**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**
**Universidad del Perú. Decana de América**

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería de Ingeniería Industrial
Unidad de Posgrado

# Aplicación de la fabricación digital en la etapa de prototipado para optimizar el proceso de fabricación en la industria manufacturera de joyas, Lima

**TESIS**

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial

**AUTOR**

Ciro Javier MEJIA ELIAS

**ASESOR**

Dr. Oscar Rafael TINOCO GÓMEZ

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

**Referencia bibliográfica**

Mejia, C. (2025). *Aplicación de la fabricación digital en la etapa de prototipado para optimizar el proceso de fabricación en la industria manufacturera de joyas, Lima*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

## Metadatos complementarios

| | |
|---|---|
| **Datos de autor** | |
| Nombres y apellidos | Ciro Javier Mejia Elias |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 10054800 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0000-0003-4048-9210 |
| **Datos de asesor** | |
| Nombres y apellidos | Oscar Rafael Tinoco Gómez |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 08606920 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0000-0002-7927-931X |
| **Datos del jurado** | |
| **Presidente del jurado** | |
| Nombres y apellidos | Julio Alejandro Salas Bacalla |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 08468620 |
| **Miembro del jurado 1** | |
| Nombres y apellidos | Francisco Javier Wong Cabanillas |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 07564428 |
| **Miembro del jurado 2** | |
| Nombres y apellidos | José Antonio Velásquez Costas |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 09827586 |
| **Miembro del jurado 3** | |
| Nombres y apellidos | Carlos Augusto Shigyo Ortiz |
| Tipo de documento | DNI |

| | |
|---|---|
| Número de documento de identidad | 06701516 |
| **Datos de investigación** | |
| Línea de investigación | 12. Calidad, mejora y optimización de la producción. ODS 12: PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES. C.17.0.12 |
| Grupo de investigación | No aplica |
| Agencia de financiamiento | Sin financiamiento |
| Ubicación geográfica de la investigación | UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS<br>País: Perú<br>Departamento: Lima<br>Provincia: Lima<br>Distrito: Cercado de Lima<br>Calle: Av. Germán Amézaga #365<br>Latitud: -12.055804<br>Longitud: -77.084487 |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación | Enero 2020 – Julio 2025 |
| URL de disciplinas OCDE | Ingeniería industrial<br>https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.04<br><br>Ingeniería de producción<br>https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.03 |

UNIVERSIDAD NACIONAL
MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA

UNIDAD DE POSGRADO

# ACTA DE SUSTENTACIÓN Nº018-UPG-FII-2025

## SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

En la ciudad de Lima del día dieciséis del mes de julio del año dos mil veinticinco, siendo las once horas, se instaló el Jurado Examinador para la Sustentación de la Tesis titulada: **"APLICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DIGITAL EN LA ETAPA DE PROTOTIPADO PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE FABRICACIÓN EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE JOYAS, LIMA"**, presentado por el Mg. **CIRO JAVIER MEJIA ELIAS,** para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas del Jurado Examinador se procedió a la calificación individual y secreta, habiendo sido APROBADO con la calificación de DIECINUEVE (19) EXCELENTE.

El Jurado recomienda que la Facultad acuerde el otorgamiento del Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial, al Mg. **CIRO JAVIER MEJIA ELIAS.**

En señal de conformidad, siendo las 12:00 **horas** se suscribe la presente acta en cuatro ejemplares, dándose por concluido el acto.

***Dr. JULIO ALEJANDRO SALAS BACALLA***
***Presidente***

***Dr. FRANCISCO JAVIER WONG CABANILLAS***
***Miembro***

***Dr. JOSÉ ANTONIO VELÁSQUEZ COSTA***
***Miembro***

***Dr. CARLOS AUGUSTO SHIGYO ORTIZ***
***Miembro***

***Dr. OSCAR RAFAEL TINOCO GÓMEZ***
***Asesor***

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

# CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **OSCAR RAFAEL TINOCO GÓMEZ,** en mi condición de asesor acreditado con **DICTAMEN N°084-UPG-FII-2022** de la tesis cuyo título es: "**APLICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DIGITAL EN LA ETAPA DE PROTOTIPADO PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE FABRICACIÓN EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE JOYAS, LIMA",** presentado por el **magíster CIRO JAVIER MEJIA ELIAS,** para optar el grado académico de **DOCTOR EN INGENIERÍA INDUSTRIAL, CERTIFICO** que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 17% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado/ título/ especialidad correspondiente.

Lima, 28 de mayo de 2025

UNMSM
Firmado digitalmente por TINOCO GOMEZ Oscar Rafael FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29.05.2025 08:21:16 -05:00

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: **OSCAR RAFAEL TINOCO GÓMEZ**

DNI **08606920**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi familia, pilar fundamental en este largo camino académico. A mis padres, por inculcarme desde muy pequeño el valor del esfuerzo, la educación y la perseverancia. A mi esposa, por su amor, paciencia y constante apoyo en los momentos más exigentes de este proceso. A mi hijo, fuente inagotable de inspiración y motivo para seguir adelante cada día. A mis profesores que me enseñaron a tomar decisiones importantes en mi carrera profesional.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, en especial la Facultad de Ingeniería Industrial, mi alma mater, por brindarme la formación académica y el entorno propicio para el desarrollo de este trabajo de investigación. Su legado de excelencia y compromiso con el conocimiento ha sido guía constante en mi trayectoria.

A todos quienes, de una u otra manera, contribuyeron a la culminación de esta tesis, les expreso mi sincero agradecimiento.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN ..... v
ABSTRACT ..... vi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN ..... 1
1.1. Introducción ..... 1
1.2. Planteamiento del problema ..... 2
1.2.1. Situación problemática ..... 2
1.2.2. Formulación del problema ..... 9
1.2.2.1. Problema general ..... 9
1.2.2.2. Problemas específicos ..... 9
1.3. Justificación ..... 10
1.3.1. Justificación metódica ..... 12
1.3.2. Justificación práctica ..... 12
1.3.3. Justificación económica ..... 13
1.4. Objetivos de la investigación ..... 13
1.4.1. Objetivo general ..... 13
1.4.2. Objetivos específicos ..... 13
1.5. Hipótesis de la investigación ..... 14
1.5.1. Hipótesis general ..... 14
1.5.2. Hipótesis específicas ..... 14
1.6. Variables de la investigación ..... 14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO ..... 16
2.1. Marco filosófico o epistemológico de la investigación ..... 16
2.2. Antecedentes de investigación ..... 19
2.3. Bases teóricas ..... 23
2.3.1. Diseño Asistido por Computador (CAD) ..... 23

2.3.2. Fabricación Digital ..... 25
2.3.3. Ventajas de la Fabricación Digital ..... 28
2.3.4. Manufactura Aditiva o Impresión 3D ..... 30
2.3.5. La Innovación y un nuevo modelo de negocio ..... 32
2.3.6. Aplicaciones de la fabricación digital ..... 34
2.3.7. Joyería Artesanal: Proceso de producción ..... 38
2.3.8. Joyería e Impresión 3D ..... 41
2.4. Glosario ..... 44
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA ..... 46
3.1. Tipo y diseño de investigación ..... 46
3.2. Población y muestra ..... 49
3.2.1. Unidad de análisis ..... 49
3.2.2. Población de estudio ..... 50
3.2.3. Tamaño de la muestra ..... 54
3.2.4. Selección de la muestra ..... 56
3.3. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de datos ..... 56
3.4. Análisis e interpretación de la información ..... 58
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... 59
4.1. Análisis de resultados ..... 59
4.2. Contrastación de las hipótesis ..... 70
4.2.1. Prueba de Normalidad ..... 70
4.2.2. Prueba de Correlación ..... 76
4.2.3. Prueba de contrastación de hipótesis ..... 76
4.3. Discusión de resultados ..... 84
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 87
5.1. Conclusiones ..... 87

5.2. Recomendaciones ..... 88

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 89

ANEXOS ..... 97

# INDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Ranking de Competitividad. ..... 3

**Tabla 2.** Comparativo enfoque cuantitativo vs enfoque cualitativo. ..... 47

**Tabla 3.** Número de empresas del sector manufacturero de joyas por distrito de Lima Metropolitana. ..... 52

**Tabla 4.** Grandes Empresas del sector manufacturero de joyas en Lima Metropolitana. ..... 53

**Tabla 5.** Muestra de MIPYMEs del sector manufacturero de joyas en Lima Metropolitana. ..... 54

**Tabla 6.** MIPYMEs del sector manufacturero de joyas entrevistadas. ..... 55

**Tabla 7.** Empresas entrevistadas. ..... 60

**Tabla 8.** Empresas que brindaron información completa e incompleta. ..... 61

**Tabla 9.** Cálculo del número de rachas (R). ..... 63

**Tabla 10.** Tiempos de fabricación promedio (horas) de una joya por Empresa. ..... 65

**Tabla 11.** Tiempos de fabricación promedio (horas) del prototipo por Empresa. ..... 66

**Tabla 12.** Aplicación de Impresión 3D en la fabricación del prototipo por Empresa. ..... 67

**Tabla 13.** Número de versiones del prototipo por Empresa. ..... 68

**Tabla 14.** Aplicación de Impresión 3D en la calidad del prototipo por Empresa. ..... 68

**Tabla 15.** Principales barreras que enfrentan las empresas encuestadas. ..... 69

**Tabla 16.** Operacionalización de variables. ..... 104

**Tabla 17.** Matriz de consistencia. ..... 105

## INDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Gráfica de probabilidad del tiempo de fabricación promedio de una joya (horas). ..... 71

**Figura 2.** Gráfica de probabilidad del tiempo de fabricación promedio de un prototipo de joya (horas). ..... 72

**Figura 3.** Histograma con curva normal de los tiempos de fabricación promedio de un prototipo de joya (horas). ..... 73

**Figura 4.** Estadísticos descriptivos de los tiempos de fabricación promedio de un prototipo de joya (horas). ..... 73

**Figura 5.** Gráfica de probabilidad del número de versiones que se elaboran de un prototipo de joya antes de obtener el molde final. ..... 74

**Figura 6.** Histograma con curva normal del número de versiones que se elaboran de un prototipo de joya antes de obtener el molde final. ..... 75

**Figura 7.** Estadísticos descriptivos del número de versiones que se elaboran de un prototipo de joya antes de obtener el molde final. ..... 75

**Figura 8.** Rho de Spearman. ..... 76

**Figura 9.** Estadísticos descriptivos de los tiempos de fabricación promedio de un prototipo de joya para la muestra que aplica y no aplica impresión 3D. ..... 78

**Figura 10.** Gráfica de caja de los tiempos de fabricación promedio de una joya. ..... 79

**Figura 11.** Prueba t-Student de dos muestras para el rechazo o no de la hipótesis sobre los tiempos de fabricación promedio de una joya. ..... 80

**Figura 12.** Estadísticos descriptivos del número de versiones que se elaboran del prototipo antes de obtener el molde final de la joya para la muestra que aplica y no aplica impresión 3D. ..... 81

**Figura 13.** Gráfica de caja del número de versiones que se elaboran del prototipo antes de obtener el molde final de la joya. ..... 82

**Figura 14.** Prueba t-Student de dos muestras para el rechazo o no de la hipótesis sobre el número de versiones del prototipo de una joya. ..... 83

# RESUMEN

El presente estudio busca analizar cómo la incorporación de nuevas tecnologías de fabricación digital (impresión 3D) permiten optimizar el proceso de fabricación en la industria manufacturera de joyas de la ciudad de Lima, Perú. El objetivo principal es determinar el impacto de la impresión 3D en el tiempo de fabricación y la calidad de los prototipos para joyas, para lo cual se realizó una encuesta a 23 empresas con énfasis en la aplicación o no de la impresión 3D en su proceso de fabricación de joyas, los tiempos de fabricación y el número de versiones que elaboran del prototipo antes de obtener el molde final. El estudio arrojó que la impresión 3D permite reducir el tiempo de fabricación del prototipo (2.5 horas en promedio aplicando impresión 3D vs 16.9 horas en promedio sin aplicar) y mejorar la calidad del prototipo (1.3 versiones en promedio del prototipo aplicando impresión 3D vs 3.0 versiones en promedio del prototipo sin aplicar). Asimismo, que las brechas más significativas que enfrentan las empresas encuestadas son la disponibilidad de personal capacitado y los altos costos que representa la adquisición, implementación y mantenimiento de equipos y materiales de fabricación digital (impresión 3D).

**Palabras clave:** Fabricación digital, impresión 3D, industria manufacturera de joyas, prototipo de joyas, optimización

## ABSTRACT

This study aims to analyze how the incorporation of new digital manufacturing technologies (3D printing) can optimize the manufacturing process in the jewelry manufacturing industry in Lima, Peru. The main objective is to determine the impact of 3D printing on manufacturing time and the quality of jewelry prototypes. To achieve this, a survey was conducted among 23 companies, focusing on whether or not they applied 3D printing in their jewelry manufacturing process, the manufacturing times, and the number of prototype versions created before obtaining the final mold.

The study found that 3D printing reduces prototype manufacturing time (an average of 2.5 hours using 3D printing vs. 16.9 hours on average without it) and improves prototype quality (an average of 1.3 prototype versions using 3D printing vs. 3.0 versions on average without it). Additionally, the most significant challenges faced by the surveyed companies are the availability of trained personnel and the high costs associated with acquiring, implementing, and maintaining digital manufacturing (3D printing) equipment

**Keywords:** Digital manufacturing, 3D printing, jewelry manufacturing industry, jewelry prototype, optimization.

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

## 1.1. Introducción

En el Perú, la joyería es una tradición ancestral que se desarrolla con gran potencial en muchos lugares, pero primordialmente en Lima, Cajamarca y Piura. En el 2023 la exportación de joyería peruana creció un 8.9% en relación al 2022, con un monto total de US$ 96.7 millones. Las exportaciones de joyas de oro tuvieron un mayor impacto en los resultados con una variación de 23.6% en relación al 2022, por un monto de US$ 69.4 millones (88.7% del total).

Las principales exportaciones en 2023 fueron hacia EE.UU, mostrando un crecimiento

Los principales mercados en el 2023 fueron EE.UU., con un crecimiento de 10.6% y una participación en el 88.4% del total, le sigue España con un aumento del 208%, Chile, México, Canadá, Ecuador, Colombia, Argentina, Panamá y El Salvador (Andina, 2024).

Pero no todo fue color de rosa, ya que cerraron en 2023 en caída los productos de joyería de plata, incluso revestida o chapada de otro metal (-52.1%), artículos de orfebrería de plata (-21.7%), artículos de joyería de chapado de metal precioso (plaqué) (-24%), entre otros. Si se analizan los años pasados el desempeño fue inestable, en el 2018 cerraron las exportaciones por un monto total de US$ 127.8 millones, en el 2019 por US$ 116.8 millones, en el 2020 por US$ 71.3 millones, en el 2021 por US$ 118.2 millones y en el 2022 por US$ 89.1 millones. Cabe indicar que festividades como el Día de San Valentín, Día de la

Madre impulsan el sector de la joyería tanto en el mercado interno como externo (Andina, 2024).

Cabe mencionar lo manifestado por la presidenta del Comité de Joyería y Orfebrería de la Asociación de Exportadores (Adex), Rocío Mantilla Goyzueta (El Comercio, 2023):

> “Con un marco adecuado, un mercado global que se recupera poco a poco, un trabajo articulado entre el sector público y privado, innovando y accediendo a nuevas tecnologías, información de mercados y tendencias, nuestro rubro podría exportar más de US$ 1.000 millones en 10 años”

En ese sentido, teniendo en cuenta la importancia y valor cultural que tiene la joyería en el país, la presente investigación busca aportar visibilidad a la incorporación de la fabricación digital (impresión 3D), tecnología de la cuarta revolución industrial (Industria 4.0), en el sector manufacturero de joyas, para destacar su impacto en el tiempo de fabricación y la calidad del producto obtenido. Asimismo, identificar las barreras que enfrentan las empresas del rubro en su implementación.

## 1.2. Planteamiento del problema

### 1.2.1. Situación problemática

El posicionamiento tecnológico del Perú sigue siendo uno de los más bajos a nivel internacional, incluso a nivel Latinoamericano. Dicho

posicionamiento tecnológico podemos medirlo a partir del nivel de productividad que tiene el país. En ese sentido, la economía peruana se encuentra en la posición 65 de 141 economías que son evaluadas a través del Índice de Competitividad Global 4.0 publicada en el Reporte de Competitividad Global del World Economic Forum (WEF) 2019, índice que mide la competitividad nacional tomando en cuenta el conjunto de instituciones, políticas y factores que determinan el nivel de productividad. Pero no es necesariamente seguida por un avance en la capacidad de innovación, donde el país se ubica en puesto 90. Este lento desarrollo en innovación se ve reflejado en la naturaleza del país como exportador de productos con poco valor agregado o materias primas.

**Tabla 1.** *Ranking de Competitividad.*

| Ranking | Chile | México | Uruguay | Colombia | Perú | Brasil | Argentina |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Economía | 33 | 48 | 54 | 57 | 65 | 71 | 83 |
| Capacidad de Innovación | 53 | 52 | 67 | 77 | 90 | 40 | 56 |

*Nota: The Global Competitiveness Report 2019.* Fuente: World Economic Forum (2019).

Las tres variables que en los últimos años han cobrado relevancia cuando se habla de las posibilidades que tiene un país de crecer y competir en el mercado mundial son: ciencia, tecnología e innovación, tal como lo menciona la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) de las Naciones Unidas (ONU) y destaca que la innovación debe estar en el centro de la estrategia de desarrollo de un país.

El Plan Nacional de Competitividad y Productividad 2019-2030 destaca como su Objetivo Prioritario 3 (OP3) “generar el desarrollo de las capacidades para la innovación, adopción y transferencia de mejoras tecnológicas”, con el cual se busca el fortalecimiento del ecosistema de innovación en el país, promover una cultura de investigación, innovación, absorción tecnológica y digitalización y, una gobernanza en conjunto con todos los actores; fortalecer la protección de la propiedad intelectual; garantizar la disponibilidad de capital humano calificado; acrecentar la eficiencia de la inversión pública y privada; impulsar los procesos mediante políticas públicas de innovación; y, potenciar el nivel tanto de la investigación científica como del desarrollo tecnológico en las universidades, institutos de investigación y las empresas, que respondan a las demandas del mercado nacional e internacional (Consejo Nacional de Competitividad y Formalización, 2019).

En ese sentido, al analizar nuestro panorama actual vemos que se cuenta con escasa inversión en investigación y menos aún, en desarrollo tecnológico. Asimismo, existe una escasa cooperación entre la empresa privada, el estado y las universidades o centros de investigación; las pocas sinergias generadas nos muestran que tenemos mucho por hacer para estar a la altura de grandes

potencias como Singapur, EE.UU, China, Países Bajos, Suiza, Japón y Alemania.

