journal*, 9(4), pp. 252-264.
- Costa, S., Duarte, F. & Covas, J. (2017). Estimation of filament temperature and adhesion development in fused deposition techniques. Publicado en *Journal of Materials Processing Technology*, 245, pp- 167-179.
- Craeghs, T., Clijsters, S., Kruth, J., Bechmann, F. & Ebert, M. (2012). Detection of Process Failures in Layerwise Laser Melting with Optical Process Monitoring. Publicado en *Physics Procedia*, 39, pp. 753-759.
- Goñi, A. (2014). Ensayos no destructivos para localización de grietas en piezas estampadas (Trabajo de fin de Grado). Universidad Pública de Navarra, España.
- Guan, G. (2015). Evaluation of selective laser sintering processes by optical coherence tomography. Publicado en *Materials & Design*, 88, pp. 837-846.
- Kim, J., Yun, K. & Jung, H. (2013). Investigation of optimal thermal injection conditions and the capability of IR thermography for detecting wall-thinning defects in small-diameter piping components. Publicado en *Nuclear Engineering and Design*, 262, pp. 39-51.
- Kousiatza, C. & Karalekas, D. (2016). In-situ monitoring of strain and temperature distributions during fused deposition modeling process. Publicado en *Materials & amp*, 97, pp. 400-406.
- Krauss, H., Eschey, C. & Zaeh, M. (2012). Thermography for monitoring the selective laser melting process. Publicado en *Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium*.
- Lieneke, T., Denzer, V., Adam, O. & Zimmer, D. (2016). Dimensional Tolerances for Additive Manufacturing: Experimental Investigation for Fused Deposition Modeling. Publicado en *Procedia CIRP*, 43, pp. 286-291.
- Masamune, S. & Smith, J. (1963). Thermal conductivity of beds of spherical particles. Publicado en *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 2(2), pp. 136-143.
- Ramírez, J. (2011). Detección y Reconstrucción de Defectos Subsuperficiales en 3-D mediante el Análisis de Datos de Termografía Pulsada (Tesis de Doctorado). Centro de Investigaciones en Óptica, España.
- Rieder, H., Dillhöfer, A., Spies, M., Bamberg, J. & Hess, T. (2014). Online monitoring of additive manufacturing processes using ultrasound. Publicado en *Proceedings of the 11th European Conference on Non-Destructive Testig*, pp. 6-10.

- Schwerdtfeger, J., Singer, R. & Korner, C. (2012). In situ flaw detection by IR-imaging during electron beam melting. Publicado en *Rapid Prototyping Journal*, 18(4), pp. 259-263.
- Seppala, J. & Migler, K. (2016). Infrared thermography of welding zones produced by polymer extrusion additive manufacturing. Publicado en *Additive Manufacturing*, 12, pp. 71-76.
- Zeltmann, S., Gupta, N., Tsoutsos, N., Maniatakos, M., Rajendran, J. & Karri, R. (2016). Manufacturing and security challenges in 3D printing. Publicado en *JOM*, 68(7), pp. 1872-1881.
- Zhang, L. & Zhao, Y. (2017), Particle size distribution of tin powder produced by centrifugal atomisation using rotating cups. Publicado en *Powder Technology*, 318, pp. 62-67.
- .

XI. MATRIZ DE CONSISTENCIA.

MEJORAMIENTO DE LA DETECCIÓN DE DEFECTOS EN LA FABRICACIÓN ADITIVA A TRAVÉS DE UN SISTEMA TERMOGRÁFICO DE PULSO LARGO				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES
<p>PROBLEMA GENERAL ¿En qué nivel se logra mejorar la detección de defectos en la fabricación aditiva a través de un sistema termográfico de pulso largo?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Establecer el nivel de mejora de la detección de defectos en la fabricación aditiva a través de un sistema termográfico de pulso largo.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL Sería posible mejorar la detección de defectos en la fabricación aditiva a través de un sistema termográfico de pulso largo.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE Sistema Termográfico de Pulso Largo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura aplicada (t). • Flujo de calor (Q). • Longitud de la onda (λ).
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS ¿Cuál es el impacto ambiental de lograr la detección de defectos en la fabricación aditiva a través de un sistema termográfico de pulso largo?</p> <p>¿Cuál es el impacto económico de implementar un sistema termográfico de pulso largo para la detección de defectos en la fabricación aditiva?</p> <p>¿Cuáles son las limitaciones existentes del sistema termográfico de pulso largo sobre la fabricación aditiva?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS Determinar el impacto ambiental de lograr la detección de defectos en la fabricación aditiva a través de un sistema termográfico de pulso largo.</p> <p>Analizar el impacto económico de implementar un sistema termográfico de pulso largo para la detección de defectos en la fabricación aditiva.</p> <p>Sintetizar las limitaciones existentes del sistema termográfico de pulso largo sobre la fabricación aditiva.</p>	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS Se generaría un impacto ambiental positivo de lograr la detección de defectos en la fabricación aditiva a través de un sistema termográfico de pulso largo.</p> <p>Se obtendría un impacto económico positivo de implementar un sistema termográfico de pulso largo para la detección de defectos en la fabricación aditiva.</p> <p>Existirían limitaciones existentes respecto a la implementación del sistema termográfico de pulso largo sobre la fabricación aditiva..</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE Detección de defectos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Detectabilidad muy alta. • Detectabilidad mediana. • Detectabilidad improbable.