En el Perú, la industria manufacturera de joyas es muy reconocida a nivel mundial por los diseños personalizados o exclusivos fabricados de manera artesanal o industrial, tenemos una calidad inigualable, pero otros países como Turquía y Tailandia nos superan en volumen de ventas a pesar que importan la materia prima como la plata desde Perú y México para procesarla industrialmente y competir con la joyería peruana, de acuerdo con lo mencionado por la presidenta del Comité de Joyería y Orfebrería de la Asociación de Exportadores (Adex), Rocío Mantilla (De la Vega, 2023).

El Perú durante los últimos 10 años ha exportado en promedio 100 millones de dólares, que en el 2021 alcanzó los 117.9 millones de dólares, un crecimiento de 65.8% frente al año anterior. Sin embargo, el mercado mundial espera un crecimiento promedio anual en ventas de 6.1% entre 2022 y 2025, pasando de 269.6 mil millones de dólares a 322 mil millones de dólares (Centro de investigación de economía y negocios globales, 2022).

El mercado de joyas proyecta un crecimiento sostenido, pero quienes logren liderar estas nuevas demandas tendrán como su aliado principal a la tecnología para personalizar sus productos y

ampliar estas y nuevas innovaciones. Una de esas tecnologías aliadas que deberán implementar es la impresión 3D, la cual le permitirá a los joyeros lograr una mejor personalización de sus productos y brindarles la agilidad requerida para realizar experimentos a gran velocidad con nuevas técnicas y materiales. Mientras tanto, las tecnologías como identificación de radiofrecuencias (RFID) y blockchain están a punto de lograr la principalidad para satisfacer la creciente demanda de los consumidores de pruebas de autenticidad y trazabilidad (Centro de investigación de economía y negocios globales, 2022).

Una de las etapas principales del proceso de fabricación de una joya es la obtención del prototipo. El prototipo sirve para materializar una idea y aclarar cuestionamientos como para qué es y para qué sirve, además permite ver las cualidades del producto y las dificultades que podrían presentarse en el proceso productivo. Estas dificultades tienen impacto en el costo y tiempo de la producción, por lo que el prototipo cobra especial relevancia para anticiparlas y neutralizarlas.

Tradicionalmente los prototipos eran fabricados de manera artesanal, esta forma de trabajo artesanal tiene como principales ventajas el costo y la disponibilidad de artesanos en quienes delegar la fabricación de las piezas, pero como todo trabajo manual, el acabado dependerá principalmente de la habilidad y experiencia del

artesano, por lo cual resultaba imposible realizar dos productos exactamente iguales, o incluso reproducir de manera exacta la idea inicial.

En este caso el prototipo artesanal difiere algunas veces de los planos diseñados, debido al cúmulo de errores a lo largo del proceso de construcción, lo cual nos aleja del producto final deseado. Además, la mano de obra artesanal no siempre es más barata, por ejemplo, si se quisiera realizar el prototipo de una embarcación pesquera se necesitará de mucha mano de obra para construir el molde que dará la forma a la embarcación; además del tiempo que toma la construcción debido a los errores de fabricación, lo cual aumentaría considerablemente el costo. Por otro lado, el objetivo de un prototipo es ser sometido a pruebas, y por ende a modificaciones según la necesidad y los resultados de estas pruebas. Pero al fabricarlo artesanalmente, el proceso de pruebas se complica debido al tiempo y costo de fabricación de un nuevo prototipo.

Otro inconveniente de la fabricación de prototipos artesanales es la limitación en la forma, es decir, nos alejamos de la forma exacta del diseño lo cual incrementa el margen de error de nuestro proyecto, que a su vez va a ser expuesto a pruebas y modificaciones futuras. Si el primer prototipo no es fabricado con la exactitud necesaria, esta desviación no permitirá hacer una modificación acertada para los siguientes diseños.

En este contexto la fabricación digital elimina las desviaciones respecto a los planos en comparación con un proceso artesanal, permitiendo que el prototipo sea exacto cada vez y que la incorporación de modificaciones tenga un impacto real en la mejora del producto, acortando así el tiempo necesario para lograr un producto final.

La aparición de nuevas tecnologías de fabricación que permiten un bajo coste para la producción personalizada de productos gracias a impresoras 3D, cortadoras láser de bajo coste o máquinas CNC lleva a superar las otras dos barreras tradicionales del proceso de prototipado artesanal, como son: el factor económico y el tiempo.

Reduciendo de manera significativa el impacto de estos dos factores, costo y tiempo y además alcanzando los niveles de precisión necesarios para la fabricación de un prototipo se estaría cumpliendo de una forma más eficiente el proceso productivo del mismo, dejando entonces espacio suficiente para procesos como innovación y experimentación en la creación de nuevos productos.

En este documento se busca analizar como la incorporación de estas nuevas tecnologías y su mayor accesibilidad debido a su menor costo, permiten que la fabricación digital optimice el proceso

de fabricación de joyas en la etapa de prototipado, en tiempo y calidad, en empresas de la ciudad de Lima. Asimismo, incentivar el trabajo unificado entre el sector privado, gobierno y las universidades o centros de investigación para satisfacer la demanda creciente en el mercado nacional e internacional.

Finalmente, incentivar la investigación y desarrollo tecnológico en la creación de nuevos productos en la industria manufacturera de joyas como uno de los caminos para convertir al país en un exportador de productos con mayor valor agregado, dejando finalmente nuestra tradicional imagen de exportador de materias primas.

### 1.2.2. Formulación del problema

#### 1.2.2.1. Problema general

¿Cómo la fabricación digital en la etapa del prototipado optimiza el proceso de fabricación de la industria manufacturera de joyas en Lima?

#### 1.2.2.2. Problemas específicos

¿Cuál es el impacto de la fabricación digital en el tiempo de fabricación de los prototipos en la industria manufacturera de joyas en Lima?

¿De qué manera la fabricación digital mejora la calidad de los prototipos en la industria manufacturera de joyas en Lima?

## 1.3. Justificación

La incorporación de la fabricación digital en el proceso de creación de prototipos flexibilizará el proceso de creación de nuevos productos con un impacto en la reducción del tiempo y mejora de la calidad del producto fabricado. Esta flexibilidad potenciará la creación de nuevos productos permitiendo incorporar modificaciones en los prototipos para luego volverlos a fabricar y detectar posibles problemas que puedan afectar su fabricación. El proceso hacia el producto final será más dinámico permitiendo productos finales más sofisticados y personalizados con menores costos.

La presente investigación busca analizar el impacto que tiene la incorporación de las nuevas tecnologías como la fabricación digital en la fabricación de prototipos de la industria manufacturera de joyas y detectar los beneficios que estas tienen. Además, se busca analizar este aporte desde la perspectiva de la mediana y pequeña empresa, proponiendo una ruta de accesibilidad a esta tecnología a través de las universidades o centros de investigación, como ente investigador, pero con un aporte tangible al crecimiento económico de las empresas a través de la creación de nuevos productos.

Buscar unificar esfuerzos de los involucrados en el uso y difusión de la fabricación digital, sirve para brindar acceso a las pequeñas y medianas

empresas a los beneficios de esta nueva tecnología, liberar las barreras de acceso y a su vez fomentar la creatividad e innovación al brindarles nuevas herramientas para crear nuevos productos.

Al resolver las preguntas de los problemas planteados en este documento, obtendremos un plan a seguir para lograr la integración de las entidades involucradas, como son el estado, la empresa y las universidades o centros de investigación. Este plan de trabajo debe llevar a facilitar el acceso a la fabricación digital de forma sostenible para las pequeñas y medianas empresas, para lo cual debe considerarse el control de variables tales como: costo, acceso a tecnología y barreras educativas y culturales.

De igual forma, esta tesis busca establecer la estructura de una cooperación efectiva entre los involucrados directos, entre ellos la pequeña y mediana empresa, quienes podrían ser los principales beneficiados al acceder a tecnologías que les permitan flexibilizar el proceso de fabricación de prototipos y por lo tanto desarrollar productos con mayor valor agregado a un menor costo y en menor tiempo.

De igual forma, lograr una vinculación directa entre las universidades o centros de investigación y el sector productivo, podría materializarse en lograr mayor financiamiento en investigación y desarrollo tecnológico, generándose así un círculo virtuoso que impulse la generación, transferencia y aplicación de tecnología, entre el sector educativo y el sector empresarial.

Finalmente, mediante la difusión de tecnologías con mayor tiempo de aplicación en otros países, la sociedad en general puede incorporar a su horizonte tecnológico estas tecnologías e ir capacitándose en su uso para evitar quedar desfasados a nivel global. De igual forma, los miembros de la sociedad acceden a estas tecnologías y se van capacitando en su uso y aplicación para acceder al mercado laboral y productivo.

### 1.3.1. Justificación metódica

En este documento se analiza un cambio en la forma de hacer las cosas, por lo tanto, la presente investigación tiene una justificación metódica, dado que analiza como este cambio en el método o la forma de fabricar un prototipo impacta en el proceso de fabricación en la industria manufacturera de joyas.

Se considera dentro del alcance del trabajo, el impacto que este cambio en el método de fabricación, de artesanal a digital, tiene entre los principales involucrados y los efectos a mediano plazo para transformar la oferta del país hacia una que incluya productos con mayor valor agregado.

### 1.3.2. Justificación práctica

Uno de los problemas que actualmente presenta el proceso de prototipado en la industria de joyas es la falta de precisión pero que, con la aplicación de la fabricación digital, se elimina esta limitante,

obteniendo una mejora en la calidad de los productos fabricados, además de aportar un ahorro de tiempo en el proceso de fabricación y en el mediano plazo, el ahorro de costos.

### 1.3.3. Justificación económica

El mercado mundial de joyas augura un crecimiento sostenido dónde el Perú es reconocido por la calidad de sus productos, pero aún no alcanza la cantidad de ventas que otros países a pesar de contar con la materia prima. Por ello, dar visibilidad de los beneficios de la inclusión de tecnologías como la fabricación digital permitirá su adopción por las empresas peruanas, que verán reflejados sus beneficios en la reducción de costos y el incremento del nivel de producción, por consecuente un incremento en el nivel de ventas.

## 1.4. Objetivos de la investigación

### 1.4.1. Objetivo general

Determinar la forma en que la fabricación digital en la etapa del prototipado optimiza el proceso de fabricación de la industria manufacturera de joyas en Lima.

### 1.4.2. Objetivos específicos

Determinar el impacto de la fabricación digital en el tiempo de fabricación de los prototipos en la industria manufacturera de joyas en Lima.

Analizar la aplicación de la fabricación digital para la mejora de la calidad de los prototipos en la industria manufacturera de joyas en Lima.

## 1.5. Hipótesis de la investigación

### 1.5.1. Hipótesis general

La fabricación digital en la etapa del prototipado optimiza el proceso de fabricación de la industria manufacturera de joyas en Lima.

### 1.5.2. Hipótesis específicas

La fabricación digital reduce el tiempo de fabricación de los prototipos en la industria manufacturera de joyas en Lima.

La aplicación de la fabricación digital mejora la calidad de los prototipos en la industria manufacturera de joyas en Lima.

## 1.6. Variables de la investigación

De acuerdo con la hipótesis general e hipótesis específicas, mencionadas anteriormente, se detallan las variables de investigación tanto independientes como dependientes:

**Hipótesis general**

Variable Independiente: Fabricación digital.

Variable Dependiente: Optimización del Proceso de fabricación.

**Hipótesis específica 1**

Variable Independiente: Fabricación digital.

Variable Dependiente: Tiempo de fabricación del prototipo.

**Hipótesis específica 2**

Variable Independiente: Fabricación digital.

Variable Dependiente: Calidad del prototipo.

# CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

## 2.1. Marco filosófico o epistemológico de la investigación

Ramírez (2009) menciona que la epistemología “estudia el conocimiento y ambos son los elementos básicos de la investigación científica, la que se inicia al plantear una hipótesis para luego tratarla con modelos matemáticos de comprobación y finalizar estableciendo conclusiones valederas y reproducibles.”

El objeto de estudio de la epistemología puede brindar respuesta a preguntas sencillas de formular, pero complejas en responder en muchos casos: ¿Qué es lo que conocemos?, ¿Cómo lo conocemos? y ¿Cómo sabemos que lo conocemos? Fundamentado en la necesidad del investigador por dar respuesta a las interrogantes de causa o efecto a una problemática de su entorno mediante la manipulación de una variable existente para lograr cambios. En ese sentido, surgen diversas posiciones a favor o en contra para solucionar los problemas de dicho entorno bajo el conocimiento empírico. Esto nos lleva a la aplicación del método científico como herramienta para brindar respuestas demostrables a las interrogantes planteadas, a lo que Ramírez (2009) indica que la investigación científica “ha devenido en un proceso aceptado y validado para solucionar interrogantes o hechos nuevos encaminados a conocer los principios y leyes que sustentan al hombre y su mundo; posee sistemas propios basados en el método de hipótesis-deducción/inducción complementados con cálculos estadísticos y de probabilidades.”

Según Aguilar (2011) la tecnología se entiende como “un compuesto heterogéneo, complejo, dinámico en el que todo se requiere y se interrelaciona; es una unidad dialéctica en la que coexiste activamente el dato, el hecho, el producto con el conocimiento, la teoría, la conceptualización.” Asimismo, que la tecnología tiene como una de sus finalidades la “tendencia a lograr la transformación del entorno humano (natural y social), para adaptarlo de la mejor forma posible a las necesidades y deseos humanos.” En ese sentido Agazzi (1998) mencionaba que la tecnología “es la condición generalizada para la construcción de los objetos científicos y para su conocimiento, que por un lado es necesario conceptos, y del otro son precisas tecnologías capaces de poner en contacto estos conceptos con sus referentes.” Reafirmando así que el alcance de la ciencia tiene una dependencia en el uso de instrumentos, y, por lo tanto, como su principal aliada la tecnología.

Von Bertalanffy (1995) mencionaba que la “la tecnología ha acabado pensando no ya en términos de máquinas sueltas sino de «sistemas»”, por lo que propuso la “teoría general de sistemas” donde analiza el sistema tecnológico, esta metodología integral se considera el antecedente más directo a la “teoría de sistemas complejos”, pero al ser una perspectiva emergente se tiene aún contribuciones aisladas (Hernández, 2018). Rescher (1998) propuso analizar el significado de la complejidad en dos vertientes: la ontología y la epistemología. En el campo de la epistemología menciona que uno de los problemas es que “el incremento de complejidad tiende a estar relacionado con el aumento de riesgo”, es por eso que Hernández (2018) destaca que ello implica “serias consecuencias

para los sistemas tecnológicos y nuestra vida basados en ellos” ya que “a mayor complejidad existe una mayor probabilidad de colapso en un sistema.”

Para Hilbert (2015) un sistema complejo es:

> “Un sistema compuesto de partes interrelacionadas que como un conjunto exhiben propiedades y comportamientos no evidentes a partir de la suma de las partes individuales. Las dinámicas del desarrollo son llenos de complejidades. Las características de los sistemas complejos (como la interdependencia, la diversidad y la adaptabilidad de los agentes, etc.), desafían los supuestos básicos de las teorías tradicionales (tales como agentes independientes (i.i.d.) o patrones fijos de crecimiento, etc.).”

En ese sentido podemos mencionar que el presente estudio se fundamenta epistemológicamente en el enfoque de los sistemas complejos, y el que se abordará es la aplicación del sistema tecnológico de la fabricación digital (impresión 3D) y prototipado en la industria manufacturera de joyas, tecnologías que surgieron como parte de lo que hoy se conoce como industria 4.0 o cuarta revolución industrial.

La revista Semana (2016) destaca del libro “The Fourth Industrial Revolution” publicado por el economista Klaus Schwab (fundador y presidente del Foro Económico Mundial) que la “cuarta revolución industrial se sustenta en un cambio digital que comenzó a registrarse desde mediados del siglo pasado y que tiene como particularidad la fusión de tecnologías que están borrando los límites

entre las esferas físicas, digitales y biológicas y que tiene un efecto transversal a todas las disciplinas, las economías e industrias". La fabricación digital, que entre las tecnologías que la conforman podemos destacar a la impresión 3D, y el prototipado forman parte de esta tendencia.

Finalmente, no debemos dejar de mencionar que si hablamos de tecnología artesanal desde el enfoque epistemológico descubriremos "su transformación tecno cultural y creacional dentro de una comunidad, desde recursos incorporados progresivamente como acumulación de la praxis que responden a la expresión estético-funcional en un marco histórico e identitario" (Álvarez y Torres, 2023). Asimismo, que la "percepción, producción, cultura y naturaleza, engloban los factores intrínsecos de la artesanía" (Álvarez y Torres, 2023).

## 2.2. Antecedentes de investigación

Según Nan Shen (2019), su trabajo de fin de máster "Dibujo y diseño digital aplicado a la fabricación de joyería" tiene como objetivo analizar la fabricación de joyas mediante el dibujo y el diseño analógico y vectorial, e innovar con la inclusión de nuevos sistemas de fabricación que permitan el modelado de formas complejas, favoreciendo su concretización, sobre todo en la búsqueda de la relación entre la tecnología del corte láser, los materiales plásticos y los procesos contemporáneos de fabricación de joyas. El estudio de Nan Shen también busca potenciar la característica de la innovación desde la mirada de la conceptualización (buscar poner en valor las formas que se muestran en el medio ambiente), y la implicancia del aporte de la tecnología digital frente a la

forma tradicional de fabricación artesanal. El trabajo obtuvo resultados satisfactorios en la aplicación del dibujo y diseño digital a la fabricación de joyas: se obtuvo un conocimiento a profundidad de los procedimientos que a través de la innovación aportan un gran valor añadido a la fabricación digital aplicada en la joyería artesanal, la trascendencia que tienen los medios de diseño digital sobre la metodología del proyecto y las ventajas que se evidencian frente a los métodos tradicionales de fabricación. Finalmente, Nan Shen utiliza el metacrilato como material base para el producto ideado o prototipo con la finalidad de visualizar y testear las piezas de forma rápida y productiva antes de su fabricación final, con lo cual se evidencia las ventajas de la fabricación digital en términos de innovación, rapidez, facilidad, fiabilidad, multiplicidad y economía.

En su trabajo de grado, Sandoval y Velasquez (2021) buscan obtener una forma de mejorar el proceso de producción de joyas, centrándose en el aumento de la productividad en el área de trabajo en mesa de la empresa Cite Koriwasi de Cajamarca en el periodo 2020, tomando como muestra una pulsera de plata de 25 cm de largo y 18g de peso. Cabe indicar que Cite Koriwasi tiene incorporado la impresión 3D en su proceso de fabricación para conseguir prototipos de sus joyas con diseños complejos y finos acabados. En ese sentido, las técnicas de recolección de datos que aplican son: la observación directa mediante el uso de una guía de observación y un cronómetro; la entrevista, para cual hacen uso de una guía de entrevista y notas de voz; la encuesta mediante un cuestionario y correo electrónico; y el análisis de documentos a través de una guía de análisis

documental y páginas web. El análisis del trabajo de grado se realiza en el área de trabajo en mesa al presentar mayor cuello de botella en el proceso de fabricación y para el cuál el plan de mejora consistió en aplicar la metodología de las 5'S, el estudio de tiempos, ergonomía, compra de maquinaria y cambio de mesas de trabajo, con ello se logró reducir el cuello de botella de 2.52 a 2.10 horas, el tiempo estándar de 9.92 a 8.19 horas/unidad.

Bordianu (2023) en su trabajo de grado "La impresión 3D como nuevo modelo de producción" busca demostrar que la fabricación aditiva, es el método ideal para intentar y perseguir las oportunidades y continuar innovando a la hora de renovar las empresas existentes o crear nuevas. Para lograr ello trata de ilustrar con el caso de la empresa Mattel, dedicada a la producción y venta de juegos (juguetes) para todo tipo de cliente, los beneficios de utilizar la tecnología 3D. Como lo menciona el autor, en 2013 el vicepresidente de Mattel, Scott Goodman, anunciaba que "el uso de la impresión 3D en sus fábricas les permitía ser más productivos, eficientes e innovadores en los diseños". Finalmente, se presentó a la impresión 3D como un revolucionario modelo de producción tratando de convertirse en una de las mayores ventajas competitivas de la empresa e ideal para crear un negocio con poca inversión económica y de forma rápida, ya que reduce los costos.

Según Lopez (2021) en su trabajo de grado "Propuesta de mejora del proceso de fabricación de joyas para el incremento del nivel de producción en una joyería de Lambayeque", se buscó proponer mejoras en la capacidad de producción de

una empresa que se encarga del diseño, elaboración y comercialización de joyas de manera artesanal. Asimismo, lograr el máximo aprovechamiento de la planta, que se encuentra ubicada en el departamento de Lambayeque, provincia de Chiclayo. Para lograr lo antes mencionado, al autor planteó tres propuestas de mejora: desarrollo de técnicas y actividades para mejorar los tiempos de producción, donde se propuso adquirir una impresora 3D para obtener el prototipo del producto a fabricar, mejorar en la calidad de acabado del producto y mejorar el tiempo de producción, asimismo, realizar un programa de capacitación y calcular el tiempo estándar; la adecuada distribución de las áreas de trabajo; y, el ordenamiento del ambiente de trabajo. En ese sentido, las propuestas de mejora buscaron rectificar el procedimiento de fabricación artesanal con la implementación de maquinaria como la impresora 3D que ayude al método de la cera perdida, con lo cual la capacidad de producción sería de 46 sortijas/turno, mejora de un 276%, el cuello de botella disminuyó un 82%, la eficiencia física aumento un 24% y el tiempo de ciclo del proceso se redujo en un 87%.

Según el estudio de Ruiz (2019), en su trabajo de grado “Reducción de los costos de producción en empresas orfebres ecuatorianas con la utilización de la manufactura aditiva o impresión en 3D caso: Talleres Tinta” buscó definir la combinación de técnicas artesanales o tradicionales con la impresión 3D y cuantificar su impacto en los costos de producción. Para ello, se simuló la introducción de la impresora 3D en el proceso de producción, con lo cual se redefinió los procesos de producción tradicional y se estimaron los nuevos costos

de producción, evidenciando así una reducción de los costos, pero no solo eso, sino también, una mejora de la calidad de producción de los objetos y la personalización ágil de los diseños sin el incremento en los costos de producción. Asimismo, menciona que una barrera a la hora de introducir la tecnología como impresión 3D es la mano de obra calificada, al requerir mayor especialización en los detalles y complejidad de los diseños a fabricar. Entonces, con la introducción de la impresora 3D, la empresa Talleres Tinta, incrementó su capacidad productiva a un máximo de 2570 gramos versus los 1100 gramos que tenía como demanda insatisfecha; impactó en la estructura de procesos (se redujo a 10 procesos), ya que se eliminaron 8 procesos, con lo cual se evidenció en un ahorro del 57% del tiempo versus el proceso convencional (18 procesos), de 236.33 a 101.17 minutos/gramo de joya de plata, el cual significó 15% menos de costo de producción versus el costo de producción actual. Finalmente, el mayor impacto de la introducción de impresión 3D se da en los procesos de diseño en 3D e impresión en 3D, ambos representan el 42% de los costos de producción y el 64% del tiempo utilizado en la producción de un gramo de joya de plata.

## 2.3. Bases teóricas

### 2.3.1. Diseño Asistido por Computador (CAD)

La evolución de la capacidad de procesamiento de las computadoras y la continua inserción de nuevas tecnologías con mejores características ha permitido que la redundancia de los esfuerzos en campos tan variados como la fabricación, la arquitectura y construcción, la medicina sea eliminada o al menos reducida,

resultando en procesos más ágiles y en productos con mayor calidad. Estos avances surgieron en campos como la defensa militar posterior a la segunda guerra mundial y fueron evolucionando hasta convertirse en la computación personal tal como lo conocemos hoy en día.

En la actualidad, es irremediable no relacionar el progreso tecnológico ni el diseño de nuevos productos con las incipientes tecnologías. Se tiene muchas herramientas para el Diseño Asistido por Computadora (CAD) que se encuentran en evolución indefinida y son usadas por diferentes ramas de la tecnología para acrecentar el rendimiento de los diseñadores y, el grado de complejidad y precisión de los productos elaborados. Los sistemas CAD a través de gráficos interactivos permiten realizar el diseño de productos y sus elementos de manera ágil y económica (Erazo, 2022).

En los inicios, el CAD fue desarrollado para asistir a los dibujantes en la realización de ensayos de error a sus invenciones. Igualmente, este fue empleado para apoyar a las evaluaciones desde el punto de vista de la ingeniería. No obstante, se sabe que las labores de diseño se siguieron llevando a cabo de forma manual por largos años. En determinados puntos de estos procesos se llegaron a introducir los datos en programas informáticos de análisis y determinación de posibles errores para luego implementar en los

proyectos las modificaciones necesarias de acuerdo con el análisis arrojado por estos programas informáticos (Fakhry et al., 2021).

El Diseño Asistido por Computadora es hoy en día una herramienta de gran importancia, dadas las posibilidades que brinda para el desarrollo de proyectos de todo tipo, posibilitando la confección de dibujos técnicos, modelados, ensamblados, proyecciones en dos y/o tres dimensiones, todo ello como parte de la manufactura asistida por ordenador, un conjunto de herramientas que crea las condiciones para la competitividad entre las empresas, ya que permite disminuir el tiempo de diseño, la corrección de errores para aumentar así la calidad y precisión en la elaboración de los productos (Erazo, 2022).

### 2.3.2. Fabricación Digital

La fabricación digital puede parecer simple de definir tal cual indica explícitamente su nombre, la digitalización de los procesos de fabricación, pero es un término mucho más complejo, desde una mirada puramente técnica hasta la abiertamente social. Entonces, se tiene un gran abanico de herramientas y conceptos que conviven entre sí en un gran sistema, desde la precisión nanométrica hasta máquinas capaces de la auto replicación y, también lenguajes de programación para los más pequeños. La fabricación digital es una realidad que directa o indirectamente está cambiando la vida de la

humanidad como un efecto catalizador gracias a los avances en este campo durante, por lo que se puede afirmar que “la fabricación digital será el eje principal y protagonista de la siguiente gran revolución industrial que dará lugar a la sociedad del futuro” (Jorquera, 2016).

La fabricación digital trajo una revolución basada en una idea simple: convertir la información en objetos y los objetos en información. Desde el momento en que un objeto se digitaliza, todos los conceptos, valores y asociaciones con el mundo físico se ponen en tela de juicio en favor de nuevas normas éticas de producción y consumo. Cada día está más cerca el momento en el que las cosas se puedan fabricar en el lugar donde son requeridas, en la cantidad solicitada y con las adaptaciones o personalizaciones que sean necesarias (Jorquera, 2016).

La versatilidad y programabilidad del mundo digital se está trasladando al mundo físico de la manufactura, de la misma forma en que la fotografía o las comunicaciones se digitalizaron en las últimas décadas. En ese sentido la fabricación digital no se define como una herramienta concreta, sino por un conjunto de herramientas (Jorquera, 2016).

La fabricación digital engloba una serie de procesos integrados que tienen como objetivo la creación de un producto o una pieza

mediante el diseño y modelado de objetos (The Information Lab Spain, 2022).

Según Jorquera (2016) la fabricación digital abarca un conjunto de sistemas y tecnologías que se detallan a continuación:

- Sistemas integrados: Un sistema integrado es un conjunto de sistemas de software y hardware diseñado para llevar a cabo una o varias tareas predefinidas de manera conjunta.
- Sistemas CNC (Computer Numeric Control): Un sistema de control numérico por computadora permite automatizar el movimiento de diferentes máquinas herramienta para fabricar objetos con precisión y rapidez; máquinas que dan forma a un objeto en bruto por la técnica de sustracción de material.
- Sistemas CAD (Computer Aided Design): Un sistema CAD es un sistema digital que sirve para la creación, edición, análisis y visualización de modelos tanto bidimensionales como tridimensionales de los objetos a fabricar. Asimismo, sirven para realizar simulaciones.
- Internet: El internet permite que los programas CAD actuales dispongan de herramientas de trabajo colaborativo en red, de esta manera se define el producto y el proceso de fabricación de forma simultánea. El

intercambio de información en tiempo real en el proceso productivo entre el equipo de diseño y el de fabricación es necesario para la creación eficiente de productos.

### 2.3.3. Ventajas de la Fabricación Digital

Según The Information Lab Spain (2022), a nivel empresarial, la fabricación digital se ha asentado de manera sólido debido a que ofrece las siguientes ventajas:

- Mejora la productividad: Su implementación permite a las industrias aumentar su productividad, lo que les otorga una ventaja competitiva significativa en el entorno actual. Proporciona un mejor dominio en cada etapa del proceso productivo, utilizando herramientas que minimizan los residuos y reducen los tiempos de fabricación. Este enfoque optimiza cada fase de la producción, logrando productos de mayor calidad mientras se emplean menos tiempo y recursos.
- Reduce los costes de fabricación: La fabricación digital tiene la capacidad para disminuir los costos mediante el perfeccionamiento de uso de los recursos disponibles. En ese sentido, la simulación juega un papel fundamental en este proceso, permitiendo realizar pruebas y evaluaciones en modelos virtuales, lo que evita incurrir en costos asociados a la producción física.

- Acelera los procesos productivos: La fabricación digital permite acelerar una por una las etapas del proceso productivo, asegurando que la empresa posea sus productos terminados en el menor tiempo. Este beneficio impacta positivamente en los costos y disminuye el tiempo que le toma a la empresa en tener sus productos listos para adquisición, denominado *time to market*. El consumidor final es el principal favorecido con este cambio, ya que poseerá los artículos que desee en menor tiempo, con mejores características y a un precio más competitivo.
- Facilita el acceso a información en tiempo real: La fabricación digital proporciona acceso inmediato a información clave sobre los procesos de producción. Esta información puede compartirse de manera eficiente con toda la empresa, lo que favorece la colaboración en equipo y mejora la gestión de otras áreas esenciales de la empresa, como ventas, marketing, finanzas y atención al cliente. Asimismo, la manufactura digital permite que las organizaciones cuenten con una estructura que integra la gestión del ciclo de vida del producto (PLM) con los programas de software y equipos de la planta de producción, optimizando la interacción y el intercambio de

información, y fomentando un intercambio más fluido entre los equipos de diseño y fabricación.

- Posibilitar la realización de pruebas con prototipos: Un aspecto clave de la fabricación digital es que permite experimentar con prototipos. Las tecnologías digitales empleadas en esta forma de manufactura dan acceso al desarrollo de modelos virtuales que simulan el comportamiento del producto en ambientes reales, eliminando la necesidad de crear prototipos físicos y someterlos a pruebas costosas y complicadas.

### 2.3.4. Manufactura Aditiva o Impresión 3D

La impresión 3D o manufactura aditiva es un proceso que permite crear objetos físicos por adición de material mediante capas desde un modelo digital en 3D que se encuentra diseñado en un software, por lo general de material plástico, pero en la actualidad existen otros materiales como resina, nylon, metal, entre otros. Cabe mencionar que los procesos de impresión 3D requieren un trabajo en conjunto entre el software, hardware y los materiales para poder obtener el prototipo u objeto físico (Sánchez y Lira, 2020).

Los archivos generados dentro del sistema de Diseño Asistido por Computadora (CAD), Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) y Fabricación Asistida por Computadora (CAM) y la impresión 3D

están estrechamente conectados de manera rápida y ágil en los programas que involucran estas tecnologías. En muchos casos se tiene un módulo integrado que permite la conexión entre las aplicaciones, lo cual evidencia la fácil vinculación que existe entre ellas (Sánchez y Lira, 2020).

La impresión 3D está ganando terreno rápidamente en la industria de la fabricación, especialmente cuando se trata de obtener una primera representación tangible o prototipo de un producto antes de iniciar su producción. Permite verificar su forma, identificar posibles errores, y, en caso de ser una mejora de un modelo previo, comprobar si el nuevo diseño cumple con los requisitos de tamaño y funcionalidad. Además, facilita la definición de una producción en serie, permitiendo al cliente visualizar su producto antes de que comience la fabricación, y, si es necesario, realizar modificaciones en el diseño sin generar pérdidas significativas de tiempo y recursos (Torres y Pastor, 2016 citado por Sánchez y Lira, 2020).

La ventaja principal de la impresión 3D, con lo cual se está afianzando en la industria, es la flexibilidad a la hora de plantear nuevos diseños de piezas y la posibilidad de fabricar sin modelos o moldes, lo que hace que este tipo de fabricación permita obtener una amplia gama de productos (Torres y Pastor, 2016 citado por

Sánchez y Lira, 2020). Asimismo, permite la fabricación a medida o en las dimensiones requeridas de los productos.

La tecnología de impresión 3D puede utilizarse para crear diferentes tipos de objetos, desde prototipos y piezas simples hasta productos finales altamente tecnificados, como piezas de aeronaves, vehículos de transporte, joyería, piezas de arquitectura, edificaciones y demás elementos, en forma sencilla y barata. Asimismo, se utilizan para fabricar implantes médicos que permiten salvar vidas e incluso órganos artificiales que se producen con capas de células humanas (Sánchez y Lira, 2020).

### 2.3.5. La Innovación y un nuevo modelo de negocio

La disrupción tecnológica que trae la impresión 3D o Manufactura Aditiva nos debe llevar a pensar en un nuevo modelo de negocio que capture el valor creado y evite que las empresas se vuelvan obsoletas por no incorporar estos nuevos elementos a su ciclo de innovación y producción.

La digitalización de la información, conceptos y diseños ha tenido desde ya hace varios años atrás un gran impacto en las formas de hacer negocios e incluso en las industrias productivas tradicionales. En algunos casos la digitalización del contenido ha dejado sin valor a los instrumentos físicos tradicionales que la contenían, como por

ejemplo la digitalización de una película permite preservar y mantener su contenido e información, ya sea se transporte en un Blu-ray, USB o vía streaming (Rayna y Striukova, 2016).

Sin embargo, aún existe relevancia física para elementos que deben ser fabricados para ser usados, aun en estos procesos la digitalización ha tomado relevancia, interviniendo en el diseño y creación de prototipos). El efecto que ha tenido la creación de impresoras 3D en el prototipado ha superado su ámbito de acción, es decir el acceso a impresoras 3D a cada vez menor costo ha puesto al alcance de las personas la posibilidad de fabricar objetos personalizados en un proceso productivo “hecho en casa”. Aun cuando la masificación del uso de impresoras 3D aún no se ha extendido al punto de contar con una impresora 3D en cada hogar, el acceso a las mismas se ha facilitado mucho, por ejemplo, en Europa, algunas cadenas de supermercados han puesto a disposición de sus clientes el servicio de impresión 3D con el correspondiente soporte en la creación de modelos a partir de modelos 2D, escaneo u otras fuentes. En Francia, La Poste, empresa de correo ha abierto oficinas dedicadas a la impresión 3D en algunas de sus sucursales (Rayna y Striukova, 2016).

### 2.3.6. Aplicaciones de la fabricación digital

La fabricación digital se ha extendido con usos diversos en diferentes industrias, revolucionando la manera en que se especifican la producción y características de los resultados. Corsini et al., (2019) indica como las tecnologías de fabricación digital son aprovechadas en la industria médica para fabricar suministros médicos y prótesis, en la arquitectura, en la industria de agua y saneamiento, servicios públicos y repuestos.

Ahora, se presentan algunos rubros en donde la fabricación digital ha sido usada sobresalientemente:

**Arquitectura y construcción**

En el sector de la arquitectura y la construcción, la fabricación digital facilita la elaboración de estructuras y componentes intrincados. La manufactura aditiva se emplea para generar prototipos arquitectónicos con diseños complicados o complejos, mientras que el mecanizado CNC interviene con alta precisión en los procesos de formado y corte de los recursos para la edificación. Dicha opción no solo optimiza el tiempo de ejecución de la obra, sino que además posibilita la creación de diseños innovadores y estéticamente atractivos (Lujan, 2023).

En relación a esto, Mechtcherine et al., (2021) mencionan que la implementación de procesos de fabricación digital con hormigón ya sea en una planta de prefabricación o directamente en el lugar de construcción, representa un avance clave para la digitalización de toda la cadena logística en la industria de la construcción. En este aspecto, la correcta implementación con los procedmiento de refuerzo actuales, como las barras de acero, varillas, filamentos, fibras o alambres, facilitará que las edificaciones de concreto impreso se esquematicen inicialmente utilizando los estandarizados códigos para la estructura (Asprone et al., 2018).

En este escenario, las plataformas de Modelado de Información de Construcción (BIM) se fundamentan en métodos normalizados dentro de la producción y se emplean ampliamente en variados grupos de proyectos para coordinar e intercambiar información en las fases del modelado, revisión y documentación del diseño, con la finalidad de cumplir con la entrega de las tareas asignadas (Ng et al., 2022).

**Industria automotriz**

La fabricación digital está transformando la industria automotriz con la creación de prototipos y fabricación de piezas o componentes más ligeros y complejos, con el fin de mejorar la eficiencia del combustible y rendimiento general de los vehículos. Asimismo, la

fabricación digital aporta una gran capacidad para iterar y probar nuevos diseños de manera ágil y rápida con lo cual los fabricantes pueden acelerar el desarrollo de nuevos vehículos (Lujan, 2023).

**Aplicaciones médicas**

La industria de la salud ha integrado la manufactura digital, principalmente para la fabricación de prótesis y los aparatos médicos. Gracias a la manufactura aditiva, se agrega un alto nivel de configuración a la producción ágil de prótesis, restauraciones dentales e implantes ortopédicos. Esto, además de disminuir los costos, optimiza los recursos de los pacientes al ofrecer soluciones específicas ajustadas a sus requerimientos (Lujan, 2023).

En el campo de las prótesis, Jussila (2022) señala que los métodos de fabricación digital, tales como la impresión 3D y los instrumentos de modelado paramétrico, facilitan la producción de aparatos prácticos y menos laboriosos para fabricar prototipos de prótesis, en comparación con los métodos usuales de elaboración.

La fabricación digital depende de otras tecnologías de adquisición de datos, por ello Suresh et al., (2022) describe que, para la fabricación de las prótesis nasales, los procedimientos de escaneo óptico y láser mostrarían ser una técnica superior de recopilación de datos, entre todas las herramientas digitales disponibles para este

fim. Se considera que el uso de escáneres láser, junto con una mezcla de tomografía computarizada y fotografía digital, ofrece ventajas frente al uso exclusivo de solo la primera tecnología en la elaboración de prótesis auriculares.

**Educación**

En la industria educativa, el desarrollo de prototipos es un mecanismo fundamental para inculcar la capacidad de resolución de problemas presentados en ambientes reales. La fabricación digital facilita la creación ágil de prototipos usando instrumentos para el diseño y fabricación asistida por computadora (Soomro et al., 2021).

Por su lado, Leinonen et al., (2020) señala como, generalmente a través de la aplicación de diseño e impresión 3D, la fabricación digital se ha incorporado en los temas de aprendizaje en la educación escolar.

**Industria manufacturera de joyas**

La fabricación de joyas a lo largo del tiempo ha sido potenciada por una variedad de desarrollos tecnológicos. Sin embargo, ninguno de estos ha ocasionado tanto cambio en su proceso como la manufactura aditiva.

El proceso de fabricación de una pieza de joyería mediante impresión 3D, requiere modelar con anterioridad el diseño con programas CAD y CAM. Podemos trabajar con cualquier software de modelado 3D, pero actualmente existen programas especializados para joyería por la precisión y complejidad que se requiere en el diseño, como RhinoJewel, RhinoGold o MatrixGold. El abanico de configuraciones presentes en estos programas agiliza considerablemente los pasos en el diseño de joyas tales como gemas y sistemas de cierre prediseñados, engastes y carriles con parámetros regulables, entre otros (Muñoz, 2023).

La impresión 3D permite generar los patrones de fundición de joyería que se adaptan al proceso estándar de fundición a la cera perdida con la función de tener siempre resultados seguros con mayor rapidez; fabricación de modelos maestros impresos en 3D de alta calidad, con una superficie lisa y detalles ultraprecisos, diseñados para ser resistentes al calor en procesos como moldeado de caucho; y, la fabricación de prototipos funcionales con alta fidelidad, detalle y una calidad de superficie precisa, para validar con el cliente los ajustes personalizados (3D Systems, 2021).

### 2.3.7. Joyería Artesanal: Proceso de producción

La joyería artesanal tiene un proceso amplio dependiendo del producto final que se desea fabricar, que va desde la extracción de

la materia prima hasta el producto terminado, listo para su comercialización al cliente final. Por lo general, se define el proceso de producción desde la etapa del diseño y prototipado hasta obtener el producto final (Landazábal et al., 2020). A continuación, se describe cada paso del proceso de producción para una pieza de un diseño específico como un anillo:

1. Extracción de materia prima. Proceso de extracción del metal a utilizar para la fabricación de la pieza, que puede ser oro o plata, por medio de la minería a tajo abierto o cerrado.
2. Refinación. Proceso que permite limpiar las impurezas del metal, por medio de diferentes métodos: refinación por ácido nítrico, por ácido sulfúrico, por electrólisis, por cloro. Cabe indicar que la refinación incluye el paso inicial llamado purificación.
3. Diseño. Proceso en el que se crea la propuesta del producto a realizar por medio de una ilustración manual o digital, en base a las necesidades del cliente.
4. Prototipado. En esta etapa se realiza un prototipo en cera a escala real de la pieza a manufacturar, a partir del diseño aprobado por el cliente (Pachón y Zamora, 2015).
5. Moldeado. Luego que el prototipo en cera esté validado de acuerdo con las especificaciones requeridas por el cliente, se genera un molde de yeso de la joya a fabricar, para lo cual se

requiere realizar un patrón de cera en el prototipo (que también está hecho de cera), una estructura que proporciona caminos para que la cera fundida salga y se tenga el molde de la joya (Pachón y Zamora, 2015).

6. Fundición. Proceso en el que se crean las aleaciones en los metales, por ejemplo, puede ser oro de 24 quilates (99.9% oro) o 18 quilates (75% oro). Una vez fundido el metal se vierte en el molde para llenar todas las cavidades y obtener la pieza deseada.
7. Corte y soldadura. En este proceso se extrae la pieza en metal del molde, y se le separa del árbol principal mediante cortes. Luego se aplica soldadura en las partes que lo requieran para mejorar la apariencia de la pieza.
8. Decapado o soluciones limpiadoras. En este proceso se eliminan las superficies oxidadas y resto de metal después de la soldadura para conseguir un blanqueado de las piezas, por ello se realiza un baño en ácido: alumbre, ácido sulfúrico o ácido nítrico.
9. Limado y lijado. Proceso manual que por medio de una lija o lima se pulen las diferentes caras de la pieza.
10. Pulido. Proceso que se realiza por medio de una máquina pulidora para dar brillo a la pieza, se utiliza distintos felpas y pastas para resaltar el brillo natural del metal.

11. Producto final. La joya está lista para su comercialización, se le diseña un *packing* y se entrega al cliente final.

### 2.3.8. Joyería e Impresión 3D

En la historia de la humanidad, la joyería es una de las manifestaciones artísticas más antiguas, siendo apreciada tanto por su belleza estética y valor. Si bien en un principio las joyas se elaboraban exclusivamente en base a piedras preciosa y metales valiosos, en la actualidad, la elección de materiales se ha diversificado ampliamente incluyendo opciones como el acero inoxidable, cobre, bronce, diversas aleaciones metálicas, plásticos y otro tipo de metales preciosos como el paladio y el platino. Esta mayor diversificación de materiales facilita la expansión de los usos de la joyería, como en tejidos y prendas de vestir. (Kumar y Kumar, 2020).

La evolución de la joyería ha implicado el uso de tecnologías de vanguardia como es el caso de la impresión 3D, esto ha permitido que los fabricantes y diseñadores de joyas puedan expandir sus limitaciones en términos de creatividad, personalización y eficiencia de los procesos de producción. También ha permitido una democratización al acceso de procesos de producción que en el pasado solo se podrían llevar a cabo con técnicas tradicionales que resultaban más costosas y lentas. Gracias a las facilidades

otorgadas por la tecnología de impresión 3D, es posible experimentar con diseños complejos y personalizados que van de acuerdo a las tendencias del mercado y las exigencias de los clientes. Esto ha abierto la posibilidad de personalización en masa, permitiendo a los consumidores acceder a piezas únicas adaptadas a sus gustos con facilidad, algo que en el pasado era difícil de lograr. La aplicación de la impresión 3D en la joyería se puede realizar de dos maneras (Guillén, 2015).

1. Fabricación directa por medio de métodos de deposición fundida (FDM), donde la joya es producida en un proceso de extrusión capa por capa.
2. La utilización de moldes impresos con resinas o metales que permiten su utilización en procesos tradicionales de fundición para la fabricación de la joya. Este segundo método suele tener un mejor acabado.

Entre algunos casos de éxito alrededor del mundo podemos mencionar las siguientes empresas (Sánchez, 2016):

**American Pearl**

Empresa ubicada en Nueva York, Estados Unidos. Implemento la impresión 3D a su modelo de negocios permitiendo a los clientes realizar sus propios diseños personalizados desde sus hogares, haciendo la compra de manera virtual sin la necesidad de visitar una tienda física. Posteriormente, la empresa brindó la posibilidad de

realizar réplicas de joyas familiares basándose solamente en fotografías antiguas, lo que permitía a los clientes recuperar o duplicar joyas con un gran valor sentimental.

**Makebu**

Es una empresa española que implemento la impresión 3D para diseñar de manera creativa sus joyas. La diseñadora emplea un software de diseño avanzado para el modelado de estas y posteriormente las imprime para enviarlas a un proveedor externo que se encarga de convertirlas en el producto final. Este procedimiento beneficia la creatividad del diseñador y permite estructuras complejas que serían imposibles de replicar con métodos tradicionales.

**Tacori**

Compañía estadounidense reconocida por producir anillos de compromiso. En este caso la empresa no usa directamente Impresión 3D, pero sí softwares de diseño digital, los cuales son esencial para los procesos de impresión. Estos softwares le permitieron a la empresa desarrollar catálogos virtuales de bajo costo y poder producir joyas bajo pedido, evitando los altos costos que implicarían la creación de piezas para exhibición.

## 2.4. Glosario

- **Joyería**

  La joyería es un conjunto de productos estéticos llevados para la ornamentación personal que incluyen anillos, collares, aretes, pulseras, broches y otros artículos pequeños (Centro de Investigación de Economía y Negocios Globales, 2022).

- **Prototipo**

  Un prototipo es un primer modelo de un producto o servicio que se fabrica con la intención de testearlo; o bien, lanzarlo al mercado como algo totalmente innovador o porque se trata de una versión más avanzada de lo previamente creado; con la finalidad de verificar el diseño y validar las funcionalidades específicas que el consumidor final está buscando para satisfacer sus necesidades (Universidad Europea en Perú, 2024).

- **Prototipado**

  El prototipado se refiere a la técnica industrial en el que se desarrolla un diseño basado en un producto, con el objetivo de evaluar sus atributos tras ser fabricado. Es un proceso planificado en el que se consideran diversos factores para determinar la viabilidad y eficiencia del artículo antes de su producción final. Asimismo, es una herramienta comúnmente empleada por la gran mayoría de las

empresas, especialmente cuando deciden lanzar al mercado un nuevo producto o servicio (Universidad Internacional de Valencia, 2023).

- **Fabricación Digital**

  La fabricación digital es un procedimiento integrado, basado en software y hardware, que involucra la simulación, visualización en tres dimensiones (3D), análisis y otros instrumentos variados de colaboración para establecer conceptos de producto y procesos de fabricación simultáneamente.

  La fabricación digital se ha derivado desde enfoques previos de manufactura como el diseño para la fabricación (DFM), la fabricación integrada por ordenador (CIM), la fabricación flexible y otros, los cuales destacan la necesidad de una cooperación más cercana entre el desarrollo del producto y los procesos de fabricación (Siemens Digital Industries Software, 2022).

# CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

## 3.1. Tipo y diseño de investigación

De acuerdo a la naturaleza práctica de la hipótesis planteada se ha determinado para la presente tesis, desarrollar una investigación aplicada, identificando para esto un nicho del sector manufacturero peruano en el cual el impacto de la Fabricación Digital en la etapa de prototipado tenga un efecto medible y cambie el paradigma del proceso de fabricación.

De igual manera, se ha decidido aplicar una metodología inductiva, que nos permita aceptar o rechazar las hipótesis planteadas, y a partir de la recolección de datos y la observación, nos permita construir nuevas teorías aplicables al nicho del sector manufacturero peruano elegido.

La investigación aplicada tiene por objeto resolver un problema existente, para lo cual requiere la relación de varios saberes para su empleo en un caso específico y examina la serie de efectos que surgen de ella(Sánchez et al., 2018).

Entonces podemos decir que la investigación aplicada quiere la formación de conocimiento que pueda ser aplicado puntualmente a un problema social y/o productivo, siendo el problema presentado en la presente tesis el cómo la fabricación digital en la etapa de prototipado optimiza el proceso de fabricación en la industria manufacturera de joyas en Lima, se postula a la fabricación digital como un medio para brindar una posible solución al problema.

Los estudios inductivos son utilizados en las investigaciones cualitativas, las cuales siguen principalmente una lógica y tratamiento inductivo (explorar y describir, y luego generar enfoques teóricos), que permite ir de lo específico a lo global. Como muestra, en una típica investigación cualitativa, el investigador realiza una entrevista a un individuo, analiza la información obtenida y extrae algunas conclusiones; luego, realiza una nueva entrevista, examina la información recopilada y revisa los resultados y conclusiones; este proceso se repite con más entrevistas, con el fin de profundizar en el entendimiento del asunto tratado. Es decir, se aborda caso por caso, hasta llegar a una visión más general (Sampieri et al., 2014).

Como se ha mencionado anteriormente el estudio inductivo se utiliza regularmente cuando se plantea un enfoque cualitativo de la investigación, las principales propiedades del enfoque cuantitativo versus el enfoque cuantitativo, en relación al desarrollo del trabajo, se presentan en el cuadro líneas debajo (Sampieri et al., 2014):

Tabla 2. Comparativo enfoque cuantitativo vs enfoque cualitativo.

| **Definiciones (dimensiones)** | **Enfoque Cuantitativo** | **Enfoque Cualitativo** |
|---|---|---|
| Diseño de la Investigación | Estructurado, predeterminado (precede a la recolección de los datos). | Abierto, flexible, construido durante el trabajo de campo o realización del estudio. |
| Población-muestra | El objetivo es generalizar los datos de una muestra a una población (de un grupo pequeño a uno mayor). | Regularmente no se pretende generalizar los resultados obtenidos en la muestra a una población. |
| Muestra | Se involucra a muchos sujetos en la investigación porque se pretende generalizar los resultados del estudio. | Se involucra a unos cuantos sujetos porque no se pretende necesariamente generalizar los resultados del estudio. |

| | | |
|---|---|---|
| Composición de la Muestra | Casos que en conjunto son estadísticamente representativos | Casos individuales, representativos no desde el punto de vista estadístico. |
| Naturaleza de los Datos | La naturaleza de los datos es cuantitativa (datos numéricos). | La naturaleza de los datos es cualitativa (textos, narraciones, significados, etcétera). |
| Tipos de Datos | Datos confiables y duros. En ingles: hard | Datos profundos y enriquecedores. En ingles: soft. |
| Recolección de Datos | La recolección se basa en instrumentos estandarizados. Es uniforme para todos los casos. Los datos se obtienen por observación, medición y documentación de mediciones. Se utilizan instrumentos que han demostrado ser válidos y confiables en estudios previos o se generan nuevos basados en la revisión de la literatura y se prueban y ajustan. Las preguntas o ítems utilizados son específicos con posibilidades de respuesta predeterminadas. | La recolección de los datos está orientada a proveer de un mayor entendimiento de los significados y experiencias de las personas. El investigador es el instrumento de recolección de los datos, se auxilia de diversas técnicas que se desarrollan durante el estudio. Es decir, no se inicia la recolección de los datos con instrumentos preestablecidos, sino que el investigador comienza a aprender por observación y descripciones de los participantes y concibe formas para registrar los datos que se van refinando conforme avanza la investigación. |
| Forma de Datos para Analizar | Los datos son representados en forma de números que son analizados estadísticamente. | Datos en forma de textos, imágenes, piezas audiovisuales, documentos y objetos personales. |
| Presentación de Resultados | Tablas, diagramas y modelos estadísticos. El formato de presentación es estándar. | El investigador emplea una variedad de formatos para reportar sus resultados: narraciones, fragmentos de textos, videos, audios, fotografías y mapas; diagramas, matrices y modelos conceptuales.<br>Prácticamente, el formato varía en cada estudio. |
| Reporte de Resultados | Los reportes utilizan un tono objetivo, impersonal, no emotivo | Los reportes utilizan un tono personal y emotivo. |

*Fuente: Sampieri et al. (2014).*

“La investigación cualitativa proporciona profundidad a los datos, dispersión, riqueza interpretativa, contextualización del ambiente o entorno, detalles y experiencias únicas. También aporta un punto de vista “fresco, natural y holístico” de los fenómenos, así como flexibilidad. Desde luego, el método cuantitativo ha sido el más usado por ciencias como la física, química y biología. Por ende, es más propio para las ciencias llamadas “exactas o naturales”. El método cualitativo se ha empleado más bien en disciplinas humanísticas como la antropología, la etnografía y la psicología social” (Sampieri et al., 2014).

## 3.2. Población y muestra

### 3.2.1. Unidad de análisis

Habiéndose definido la utilización del método inductivo y siendo esta una investigación aplicada, la unidad de análisis elegida será la empresa manufacturera.

La empresa manufacturera elegida como unidad de análisis, debe contar entre sus procesos principales e iniciales con la etapa de elaboración de prototipos por medios artesanales y fabricación digital, a fin de que el impacto del cambio tecnológico pueda ser medido en la optimización del proceso de fabricación.

De igual manera, tratándose de una investigación aplicada se definirá el alcance geográfico al territorio peruano, con énfasis en Lima Metropolitana.

### 3.2.2. Población de estudio

Habiendo definido la unidad de análisis, a continuación, detallaremos los límites de la población de estudio:

1. La población de estudio estará acotada a las empresas pertenecientes al sector productivo nacional peruano, a fin de estudiar el impacto que tiene la fabricación digital en las empresas peruanas. Dentro del ámbito geográfico, se define Lima Metropolitana como límite para la población de estudio, a fin de tener acceso directo a los datos de la investigación aplicada.

2. La población de estudio deberá pertenecer a empresas del sector productivo secundario manufacturero en las cuales la creación de prototipos sea parte inicial y principal del proceso productivo para la fabricación de nuevos productos.

3. Considerando los puntos anteriores, dentro del sector productivo secundario manufacturero se identifican los siguientes subsectores: Joyería y Orfebrería, Fundición y Metalurgia, Manufacturas de plástico y similares.

4. Para la elaboración de la presente investigación, nos centraremos en el subsector de joyería y orfebrería,

compuesta por empresas de Lima Metropolitana de los rubros: fabricación de joyas y artículos conexos y fabricación de productos de metales preciosos.

De acuerdo con el Directorio Nacional de Empresas MIPYME formales del Sector Manufactura del 2021, elaborado por la Oficina de Estudios Económicos (OEE) del Ministerio de la Producción (Produce), que tomaron datos de la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT), se tiene en Lima Metropolitana un total de 1033 empresas MIPYME en el sector manufacturero de joyas, de los cuales 920 pertenecen al rubro de fabricación de joyas y artículos conexos y 113 al rubro de fabricación de productos de metales preciosos.

En la tabla 8 se detalla el número de empresas MIPYME por distrito de Lima Metropolitana, donde los distritos con mayor cantidad de negocios en el sector manufacturero de joyas son Lima Cercado que cuenta con 219, Miraflores cuenta con 96, San Juan de Lurigancho con 88, Santiago de Surco con 71, San Martín de Porres con 43, Lurigancho con 41, Comas y La Molina cada uno cuenta con 32 empresas. Asimismo, los distritos con menor cantidad de empresas registradas son Cieneguilla que cuenta con 1 empresa, Ancón con 2, Lurín, Pachacamac y San Luis cada uno con 3 empresas.

En relación a las grandes empresas del sector manufacturero de joyas, según el Directorio Nacional de Grandes Empresas del Sector Manufactura del 2021, elaborado por la Oficina de Estudios Económicos (OEE) del Ministerio de la Producción (Produce), tomando datos de la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT), en Lima Metropolitana encontramos un total de 9 grandes empresas en el sector manufacturero de joyas, de los cuales 3 pertenecen al rubro de fabricación de joyas y artículos conexos y 6 al rubro de fabricación de productos de metales preciosos.

**Tabla 3.** *Número de empresas del sector manufacturero de joyas por distrito de Lima Metropolitana.*

| DISTRITO | N° EMPRESAS |
|---|---|
| ANCON | 2 |
| ATE | 19 |
| BARRANCO | 5 |
| BREÑA | 12 |
| CARABAYLLO | 14 |
| CHACLACAYO | 7 |
| CHORRILLOS | 25 |
| CIENEGUILLA | 1 |
| COMAS | 32 |
| EL AGUSTINO | 6 |
| INDEPENDENCIA | 17 |
| JESUS MARIA | 26 |
| LA MOLINA | 32 |
| LA VICTORIA | 17 |
| LIMA | 219 |
| LINCE | 16 |
| LOS OLIVOS | 27 |
| LURIGANCHO | 41 |
| LURIN | 3 |
| MAGDALENA DEL MAR | 10 |
| MIRAFLORES | 96 |

| | |
|---|---|
| PACHACAMAC | 3 |
| PUEBLO LIBRE (MAGDALENA VIEJA) | 9 |
| PUENTE PIEDRA | 13 |
| RIMAC | 27 |
| SAN BORJA | 27 |
| SAN ISIDRO | 27 |
| SAN JUAN DE LURIGANCHO | 88 |
| SAN JUAN DE MIRAFLORES | 10 |
| SAN LUIS | 3 |
| SAN MARTIN DE PORRES | 43 |
| SAN MIGUEL | 25 |
| SANTA ANITA | 6 |
| SANTIAGO DE SURCO | 71 |
| SURQUILLO | 19 |
| VILLA EL SALVADOR | 17 |
| VILLA MARIA DEL TRIUNFO | 18 |
| TOTAL | 1033 |

*Nota: Tomado del Directorio Nacional de empresas MIPYME formales del Sector Manufactura, 2021. Elaborado por la Oficina de Estudios Económicos (OEE) - Ministerio de la Producción. Fuente: Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT)*

En la tabla 9 se detalla las grandes empresas del sector manufacturero de joyas en Lima Metropolitana.

**Tabla 4.** *Grandes Empresas del sector manufacturero de joyas en Lima Metropolitana.*

| **EMPRESA** | **RUBRO** | **DISTRITO** |
|---|---|---|
| PROCESADORA SUDAMERICANA S R L | FAB. PRODUCTOS DE MET. PRECIOSOS. | ATE |
| ARIN S A | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | CHORRILLOS |
| NEXA RESOURCES CAJAMARQUILLA S.A. | FAB. PRODUCTOS DE MET. PRECIOSOS. | LURIGANCHO |
| EMPRESA METAL MECANICA S A EMEMSA | FAB. PRODUCTOS DE MET. PRECIOSOS. | LURIN |
| EMC GREEN GROUP S.A. | FAB. PRODUCTOS DE MET. PRECIOSOS. | SAN ISIDRO |
| CHALA ONE SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - CHALA ONE S.A.C. | FAB. PRODUCTOS DE MET. PRECIOSOS. | SAN ISIDRO |
| NEW FASHION PERU S. A. | FAB. PRODUCTOS DE MET. PRECIOSOS. | ATE |
| DEORO S.A.C. | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | CHORRILLOS |
| JOYERIA ALDO S.A.C. | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | SAN BORJA |

*Nota: Tomado del Directorio Nacional de Grandes Empresas del Sector Manufactura, 2021. Elaborado por la Oficina de Estudios Económicos (OEE) - Ministerio de la Producción. Fuente: Superintendencia Nacional de Aduanas y Administración Tributaria (SUNAT).*

**Tabla 5.** *Muestra de MIPYMEs del sector manufacturero de joyas en Lima Metropolitana.*

| EMPRESA | RUBRO | DISTRITO |
|---|---|---|
| LIMA JOYA SAC | FAB. PRODUCTOS DE MET. PRECIOSOS. | LIMA |
| JOYERIA DIANA PERU SOCIEDAD ANONIMA CERRADA | FAB. PRODUCTOS DE MET. PRECIOSOS. | LIMA |
| JOYERIA LA MINITTA SOCIEDAD ANONIMA CERRADA | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | LIMA |
| JOYERIA INVERSIONES SANCHEZ S.A.C. - JOINSA S.A.C. | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | LIMA |
| VF MECHAN DESIGN S.A.C | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | LIMA |
| PLATERIA ARTE SIPAN S.A.C. | FAB. PRODUCTOS DE MET. PRECIOSOS. | MIRAFLORES |
| CORPORACION BECORENA S.R.L. | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | MIRAFLORES |
| INTERNATIONAL DIAMONDS S.A.C. | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | MIRAFLORES |
| JOYA ANDINA S.A.C. | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | MIRAFLORES |
| PETUNIA S.A.C. | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | MIRAFLORES |
| JOYERIA ALDO S.A.C. | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | SAN BORJA |
| VIANCCA JOYERIA & PLATERIA S.A.C. | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | MIRAFLORES |
| BEARIS SAC | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | LINCE |
| MONTES S A | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | LIMA |
| DAMMAR S.A.C. | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | BREÑA |
| LINEA NUOVA S A | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | LIMA |
| NADIA PETROVA S.A.C. | FAB. JOYAS Y ARTICULOS CONEXOS. | SANTIAGO DE SURCO |

*Nota: Tomado del Directorio Nacional de empresas MIPYME formales del Sector Manufactura, 2021. Elaborado por la Oficina de Estudios Económicos (OEE) - Ministerio de la Producción. Fuente: Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT)*

### 3.2.3. Tamaño de la muestra

Se aplicará un muestreo no probabilístico entre la población de grandes empresas y MIPYME de joyas en Lima Metropolitana. Los criterios de selección estarán dados por la utilización o no de la fabricación digital en sus procesos de prototipado, la relevancia de aplicación de esta tecnología para sus mercados/clientes y el acceso a la información que nos brinden estas empresas. Asimismo, por

razones de diseño y de las características de la unidad de análisis se ha considerado una muestra pequeña de 23 empresas, las cuales serán sometidos a la prueba de rachas para confirmar que se ha tomado una muestra de manera aleatoria. Según los criterios antes mencionado, la muestra de MIPYMEs para la presente investigación se detalla en la tabla 11, que se muestra a continuación:

**Tabla 6.** *MIPYMEs del sector manufacturero de joyas entrevistadas.*

| EMPRESA | DISTRITO |
|---|---|
| Silvy Joyería S.A.C. \| Silvy Inversiones. | Comas |
| Joyería Camu | Lima |
| Joyería Romel | Lima |
| Joyería Areli | Lima |
| Taller de Esquivel \| Joyería y accesorios | Lima |
| Joyería Pulido F & B | Lima |
| Joyeria Jhon | Lima |
| Joyería Lizeth | Lima |
| Joyería Nissou E.I.R.L | Lima |
| Joyería Lenin | Lima |
| Joyería Dana | Lima |
| Joyería Milton's | Lima |
| Joyería Pisfil | Lima |
| Victor Joyero | Lima |
| Joyeria Stylos L&L | Lima |
| Lour Joyería Fina | Lima |
| Herdel S.A. | Puente Piedra |
| Zamac Peruano S.R.L. | Chorrillos |
| Taller Luisa | Lima |
| ARIN S.A. | Chorrillos |
| Lorena Amaya Joyas y Accesorios | Lima |
| Joyería y relojería el Tumi S.C.R.L | Lima |
| G&G Joyeros S.A.C. | Miraflores |

*Nota: Tomado del Directorio Nacional de empresas MIPYME formales del Sector Manufactura, 2021. Elaborado por la Oficina de Estudios Económicos (OEE) - Ministerio de la Producción. Fuente: Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT)*

### 3.2.4. Selección de la muestra

Del listado presentado en la tabla 11 se realizó una primera aproximación para determinar su disposición y apertura a contribuir con el presente estudio. Luego se procedió a realizar una entrevista para recaudar toda la información necesaria para el análisis detallado que será presentado en los resultados de la investigación. Finalmente, de acuerdo al análisis de la información obtenida en las entrevistas se definirá la muestra final del presente estudio.

## 3.3. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recopilación de información, y al tratarse de una investigación aplicada e inductiva se utilizaron las siguientes técnicas como herramientas de adquisición de datos:

**a. Entrevistas**

Se aplicaron las entrevistas a profundidad, las cuales incluían una relación de preguntas enfocadas a entender el proceso productivo primero y luego a identificar los aportes de la fabricación digital en la innovación de sus productos. Estas se realizaron a representantes de las empresas involucrados directamente en el proceso productivo; las entrevistas fueron directas (personales) en los cuales se utilizó una libreta de apuntes como herramienta y una grabadora. Para reforzar o revocar la información recopilada en las entrevistas a profundidad también se entrevistaron a otros expertos en el tema, como representantes de los CITE's (Centro de

Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica) y joyeros con menores volúmenes de producción.

**b. Observación Directa**

A partir de los primeros resultados obtenidos en las entrevistas, se ha aplicado la observación directa en una muestra de empresas artesanales dedicadas a la joyería para el mercado local, contrastando los resultados de este proceso de observación con los resultados obtenidos en un ambiente controlado (Laboratorio Universitario), en el cual se ha introducido al proceso productivo la variable independiente en estudio: el prototipado mediante Fabricación Digital.

Mediante la contrastación explicativa entre los resultados obtenidos a través de la observación directa del proceso productivo artesanal en los talleres de las empresas visitadas y el proceso productivo recreado en un ambiente controlado introduciendo la variable independiente, se han obtenido resultados que evidencian el impacto en las variables dependientes postuladas en la presente tesis.

**c. Investigación de Gabinete**

Se realizó un estudio documental investigación de gabinete revisando diversa documentación pertinente, la cual incluye tesis desarrolladas en

universidades nacionales y extranjeras y diversos “papers” publicados referente al avance e impacto de la fabricación digital en la industria manufacturera y en la joyería y orfebrería.

### 3.4. Análisis e interpretación de la información

Para el análisis e interpretación de datos se utilizó la Teoría de los Recursos y Capacidades, estadística descriptiva e inferencial (Ver anexo 1).

# CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1. Análisis de resultados

Las empresas que nos brindaron su aceptación de realizarles una entrevista se muestran en la tabla 7. La entrevista fue estructurada de acuerdo a la encuesta diseñada para tal fin y que se muestra en el anexo 3. Cabe destacar que las empresas tuvieron la libertad de abstenerse a responder las preguntas que consideren necesario. Asimismo, de acuerdo a la información obtenida se fue definiendo que preguntas no le aplica a la empresa en estudio y por ello se consideró que era irrelevante realizarla.

**Tabla 7.** *Empresas entrevistadas.*

| ID | Empresa |
|---|---|
| E1 | Taller de Esquivel \| Joyería y accesorios |
| E2 | Joyería Pulido F & B |
| E3 | Joyeria Jhon |
| E4 | Joyería Dana |
| E5 | Joyería Milton's |
| E6 | Joyería Pisfil |
| E7 | Joyería Stylos L&L |
| E8 | Lour Joyería Fina |
| E9 | G&G Joyeros S.A.C. |
| E10 | Silvy Joyeria S.A.C. \| Silvy Inversiones. |
| E11 | Joyería Camu |
| E12 | Joyería Romel |
| E13 | Joyería Areli |
| E14 | Joyería Lizeth |
| E15 | Joyería Nissou E.I.R.L. |
| E16 | Joyería Lenin |
| E17 | Victor Joyero |
| E18 | Herdel S.A. |
| E19 | Zamac Peruano S.R.L. |
| E20 | Taller Luisa |
| E21 | ARIN S.A. |
| E22 | Lorena Amaya Joyas y Accesorios |
| E23 | Joyería y relojería el Tumi S.C.R.L. |

*Fuente: Elaboración propia.*

La muestra recabada se someterá a la prueba de rachas para validar su aleatoriedad, por ello se define la siguiente prueba de hipótesis:

$H_0$: $La\ muestra\ es\ aleatoria$

$H_1$: $La\ muestra\ no\ es\ aleatoria$

Se realizó una entrevista a las 23 empresas de la muestra que se visualiza en la tabla 7, donde se registró si la empresa brindo la información completa a las preguntas realizadas (C) o al menos una pregunta no fue respondida o está incompleta (I) como se muestra en la tabla 8.

**Tabla 8.** *Empresas que brindaron información completa e incompleta.*

| ID | Empresa | Información | |
|---|---|---|---|
| | | Completa | Incompleta |
| E1 | Taller de Esquivel \| Joyería y accesorios | C | |
| E2 | Joyería Pulido F & B | C | |
| E3 | Joyeria Jhon | C | |
| E4 | Joyería Dana | C | |
| E5 | Joyería Milton's | | I |
| E6 | Joyería Pisfil | C | |
| E7 | Joyeria Stylos L&L | C | |
| E8 | Lour Joyería Fina | C | |
| E9 | G&G Joyeros S.A.C. | C | |
| E10 | Silvy Joyeria S.A.C. \| Silvy Inversiones. | | I |
| E11 | Joyería Camu | | I |
| E12 | Joyería Romel | | I |
| E13 | Joyería Areli | | I |
| E14 | Joyería Lizeth | C | |
| E15 | Joyería Nissou E.I.R.L | | I |
| E16 | Joyería Lenin | C | |
| E17 | Victor Joyero | C | |
| E18 | Herdel S.A. | | I |
| E19 | Zamac Peruano S.R.L. | | I |
| E20 | Taller Luisa | | I |
| E21 | ARIN S.A. | C | |
| E22 | Lorena Amaya Joyas y Accesorios | C | |
| E23 | Joyería y relojería el Tumi S.C.R.L | C | |

*Fuente: Elaboración propia.*

Entonces tenemos las siguientes premisas:

$C$: La información está completa

$I$: $La\ información\ está\ incompleta$

La prueba se centra en el número de rachas (R), cuya media (μ) y desviación estándar (σ) son:

$$\mu_R = \frac{2n_1n_2}{n_1 + n_2} + 1$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2(n_1 + n_2 - 1)}}$$

Donde:

$n_1$: $Número\ de\ elementos\ con\ el\ primer\ resultado$

$n_2$: $Número\ de\ elementos\ con\ el\ segundo\ resultado$

Entonces de acuerdo con la tabla 8 se tiene que:

$$n_1 = C = 14$$

$$n_2 = I = 9$$

La media del número de rachas (R) es:

$$\mu_R = \frac{2n_1n_2}{n_1 + n_2} + 1$$

$$\mu_R = \frac{2(14)(9)}{14 + 9} + 1 = 11.957$$

La desviación estándar del número de rachas (R) es:

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2(n_1 + n_2 - 1)}}$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{2(14)(9)(2(14)(9) - 14 - 9)}{(14 + 9)^2(14 + 9 - 1)}} = 2.227$$

Y para identificar el número de rachas (R) se analiza la tabla 9, donde se tiene que R=9.

**Tabla 9.** *Cálculo del número de rachas (R).*

| ID | Empresa | Información | | Rachas |
|---|---|---|---|---|
| | | Completa | Incompleta | |
| E1 | Taller de Esquivel \| Joyería y accesorios | C | | R1 |
| E2 | Joyería Pulido F & B | C | | |
| E3 | Joyeria Jhon | C | | |
| E4 | Joyería Dana | C | | |
| E5 | Joyería Milton's | | I | R2 |
| E6 | Joyería Pisfil | C | | R3 |
| E7 | Joyeria Stylos L&L | C | | |
| E8 | Lour Joyería Fina | C | | |
| E9 | G&G Joyeros S.A.C. | C | | |
| E10 | Silvy Joyeria S.A.C. \| Silvy Inversiones. | | I | R4 |
| E11 | Joyería Camu | | I | |
| E12 | Joyería Romel | | I | |
| E13 | Joyería Areli | | I | |
| E14 | Joyería Lizeth | C | | R5 |
| E15 | Joyería Nissou E.I.R.L | | I | R6 |
| E16 | Joyería Lenin | C | | R7 |
| E17 | Victor Joyero | C | | |
| E18 | Herdel S.A. | | I | R8 |
| E19 | Zamac Peruano S.R.L. | | I | |
| E20 | Taller Luisa | | I | |
| E21 | ARIN S.A. | C | | R9 |
| E22 | Lorena Amaya Joyas y Accesorios | C | | |
| E23 | Joyería y relojería el Tumi S.C.R.L | C | | |
| Total | | 14 | 9 | 9 |

*Fuente: Elaboración propia.*

En estadístico de prueba con un nivel de significancia del 5% (0.05) es:

$$Z = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R}$$

Donde:

$R$: $Número\ de\ rachas$

$\mu_R$: $Media\ del\ número\ de\ rachas$

$\sigma_R$: $Desviación\ del\ número\ de\ rachas$

$$Z = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R}$$

$$Z = \frac{9 - 11.957}{2.227} = -1.328$$

De la distribución normal teórica con un nivel de confianza del 95%, se tiene que el Z teórico es -1.960, el cual es menor al Z prueba igual a -1.328 que cae en la zona de no rechazo, por ello no se rechaza la hipótesis nula ($H_0$), es decir, no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la aleatoriedad de la muestra.

Asimismo, cabe indicar que debido a que el $n_1 = 14$ y $n_2 = 9$ son menores a 20, se puede consultar directamente las tablas de valores críticos de R en la Prueba de Rachas (Anexo 2). De la consulta a la tabla se obtiene que la prueba se rechaza o la $H_0$ se rechaza si $R \leq 6$ y $R \geq 17$. Como $R = 9$, no hay evidencia estadística suficiente para rechazar la aleatoriedad de la muestra.

Luego de las entrevistas realizadas tenemos los tiempos de fabricación promedio (horas) para una joya que se describen en la tabla 10. Cabe indicar que la joya de referencia varía entre cada empresa, entre los que podemos mencionar: anillos, cadenas y otros accesorios.

**Tabla 10.** *Tiempos de fabricación promedio (horas) de una joya por Empresa.*

| ID | Empresa | Tiempo (Horas) |
|---|---|---|
| E1 | Taller de Esquivel \| Joyería y accesorios | 8 |
| E2 | Joyería Pulido F & B | 12 |
| E3 | Joyeria Jhon | 4 |
| E4 | Joyería Dana | 2 |
| E5 | Joyería Milton's | 24 |
| E6 | Joyería Pisfil | 20 |
| E7 | Joyeria Stylos L&L | 4 |
| E8 | Lour Joyería Fina | 16 |
| E14 | Joyería Lizeth | 2 |
| E16 | Joyería Lenin | 13 |
| E17 | Victor Joyero | 16 |
| E21 | ARIN S.A. | 19 |

*Fuente: Elaboración propia.*

También se obtuvo a partir de las entrevistas los tiempos promedio de fabricación (horas) del prototipo para obtener el molde de la joya, los cuales se detallan en la tabla 11.

**Tabla 11.** *Tiempos de fabricación promedio (horas) del prototipo por Empresa.*

| ID | Empresa | Tiempo (Horas) |
|---|---|---|
| E1 | Taller de Esquivel \| Joyería y accesorios | 3 |
| E2 | Joyería Pulido F & B | 12 |
| E3 | Joyeria Jhon | 16 |
| E4 | Joyería Dana | 20 |
| E5 | Joyería Milton's | 24 |
| E6 | Joyería Pisfil | 20 |
| E8 | Lour Joyería Fina | 12 |
| E14 | Joyería Lizeth | 2.5 |
| E15 | Joyería Nissou E.I.R.L | 2.5 |
| E16 | Joyería Lenin | 28 |
| E21 | ARIN S.A. | 4 |
| E23 | Joyería y relojería el Tumi S.C.R.L | 1 |

*Fuente: Elaboración propia.*

Luego de acuerdo a las respuestas de los entrevistados se analizó si para la fabricación de los prototipos aplican o no impresión 3D en el proceso. Asimismo, dentro del grupo que no aplica impresión 3D se consideró a las empresas que tercerizan dicho servicio, independientemente si la empresa tercerizadora aplica o no impresión 3D en su proceso, esto porque no se cuenta con la información por parte de las empresas tercerizadoras, como se muestra en la tabla 12.

**Tabla 12.** *Aplicación de Impresión 3D en la fabricación del prototipo por Empresa.*

| | | Aplicación Impresión 3D | |
|---|---|---|---|
| **ID** | **Empresa** | **SI** | **NO** |
| E1 | Taller de Esquivel \| Joyería y accesorios | | 3 |
| E2 | Joyería Pulido F & B | | 12 |
| E3 | Joyeria Jhon | | 16 |
| E4 | Joyería Dana | | 20 |
| E5 | Joyería Milton's | | 24 |
| E6 | Joyería Pisfil | | 20 |
| E8 | Lour Joyería Fina | | 12 |
| E14 | Joyería Lizeth | 2.5 | |
| E15 | Joyería Nissou E.I.R.L | 2.5 | |
| E16 | Joyería Lenin | | 28 |
| E21 | ARIN S.A. | 4 | |
| E23 | Joyería y relojería el Tumi S.C.R.L | 1 | |

*Fuente: Elaboración propia.*

Para analizar la calidad del prototipo fabricado para obtener el molde de la joya se analizó el número de versiones que elaboran las empresas del prototipo hasta obtener el definitivo que servirá para fabricar el molde de la joya, el número de versiones fabricadas en promedio por empresa se detalla en la tabla 13.

Luego en la tabla 14 se describe si las empresas aplican o no impresión 3D en el proceso de fabricación de los prototipos de joya para poder analizar la correlación que existe entre ambas variables.

**Tabla 13.** *Número de versiones del prototipo por Empresa.*

| ID | Empresa | N° Versiones |
|---|---|---|
| E1 | Taller de Esquivel \| Joyería y accesorios | 2 |
| E2 | Joyería Pulido F & B | 2 |
| E6 | Joyería Pisfil | 1 |
| E7 | Joyeria Stylos L&L | 2 |
| E8 | Lour Joyería Fina | 2 |
| E9 | G&G Joyeros S.A.C. | 4 |
| E14 | Joyería Lizeth | 1 |
| E15 | Joyería Nissou E.I.R.L | 1 |
| E16 | Joyería Lenin | 4 |
| E21 | ARIN S.A. | 1 |
| E22 | Lorena Amaya Joyas y Accesorios | 3 |
| E23 | Joyería y relojería el Tumi S.C.R.L | 1 |

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 14.** *Aplicación de Impresión 3D en la calidad del prototipo por Empresa.*

| | | Aplicación Impresión 3D | |
|---|---|---|---|
| **ID** | **Empresa** | **SI** | **NO** |
| E1 | Taller de Esquivel \| Joyería y accesorios | | 2 |
| E2 | Joyería Pulido F & B | 2 | |
| E6 | Joyería Pisfil | 1 | |
| E7 | Joyeria Stylos L&L | | 2 |
| E8 | Lour Joyería Fina | 2 | |
| E9 | G&G Joyeros S.A.C. | | 4 |
| E14 | Joyería Lizeth | 1 | |
| E15 | Joyería Nissou E.I.R.L | 1 | |
| E16 | Joyería Lenin | | 4 |
| E21 | ARIN S.A. | 1 | |
| E22 | Lorena Amaya Joyas y Accesorios | | 3 |
| E23 | Joyería y relojería el Tumi S.C.R.L | 1 | |

*Fuente: Elaboración propia.*

Las principales barreras que enfrentan las empresas encuestadas para poder acceder al uso de las impresoras 3D en sus procesos de fabricación de joyas son: Disponibilidad de personal capacitado, presupuesto en Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (I+D+I) y el costo de adquisición, implementación y mantenimiento de equipos y materiales (Ver tabla 15).

**Tabla 15.** *Principales barreras que enfrentan las empresas encuestadas.*

| **Barreras** | **Total** |
|---|---|
| Brecha significativa en disponibilidad de personal capacitado | 18 |
| Escaso o exigüo presupuesto en I+D+I | 11 |
| Costo de adquisición, implementación y mantenimiento de equipos y materiales | 10 |
| Escaso o exigüo presupuesto para infraestructura tecnológica (equipamiento) | 6 |
| Mentalidad enfocada en la cultura tradicional (artesanal) | 5 |
| Costo de capacitación al personal | 3 |
| Limitado nivel de producción actual de joyas | 1 |
| Limitada oferta nacional de equipos y materiales | 1 |
| Brecha de infraestructura o carencia de espacio físico de trabajo | 1 |
| Total | 56 |

*Fuente: Elaboración propia.*

De la tabla 15 podemos mencionar que 18 empresas encuestadas indicaron que tienen una brecha significativa en la disponibilidad de personal capacitado, siendo esta la principal barrera que enfrentan las empresas encuestadas para incluir la fabricación digital (impresión 3D) en su proceso de fabricación de joyas. Seguidamente, tenemos que las empresas encuestadas se enfrentan al escaso o exigüo presupuesto en I+D+I con el que cuentan y a los altos costos que representa la adquisición, implementación y mantenimiento de equipos y materiales de fabricación digital (impresión 3D). Asimismo, cabe indicar que la

mentalidad enfocada en la cultura tradicional (artesanal) también representa una barrera para las empresas encuestadas.

## 4.2. Contrastación de las hipótesis

Se utiliza el software estadístico Minitab 18 para obtener los estadísticos descriptivos de los datos, las pruebas de normalidad, la correlación de Spearman y las pruebas de contrastación de las hipótesis planteadas en el estudio.

### 4.2.1. Prueba de Normalidad

Se realiza la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, ya que se analiza muestras pequeñas (menor a 50 elementos), para determinar si los datos de la muestra siguen o no una distribución normal. En ese sentido se define la prueba de hipótesis de la siguiente manera:

$H_0$: *La muestra sigue o proviene de una distribución normal*

$H_1$: *La muestra no sigue o no proviene de una distribución normal*

Entonces, se define el criterio para la toma de decisiones en cada caso de la siguiente manera:

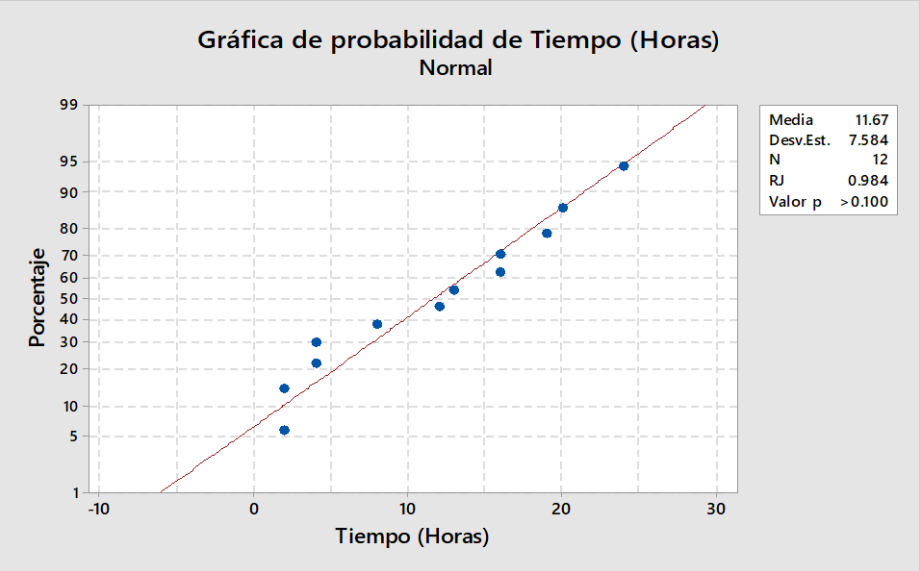
$Si\ \alpha \geq P_{valor}\ (Valor\ p) o\ P_{value}\ se\ rechaza\ la\ hipótesis\ nula\ (H_0)$.

$Si\ \alpha < P_{valor}\ (Valor\ p)\ o\ P_{value}\ no\ se\ rechaza\ la\ hipótesis\ nula\ (H_0)$.

Cabe indicar que se realiza las pruebas de normalidad con un nivel de confianza del 95% (0.95) cuyo nivel de significancia es 5% (0.05).

En primer lugar, se somete a la prueba de normalidad los datos de los tiempos de fabricación promedio de una joya en horas (tabla 10), se obtiene la siguiente distribución de normalidad como se observa en la figura 1.

**Figura 1.** *Gráfica de probabilidad del tiempo de fabricación promedio de una joya (horas).*

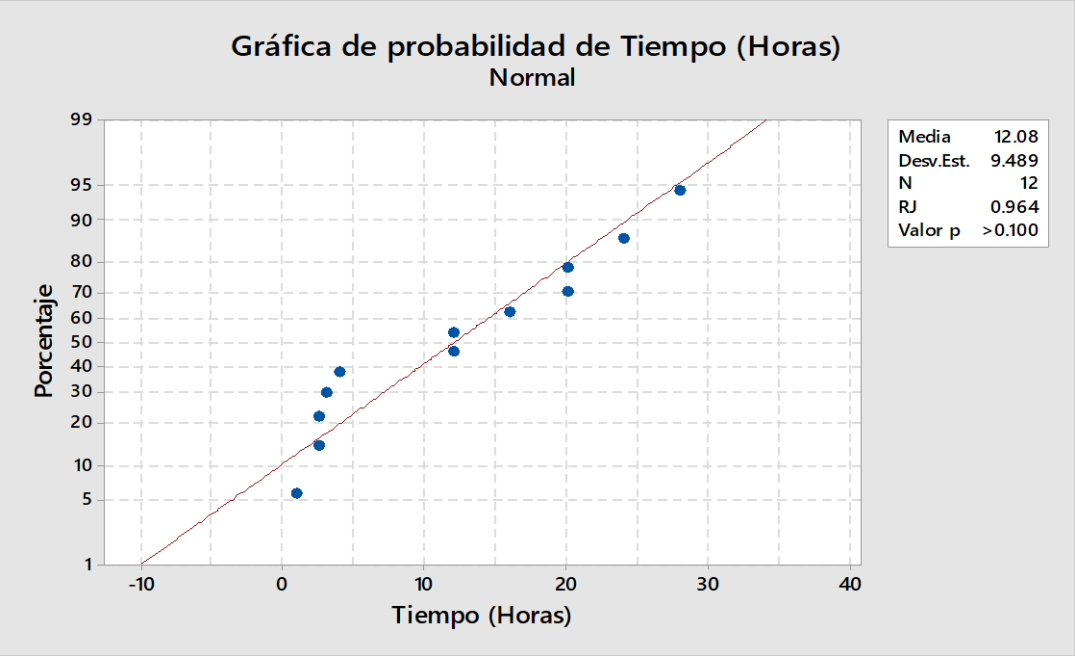



*Fuente: Elaboración propia.*

De la figura 1 se obtiene que el $P_{valor} = 0.1$ es mayor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$, lo que nos indica que no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de que la muestra de los tiempos de fabricación promedio de una joya (horas) sigue una Distribución Normal.

Luego, se somete a la prueba de normalidad los datos de los tiempos de fabricación promedio de un prototipo de joya en horas (tabla 11), se obtiene la siguiente distribución de normalidad como se observa en la figura 2.

**Figura 2.** *Gráfica de probabilidad del tiempo de fabricación promedio de un prototipo de joya (horas).*



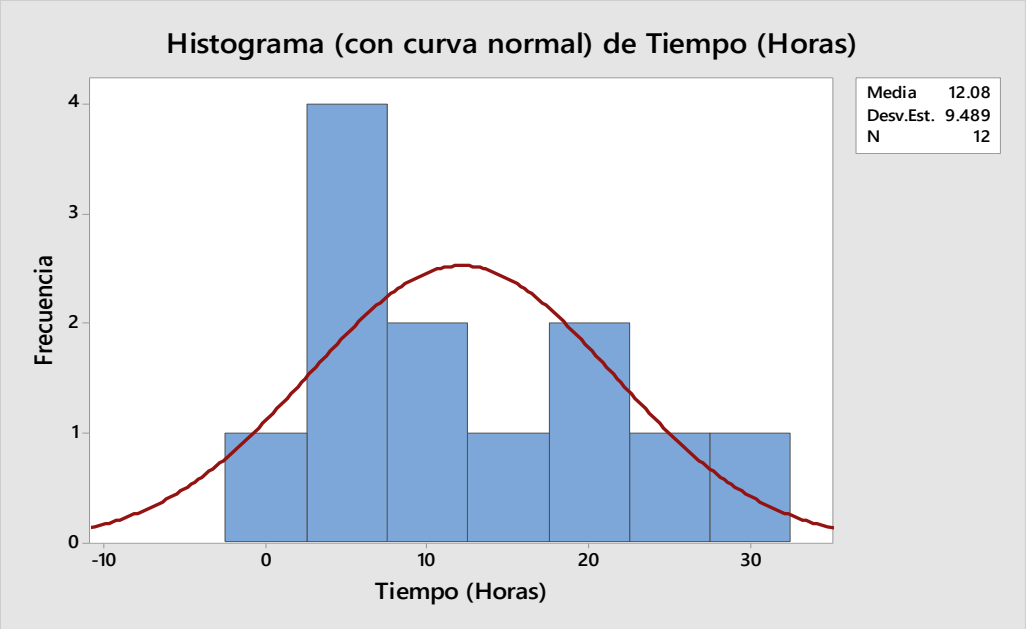

*Fuente: Elaboración propia.*

De la figura 2 se obtiene que el $P_{valor} = 0.1$ es mayor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$, lo que nos indica que no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de que la muestra de los tiempos de fabricación promedio de un prototipo de joya (horas) sigue una Distribución Normal. Cabe indicar que una mejor visualización de la distribución normal de los datos se puede

visualizar en la figura 3 que muestra un histograma con la curva normal.

Asimismo, se obtuvo los estadísticos descriptivos para la muestra de los tiempos de fabricación promedio de un prototipo de joya (horas) como se muestra en la figura 4.

**Figura 3.** *Histograma con curva normal de los tiempos de fabricación promedio de un prototipo de joya (horas).*




*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 4.** *Estadísticos descriptivos de los tiempos de fabricación promedio de un prototipo de joya (horas).*

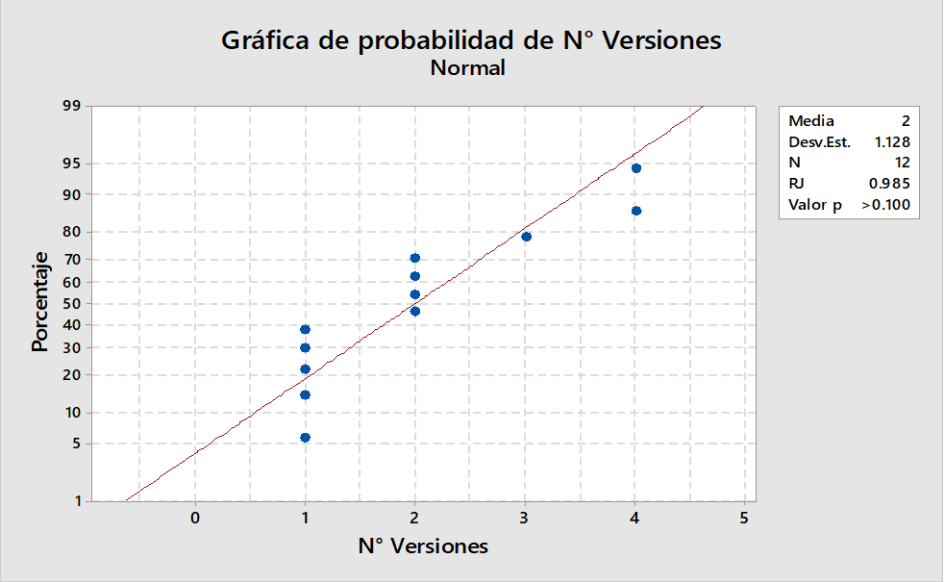
**Estadísticas**

| Variable | N | N* | Media | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1 | Mediana | Q3 | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tiempo (Horas) | 12 | 0 | 12.08 | 2.74 | 9.49 | 1.00 | 2.63 | 12.00 | 20.00 | 28.00 |

*Fuente: Elaboración propia.*

Finalmente, se somete a la prueba de normalidad los datos del número de versiones que se elaboran del prototipo antes de obtener el molde final de la joya (tabla 13), se obtiene la siguiente distribución de normalidad como se observa en la figura 5.

**Figura 5.** *Gráfica de probabilidad del número de versiones que se elaboran de un prototipo de joya antes de obtener el molde final.*



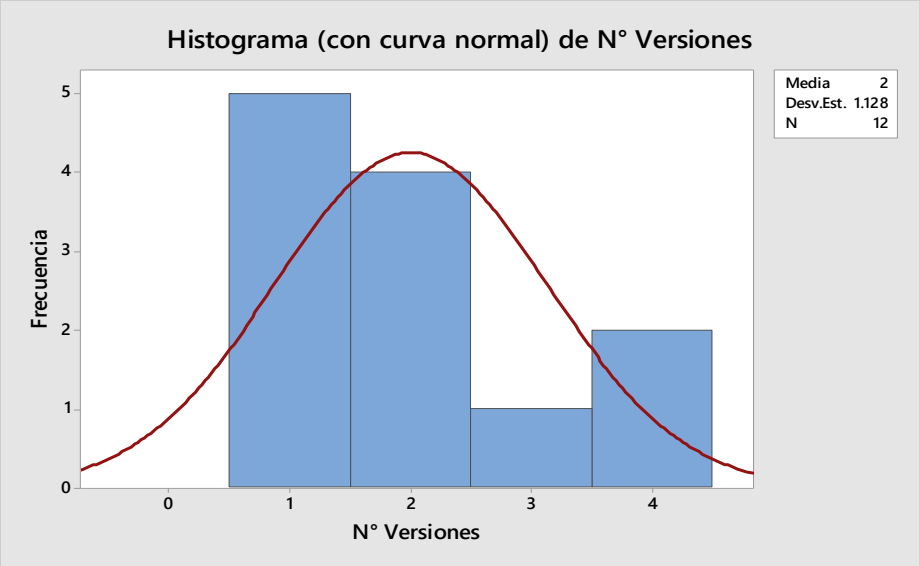

*Fuente: Elaboración propia.*

De la figura 5 se obtiene que el $P_{valor} = 0.1$ es mayor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$, lo que nos indica que no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de que la muestra del número de versiones que se elaboran de un prototipo de joya antes de obtener el molde final sigue una Distribución Normal. Cabe indicar que una mejor visualización de la distribución

normal de los datos se puede visualizar en la figura 6 que muestra un histograma con la curva normal.

Asimismo, se obtuvo los estadísticos descriptivos para la muestra del número de versiones que se elaboran de un prototipo de joya antes de obtener el molde final como se muestra en la figura 7.

**Figura 6.** *Histograma con curva normal del número de versiones que se elaboran de un prototipo de joya antes de obtener el molde final.*




*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 7.** *Estadísticos descriptivos del número de versiones que se elaboran de un prototipo de joya antes de obtener el molde final.*

**Estadísticas**

| Variable | N | N* | Media | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1 | Mediana | Q3 | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N° Versiones | 12 | 0 | 2.000 | 0.326 | 1.128 | 1.000 | 1.000 | 2.000 | 2.750 | 4.000 |

*Fuente: Elaboración propia.*

### 4.2.2. Prueba de Correlación

Se aplica la prueba de Correlación de Spearman por la naturaleza de las variables, tenemos una cuantitativa continua (tiempo de fabricación) y una cualitativa (aplicación impresión 3D), de la muestra de tiempos de fabricación promedio de un prototipo de joya con el impacto de la aplicación de la impresión 3D (tabla 12). Asimismo, porque la variable aplicación impresión 3D no sigue una distribución normal. En la figura 8 se tiene el valor del Rho de Spearman.

**Figura 8.** *Rho de Spearman.*




*Fuente: Elaboración propia.*

El valor del Rho de Spearman de -0.772 nos indica que existe una relación negativa (inversa) entre el tiempo de fabricación promedio del prototipo y la aplicación de Impresión 3D en el proceso de fabricación de una joya.

### 4.2.3. Prueba de contrastación de hipótesis

Para la contrastación de las hipótesis planteadas en el estudio, se aplica la prueba t-Student para dos muestras (aplica y no aplica impresión 3D), ya que se analiza muestras pequeñas (menor a 30

elementos). En ese sentido se define el criterio para la toma de decisiones en cada caso de la siguiente manera:

$Si\ \alpha \geq P_{valor}\ (Valor\ p) o\ P_{value}\ se\ rechaza\ la\ hipótesis\ nula\ (H_0).$

$Si\ \alpha < P_{valor}\ (Valor\ p)\ o\ P_{value}\ no\ se\ rechaza\ la\ hipótesis\ nula\ (H_0).$

Cabe indicar que se realiza las pruebas de hipótesis, para todos los casos, con un nivel de confianza del 95% (0.95) cuyo nivel de significancia es 5% (0.05).

En primer lugar, se analiza los tiempos de fabricación promedio de un prototipo de joya en horas para la muestra que aplica y no aplica impresión 3D (tabla 12), y con ello validar que la fabricación digital reduce el tiempo de fabricación de los prototipos en la industria manufacturera de joyas en Lima. Se obtiene los estadísticos descriptivos para ambas muestras (aplica y no aplica impresión 3D) en la figura 9.

**Figura 9.** *Estadísticos descriptivos de los tiempos de fabricación promedio de un prototipo de joya para la muestra que aplica y no aplica impresión 3D.*

**Estadísticas descriptivas**

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|---|---|---|---|---|
| Aplica Impresión 3D | 4 | 2.50 | 1.22 | 0.61 |
| No Aplica Impresión 3D | 8 | 16.88 | 7.88 | 2.8 |

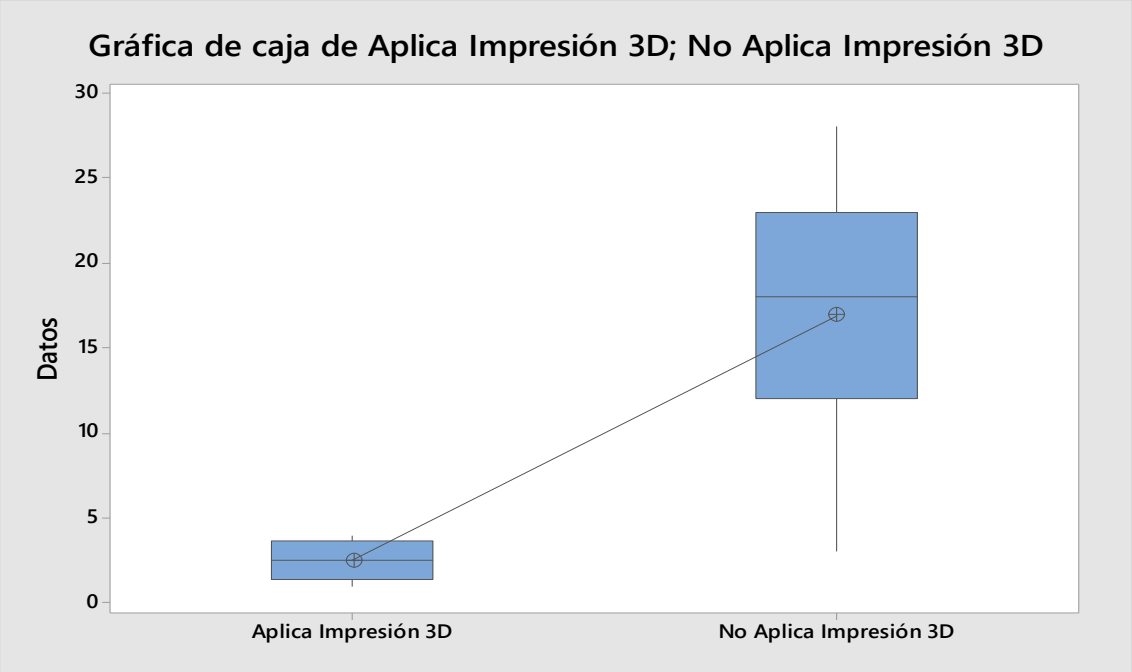
**Estimación de la diferencia**

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|---|---|
| -14.38 | (-21.12; -7.63) |

*Fuente: Elaboración propia.*

Asimismo, se obtiene la gráfica de caja para la muestra que aplica y no aplica impresión 3D como se muestra en la figura 10.

**Figura 10.** *Gráfica de caja de los tiempos de fabricación promedio de una joya.*




*Fuente: Elaboración propia.*

En ese sentido, se define la hipótesis nula $(H_0)$ y alternativa $(H_1)$ de la siguiente manera:

$H_0$: $No\ existe\ diferencia\ significativa\ en\ los\ tiempos\ de\ fabricación\ de\ un\ prototipo\ cuando\ se\ aplica\ y\ no\ aplica\ impresión\ 3D.$

$H_1$: $Existe\ diferencia\ significativa\ en\ los\ tiempos\ de\ fabricación\ de\ un\ prototipo\ cuando\ se\ aplica\ y\ no\ aplica\ impresión\ 3D.$

Con la prueba t-Student de dos muestras, se obtiene los siguientes datos, que se muestran en la figura 11, que nos ayudaran a tomar una decisión de acuerdo con el criterio de toma de decisiones definido anteriormente.

**Figura 11.** *Prueba t-Student de dos muestras para el rechazo o no de la hipótesis sobre los tiempos de fabricación promedio de una joya.*

**Prueba**

| | |
|---|---|
| Hipótesis nula | $H_o: \mu_1 - \mu_2 = 0$ |
| Hipótesis alterna | $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ |

| Valor T | GL | Valor p |
|---|---|---|
| -5.04 | 7 | 0.001 |

*Fuente: Elaboración propia.*

De la prueba estadística t-Student para dos muestras se tiene que el $P_{valor}\ (Valor\ p) = 0.001$ es menor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$ por lo tanto, la diferencia entre la media de los tiempos de fabricación del prototipo con aplicación de impresión 3D y la media de los tiempos de fabricación del prototipo sin aplicación de impresión 3D es estadísticamente significativa. Entonces, existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula $(H_0)$, y se puede afirmar que existe diferencia significativa en los tiempos de fabricación de un prototipo cuando se aplica y no aplica impresión 3D.

Luego, se analiza el número de versiones que se elaboran del prototipo antes de obtener el molde final de la joya para la muestra que aplica y no aplica impresión 3D (tabla 14), y con ello validar que la aplicación de la fabricación digital mejora la calidad de los prototipos en la industria manufacturera de joyas en Lima. Se obtiene los estadísticos descriptivos para ambas muestras (aplica y no aplica impresión 3D) en la figura 12.

**Figura 12.** *Estadísticos descriptivos del número de versiones que se elaboran del prototipo antes de obtener el molde final de la joya para la muestra que aplica y no aplica impresión 3D.*

**Estadísticas descriptivas**

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|---|---|---|---|---|
| Aplica Impresión 3D | 7 | 1.286 | 0.488 | 0.18 |
| No Aplica Impresión 3D | 5 | 3.00 | 1.00 | 0.45 |

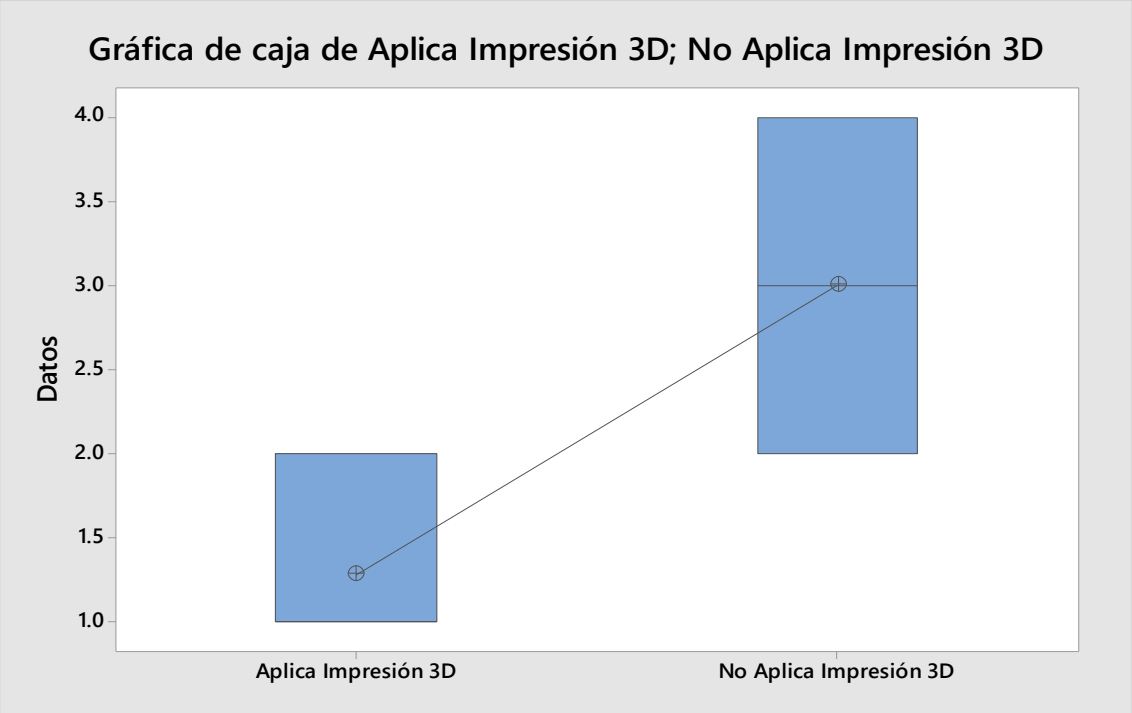
**Estimación de la diferencia**

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|---|---|
| -1.714 | (-2.958; -0.471) |

*Fuente: Elaboración propia.*

Asimismo, se obtiene la gráfica de caja para la muestra que aplica y no aplica impresión 3D como se muestra en la figura 13.

**Figura 13.** *Gráfica de caja del número de versiones que se elaboran del prototipo antes de obtener el molde final de la joya.*




*Fuente: Elaboración propia.*

En ese sentido, se define la hipótesis nula $(H_0)$ y alternativa $(H_1)$ de la siguiente manera:

$H_0$: $No\ existe\ diferencia\ significativa\ en\ el\ número\ de\ versiones\ del\ prototipo\ cuando\ se\ aplica\ y\ no\ aplica\ impresión\ 3D.$

$H_1$: $Existe\ diferencia\ significativa\ en\ el\ número\ de\ versiones\ del\ prototipo\ cuando\ se\ aplica\ y\ no\ aplica\ impresión\ 3D.$

Con la prueba t-Student de dos muestras, se obtiene los siguientes datos, que se muestran en la figura 14, que nos ayudaran a tomar

una decisión de acuerdo con el criterio de toma de decisiones definido anteriormente.

**Figura 14.** *Prueba t-Student de dos muestras para el rechazo o no de la hipótesis sobre el número de versiones del prototipo de una joya.*

**Prueba**

| | |
|---|---|
| Hipótesis nula | $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ |
| Hipótesis alterna | $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ |

| Valor T | GL | Valor p |
|---|---|---|
| -3.54 | 5 | 0.016 |

*Fuente: Elaboración propia.*

De la prueba estadística t-Student para dos muestras se tiene que el $P_{valor}\ (Valor\ p) = 0.016$ es menor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$ por lo tanto, la diferencia entre la media del número de versiones fabricadas del prototipo con aplicación de impresión 3D y la media del número de versiones fabricadas del prototipo sin aplicación de impresión 3D es estadísticamente significativa. Entonces, existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula $(H_0)$, y se puede afirmar que existe diferencia significativa en el número de versiones fabricadas del prototipo de una joya cuando se aplica y no aplica impresión 3D.

## 4.3. Discusión de resultados

De acuerdo a las respuestas de las empresas entrevistadas se analizó si para la fabricación de los prototipos de joya aplican o no impresión 3D en el proceso, se debe tener en cuenta que dentro del grupo que no aplica impresión 3D se consideró a las empresas que tercerizan dicho servicio, independientemente si la empresa tercerizadora aplica o no impresión 3D en su proceso, esto porque no se cuenta con la información por parte de las empresas tercerizadoras. Lo que se obtuvo es diferencias entre los tiempos de fabricación del prototipo entre las empresas que aplican y no aplican directamente la impresión 3D (ver tabla 12). Para las empresas que aplican impresión 3D se obtuvo un tiempo promedio de fabricación del prototipo de 2.5 horas y para las empresas que no aplican impresión 3D les toma en promedio 16.9 horas en fabricar un prototipo de joya. Asimismo, se obtuvo una correlación inversa (negativa) fuerte con un valor del Rho de Spearman de -0.772 entre el tiempo de fabricación del prototipo y la aplicación de Impresión 3D en el proceso.

El resultado obtenido nos indica que la aplicación de la fabricación digital (impresión 3D) reduce el tiempo de fabricación de los prototipos en la industria manufacturera de joyas, alineado a lo que indica The Information Lab Spain (2022), que la fabricación digital (impresión 3D) acelera cada una de las etapas de fabricación, consiguiendo que la empresa disponga de sus productos finalizados en menos tiempo.

Luego, para analizar la calidad del prototipo fabricado para obtener el molde de la joya se revisó el número de versiones del prototipo que elaboran las empresas hasta obtener el definitivo que servirá para fabricar el molde de la joya. Lo que se obtuvo es diferencias entre el número de versiones fabricadas en promedio por las empresas que aplican y no aplican directamente la impresión 3D (ver tabla 14). Para las empresas que aplican impresión 3D se obtuvo un número promedio de versiones que elaboran del prototipo igual a 1.3 y las empresas que no aplican impresión 3D elaboran en promedio 3 versiones del prototipo de la joya.

El resultado obtenido nos indica que la aplicación de la fabricación digital (impresión 3D) mejora la calidad de la fabricación de los prototipos en la industria manufacturera de joyas, alineado a lo que menciona Torres y Pastor (2016) citado por Sánchez y Lira (2020), que una ventaja notable de la impresión 3D es minimizar la gran pérdida de esfuerzo y dinero que supone una producción sin antes validar las características del producto con un prototipo físico, y este a su vez fabricando un prototipo con un margen de error mínimo a lo esperado con el diseño del producto en un software CAD, que si se fabricara de manera artesanal.

Asimismo, los resultados obtenidos están alineados a lo que menciona The Information Lab Spain (2022), que la fabricación digital es una realidad que implementan muchas empresas porque les ofrece mejorar su productividad con lo cual ser más competitivas en el mercado actual, permite optimizar cada una

de las etapas de fabricación de un producto, con lo cual se consigue una calidad final superior, empleando menos tiempo y recursos.

Finalmente, es necesario mencionar que las empresas encuestadas enfrentan diferentes barreras en la aplicación de la impresión 3D como lo es contar con el personal capacitado, contar con presupuesto para I+D+I y los altos costos que implica la implementación, ejecución y mantenimiento de los equipos y materiales que se requieren para la impresión 3D.

# CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. Conclusiones

- Para las empresas que aplican impresión 3D se obtuvo un tiempo promedio de fabricación del prototipo de 2.5 horas y para las empresas que no aplican impresión 3D les toma en promedio 16.9 horas en fabricar un prototipo de joya, en este último se incluyó a las empresas que tercerizan el servicio. Asimismo, se obtuvo una correlación inversa (negativa) fuerte con un valor del Rho de Spearman de -0.772 entre el tiempo de fabricación del prototipo y la aplicación de Impresión 3D en el proceso.

- Para analizar la calidad del prototipo fabricado para obtener el molde de la joya se revisó el número de versiones del prototipo que elaboran las empresas hasta obtener el definitivo que servirá para fabricar el molde de la joya. Lo que se obtuvo es diferencias entre el número de versiones fabricadas en promedio por las empresas que aplican y no aplican directamente la impresión 3D. Para las empresas que aplican impresión 3D se obtuvo un número promedio de versiones que elaboran del prototipo igual a 1.3 y las empresas que no aplican impresión 3D elaboran en promedio 3 versiones del prototipo de la joya.

- El estudio arrojó que la impresión 3D permite optimizar el proceso de fabricación de la industria manufacturera de joyas, en dos variables

fundamentales como el tiempo de fabricación del prototipo y la calidad del prototipo que se obtiene.

- De las 23 empresas encuestadas, 18 indicaron que tienen una brecha significativa en la disponibilidad de personal capacitado, siendo esta la principal barrera que enfrentan las empresas encuestadas para incluir la fabricación digital (impresión 3D) en su proceso de fabricación de joyas. Seguidamente, tenemos que las empresas encuestadas se enfrentan al escaso o exiguo presupuesto en I+D+I con el que cuentan y a los altos costos que representa la adquisición, implementación y mantenimiento de equipos y materiales de fabricación digital (impresión 3D)

## 5.2. Recomendaciones

- Se recomienda a los futuros profesionales y lectores de este estudio continuar con la investigación en otras regiones del Perú, pero también profundizar en Lima Metropolitana para dar relevancia a la tecnología de la impresión 3D y fomentar su aplicación en la industria manufacturera de joyas.

- Asimismo, profundizar el estudio en otras variables relevantes que impactan en la productividad de las empresas, aquellas que les va a permitir ser más competitivas en el mercado nacional y/o internacional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3D Systems. (2021, 22 de febrero). Impresión en 3D para la fabricación de joyas. *3D Systems.* https://es.3dsystems.com/jewelry

Agazzi, E. (1998). El impacto epistemológico de la tecnología. *Argumentos de Razón Técnica,* (1), 17-31. http://hdl.handle.net/11441/21682

Aguilar, F. (2011). REFLEXIONES FILOSÓFICAS SOBRE LA TECNOLOGÍA Y SUS NUEVOS ESCENARIOS. *Sophia, Colección de Filosofía de la Educación*, (11), 123-174. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=441846104007

Álvarez, M. y Torres, R. (2023). Epistemología de la tecnología artesanal. *Cuadernos Del Centro de Estudios En Diseño Y Comunicación. Ensayos*, *179*, 67–74. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8882269.pdf

Andina. (2024, 13 de febrero). Exportación de joyería peruana creció 8.6% en el 2023. *Andina: Agencia Peruana de Noticias*. https://andina.pe/agencia/noticia-exportacion-joyeria-peruana-crecio-86-el-2023-974222.aspx

Asprone, D., Menna, C., Bos, F. P., Salet, T. A., Mata-Falcón, J., & Kaufmann, W. (2018). Rethinking reinforcement for digital fabrication with concrete. Cement and Concrete Research, 112, 111-121.

Bordianu, D. (2023). La impresión 3D como nuevo modelo de producción [Trabajo de grado, Administración y Dirección de Empresas]. Universidad de Valladolid.

Centro de investigación de economía y negocios globales. (2022). Reporte de Tendencias: Joyería. https://www.cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2022/10/CIEN_RT_Septiembre_2022.pdf

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2024, 02 de enero). Acerca de Innovación, ciencia y tecnología. *Cepal.org.* https://www.cepal.org/es/temas/innovacion-ciencia-y-tecnologia/acerca-innovacion-ciencia-tecnologia

Consejo Nacional de Competitividad y Formalización (2019). *Plan Nacional de Competitividad y Productividad.* 29-32 https://www.mef.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=6081&Itemid=100674&lang=es&language=es-ES

Corsini, L., Aranda-Jan, C. B., & Moultrie, J. (2019). Using digital fabrication tools to provide humanitarian and development aid in low-resource settings. Technology in Society, 58, 101117.

De la Vega, M. (2023, 21 de agosto). Futuro reluciente con joyería y orfebrería peruana. *El Peruano.* https://www.elperuano.pe/noticia/221159-futuro-reluciente-con-joyeriay-orfebreria-peruana

El Comercio. (2023, 02 de noviembre). Adex: exportadores de joyas miran con optimismo el 2024. *El Comercio*. https://elcomercio.pe/economia/peru/adex-exportadores-de-joyas-miran-con-optimismo-el-2024-ultimas-noticia/

Erazo, V. (2022). El diseño, la manufactura y análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de

productos en América Latina. *Información Tecnológica*, 33(2), 297–308. https://doi.org/10.4067/s0718-07642022000200297

Fakhry, M., Kamel, I., y Abdelaal, A. (2021). CAD using preference compared to hand drafting in architectural working drawings coursework. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(3), 3331-3338. https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.01.016

García Leonard, Y., & Sorhegui Rodríguez, R. A. (2020). La teoría de los recursos y capacidades como fundamento metodológico para el estudio de la gestión de la innovación empresarial. *REVISTA CIENTÍFICA ECOCIENCIA*, *7*, 5. https://doi.org/10.21855/ecociencia.70.304

Guillén, A. (2015). Producción de joyería fabricada mediante impresión 3D [Trabajo fin de grado, Grado en Bellas Artes]. Universitat Politécnica de Valencia.

Hernández, M. (2018). Un obstáculo epistemológico para el estudio de la tecnología. *Acta universitaria*, 28(1), 64-76. https://doi.org/10.15174/au.2018.1173

Hilbert, M. (2015). ¿Qué son los Sistemas Complejos? *MartinHilbert.net.* https://www.martinhilbert.net/que-son-los-sistemas-complejos/

Jorquera, A. (2016). *Fabricación digital: Introducción al modelado e impresión 3D* (1. ª ed.). Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (España).

Jussila, T. (2022). Prosthetics Prototyping Platform–Digital Fabrication Techniques for Healthcare.

Kumar, R., & Kumar, S. (2020). Trending Applications of 3D Printing: A Study. Asian Journal of Engineering and Applied Technology, 9(1), 1–12.

Landazábal, L. et al. (2020). Joyería artesanal en oro: Producción más limpia. *Revista Intersección: Eventos, turismo, gastronomía y moda*, 2(4), 20-36. https://doi.org/10.33571/revinterseccion.v2n4a2

Leinonen, T., Virnes, M., Hietala, I. and Brinck, J. (2020), 3D Printing in the Wild: Adopting Digital Fabrication in Elementary School Education. Int J Art Des Educ, 39: 600-615. https://doi.org/10.1111/jade.12310

Lopez, A. (2021). Propuesta de mejora del proceso de fabricación de joyas para el incremento del nivel de producción en una joyería de Lambayeque [Trabajo de grado, Título profesional en Ingeniería Industrial]. Universidad Católica de Santo Toribio de Mogrovejo.

Lujan, M. (2023, 27 de junio). Fabricación digital: revolucionando los procesos de manufactura. *Innovar o morir.* https://innovaromorir.com/fabricacion-digital-procesos-manufactura/#Aplicaciones_de_la_fabricacion_digital_en_diversas_industrias

Mechtcherine, V., Buswell, R., Kloft, H., Bos, F. P., Hack, N., Wolfs, R., … & Neef, T. (2021). Integrating reinforcement in digital fabrication with concrete: a review and classification framework. Cement and Concrete Composites, 119, 103964.

Muñoz, K. (2023, 24 de mayo). La impresión 3D en el rubro de la joyería. *KREAR 3D*. https://krear3d.com/blog/noticias/la-impresion-3d-en-el-rubro-de-la-joyeria/

Nan Shen. (2019). Dibujo y diseño digital aplicado a la fabricación de joyería [Trabajo de fin de máster, Máster Universitario en Dibujo: Creación, Producción y Difusión]. Universidad de Granada.

Ng, M. S., Chen, Q., Hall, D. M., Hackl, J., & Adey, B. T. (2022). Designing for digital fabrication: An empirical study of industry needs, perceived benefits, and strategies for adoption. Journal of Management in Engineering, 38(5), 04022052.

Oficina de Estudios Económicos. (2023). Directorio Nacional de empresas MIPYME formales del Sector Manufactura, 2021. Ministerio de la Producción. https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oee-directorio/directorio-mipyme

Oficina de Estudios Económicos. (2023). Directorio Nacional de Grandes Empresas del Sector Manufactura, 2021. Ministerio de la Producción. https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oee-directorio/directorio-grandes-empresas

Pachón, D. y Zamora, J. (2015). Diseño de un sistema de producción y operaciones para manufactura en orfebrería [Trabajo de investigación, Especialización en Gerencia de Producción y Operaciones]. Universidad Sergio Arboleda.

Ramírez, A. (2009). La teoría del conocimiento en investigación científica: una visión actual. *Anales de la Facultad de Medicina*, 70(3), 217-224. Recuperado en 12 de agosto de 2024, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832009000300011&lng=es&tlng=es

Rayna, T. y Striukova, L. (2016). From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting and Social Change, 102*, 214-224. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.023

Rescher, N. (1998). Complexity: A philosophical overview. New York: Penguin Books.

Ruiz, M. (2019). Reducción de los costos de producción en empresas orfebres ecuatorianas con la utilización de la manufactura aditiva o impresión en 3D caso: Talleres Tinta [Trabajo de grado, Maestría en Administración de Empresas]. Universidad Andina Simón Bolívar.

Sampieri, R., Collado, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (6. ª ed.). McGraw Hill.

Sánchez Trujillo, J. H. (2016). El impacto de la impresión 3D en la joyería. Lámpsakos, (16).

Sánchez, H., Reyes, C. y Mejía, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística.* Universidad Ricardo Palma.

Sánchez, N. y Lira, I. (2020). La Manufactura aditiva como potencializador de los sistemas productivos. *Inventum*, 15(28), 2-13. https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.15.28.2020.104-112

Sandoval, K. y Velasquez, L. (2021). Diseño de mejora del proceso de producción de joyas para incrementar la productividad en el área de trabajo en mesa de la empresa Cite Koriwasi de Cajamarca 2020 [Trabajo de grado, Título profesional en Ingeniería Industrial]. Universidad Privada del Norte.

Schwab, K. (2019). *The Global Competitiveness Report 2019* [Reporte de Competitividad Global 2019]. 458-461. World Economic Forum. http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf

Semana. (2016, 18 de febrero). La clave para entender el surgimiento de la cuarta revolución industrial. *Semana.com Últimas Noticias de Colombia Y El Mundo; Revista Semana.* https://www.semana.com/economia/articulo/la-cuarta-revolucion-industrial-explicada-por-el-foro-economico-mundial/219412/

Siemens Digital Industries Software. (2022). Fabricación digital. *Siemens Digital Industries Software*. https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/digital-manufacturing/13157

Soomro, Sohail Ahmed, Hernan Casakin, and Georgi V. Georgiev. 2021. "Sustainable Design and Prototyping Using Digital Fabrication Tools for Education" Sustainability 13, no. 3: 1196. https://doi.org/10.3390/su13031196

Suresh, N., Janakiram, C., Nayar, S., Krishnapriya, V. N., & Mathew, A. (2022). Effectiveness of digital data acquisition technologies in the fabrication of maxillofacial prostheses–A systematic review. Journal of Oral Biology and Craniofacial Research, 12(1), 208-215.

The Information Lab Spain (2022, 04 de noviembre). Qué es la fabricación digital. *The Information Lab Spain*. https://www.theinformationlab.es/blog/que-es-la-fabricacion-digital/

Universidad Europea en Perú. (2024, 17 septiembre). *PE - ¿Qué es un prototipo y para qué sirve?* . https://peru.universidadeuropea.com/blog/que-es-prototipo/

Universidad Internacional de Valencia (2023, 20 de febrero). *Prototipado: qué es y cómo funciona*. https://www.universidadviu.com/co/actualidad/nuestros-expertos/prototipado-que-es-y-como-funciona

Von Bertalanffy, L. (1995). Teoría general de los sistemas. México D.F: Fondo de Cultura Económica.

# ANEXOS

## Anexo 1

## Teoría de Recursos y Capacidades

La Teoría de Recursos y Capacidades, permitirá explicar el por qué las organizaciones que se enfrentan a un mismo entorno competitivo y pertenecen al mismo sector, obtienen resultados diferentes. En este contexto, se vuelve relevante un análisis estratégico más enfocado en los aspectos internos de la empresa, un cambio impulsado por el afianzamiento de la Teoría de los Recursos y Capacidades (TRC). Valencia y Rodríguez (2015), según lo citado por García y Sorhegui (2019), señalan que el núcleo de la TRC consiste en identificar los recursos disponibles y controlados por la organización para determinar las capacidades, evaluando cómo las habilidades de sus miembros pueden integrarse, construirse y reconfigurarse en cuanto a sus recursos, lo que inevitablemente altera sus capacidades iniciales. Todo esto se orienta hacia la creación de nuevos productos y procesos.

## Anexo 2

## Test de Rachas

Tabla de valores críticos de R

| | | n- | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| n+=2 | α=0.05 | 0-4 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 2-3 | 2-5 | 2-5 |
| | α=0.01 | 0-4 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 0-5 |
| n+=3 | α=0.05 | 0-5 | 0-6 | 0-6 | 2-7 | 2-7 | 2-7 | 2-7 | 2-7 | 3-7 |
| | α=0.01 | 0-5 | 0-6 | 0-7 | 0-7 | 0-7 | 0-7 | 0-7 | 2-7 | 2-7 |
| n+=4 | α=0.05 | 0-5 | 0-6 | 2-7 | 2-8 | 3-8 | 3-8 | 3-9 | 3-9 | 3-9 |
| | α=0.01 | 0-5 | 0-7 | 0-8 | 0-9 | 2-9 | 2-9 | 2-9 | 2-9 | 2-9 |
| n+=5 | α=0.05 | 0-5 | 2-7 | 2-8 | 3-8 | 3-9 | 3-9 | 3-10 | 4-10 | 4-10 |
| | α=0.01 | 0-5 | 0-7 | 0-9 | 2-9 | 2-10 | 2-10 | 2-11 | 3-10 | 3-11 |
| n+=6 | α=0.05 | 0 5 | 2-7 | 3-8 | 3-9 | 3-10 | 4-10 | 4-11 | 4-11 | 5-11 |
| | α=0.01 | 0 5 | 0-7 | 2-9 | 2-10 | 2-11 | 3-11 | 3-12 | 3-12 | 3-13 |
| n+=7 | α=0.05 | 0-5 | 2-7 | 3-8 | 3-9 | 4-10 | 4-11 | 4-12 | 5-12 | 5-12 |
| | α=0.01 | 0-5 | 0-7 | 2-9 | 2-10 | 3-11 | 3-12 | 3-12 | 4-13 | 4-14 |
| n+=8 | α=0.05 | 2-5 | 2-7 | 3-9 | 3-10 | 4-11 | 4-12 | 5-12 | 5-13 | 6-13 |
| | α=0.01 | 0-5 | 0-7 | 2-9 | 2-11 | 3-12 | 3-12 | 4-13 | 4-14 | 4-14 |
| n+=9 | α=0.05 | 2-5 | 2-7 | 3-9 | 4-10 | 4-11 | 5-12 | 5-13 | 6-13 | 6-14 |
| | α=0.01 | 0-5 | 2-7 | 2-9 | 3-10 | 3-12 | 4-13 | 4-14 | 4-15 | 5-15 |
| n+=10 | α=0.05 | 2-5 | 3-7 | 3-9 | 4-10 | 5-11 | 5-12 | 6-13 | 6-14 | 6-15 |
| | α=0.01 | 0-5 | 2-7 | 2-9 | 3-11 | 3-13 | 4-14 | 4-14 | 5-15 | 5-16 |
| n+=11 | α=0.05 | 2-5 | 3-7 | 3-9 | 4-11 | 5-12 | 5-13 | 6-14 | 6-14 | 7-15 |
| | α=0.01 | 0-5 | 2-7 | 2-9 | 3-11 | 4-13 | 4-14 | 4-15 | 5-16 | 5-17 |
| n+=12 | α=0.05 | 2-5 | 3-7 | 4-9 | 4-11 | 5-12 | 6-13 | 6-14 | 7-15 | 7-16 |
| | α=0.01 | 0-5 | 2-7 | 3-9 | 3-11 | 4-13 | 4-14 | 5-15 | 5-16 | 6-17 |
| n+=13 | α=0.05 | 2-5 | 3-7 | 4-9 | 4-11 | 5-12 | 6-13 | 6-14 | 7-15 | 8-16 |
| | α=0.01 | 0-5 | 2-7 | 3-9 | 3-11 | 4-13 | 5-15 | 5-16 | 6-17 | 6-18 |
| n+=14 | α=0.05 | 2-5 | 3-7 | 4-9 | 5-11 | 5-12 | 6-13 | 7-15 | 7-16 | 8-16 |
| | α=0.01 | 0-5 | 2-7 | 3-9 | 3-11 | 4-13 | 5-15 | 5-16 | 6-17 | 6-18 |
| n+=15 | α=0.05 | 2-5 | 3-7 | 4-9 | 5-11 | 6-13 | 6-14 | 7-15 | 8-16 | 8-17 |
| | α=0.01 | 0-5 | 2-7 | 3-9 | 4-11 | 4-13 | 5-15 | 5-16 | 6-17 | 7-18 |

| | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *n+=16* | α=0.05 | 2-5 | 3-7 | 4-9 | 5-11 | 6-13 | 6-14 | 7-15 | 8-16 | 8-17 |
| | α=0.01 | 0-5 | 2-7 | 3-9 | 4-11 | 4-13 | 5-15 | 6-16 | 6-17 | 7-19 |
| *n+=17* | α=0.05 | 2-5 | 3-7 | 4-9 | 5-11 | 6-13 | 7-14 | 7-15 | 8-16 | 9-17 |
| | α=0.01 | 0-5 | 2-7 | 3-9 | 4-11 | 5-13 | 5-15 | 6-17 | 7-17 | 7-19 |
| *n+=18* | α=0.05 | 2-5 | 3-7 | 4-9 | 5-11 | 6-13 | 7-14 | 8-15 | 8-17 | 9-18 |
| | α=0.01 | 0-5 | 2-7 | 3-9 | 4-11 | 5-13 | 5-15 | 6-17 | 7-18 | 7-19 |
| *n+=19* | α=0.05 | 2-5 | 3-7 | 4-9 | 5-11 | 6-13 | 7-14 | 8-15 | 9-17 | 9-18 |
| | α=0.01 | 2-5 | 2-7 | 3-9 | 4-11 | 5-13 | 6-15 | 6-17 | 7-18 | 8-19 |
| *n+=20* | α=0.05 | 2-5 | 3-7 | 4-9 | 5-11 | 6-13 | 7-14 | 8-16 | 9-17 | 9-18 |
| | α=0.01 | 2-5 | 2-7 | 3-9 | 4-11 | 5-13 | 6-15 | 6-17 | 7-18 | 8-19 |

| | | *n-* | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| *n+=2* | α=0.05 | 2-5 | 2-5 | 2-5 | 2-5 | 2-5 | 2-5 | 2-5 | 2-5 | 2-5 | 2-5 |
| | α=0.01 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 0-5 | 2-5 | 2-5 |
| *n+=3* | α=0.05 | 3-7 | 3-7 | 3-7 | 3-7 | 3-7 | 3-7 | 3-7 | 3-7 | 3-7 | 3-7 |
| | α=0.01 | 2-7 | 2-7 | 2-7 | 2-7 | 2-7 | 2-7 | 2-7 | 2-7 | 2-7 | 2-7 |
| *n+=4* | α=0.05 | 3-9 | 4-9 | 4-9 | 4-9 | 4-9 | 4-9 | 4-9 | 4-9 | 4-9 | 4-9 |
| | α=0.01 | 2-9 | 3-9 | 3-9 | 3-9 | 3-9 | 3-9 | 3-9 | 3-9 | 3-9 | 3-9 |
| *n+=5* | α=0.05 | 4-11 | 4-11 | 4-11 | 5-11 | 5-11 | 5-11 | 5-11 | 5-11 | 5-11 | 5-11 |
| | α=0.01 | 3-11 | 3-11 | 3-11 | 3-11 | 4 11 | 4-11 | 4-11 | 4-11 | 4-11 | 4-11 |
| *n+=6* | α=0.05 | 5-12 | 5-12 | 5-12 | 5-12 | 6-13 | 6-13 | 6-13 | 6-13 | 6-13 | 6-13 |
| | α=0.01 | 4-13 | 4-13 | 4-13 | 4-13 | 4-13 | 4-13 | 5-13 | 5-13 | 5-13 | 5-13 |
| *n+=7* | α=0.05 | 5-13 | 6-13 | 6-13 | 6-13 | 6-14 | 6-14 | 7-14 | 7-14 | 7-14 | 7-14 |
| | α=0.01 | 4-14 | 4-14 | 5-15 | 5-15 | 5-15 | 5-15 | 5-15 | 5-15 | 6-15 | 6-15 |
| *n+=8* | α=0.05 | 6-14 | 6-14 | 6-14 | 7-15 | 7-15 | 7-15 | 7-15 | 8-15 | 8-15 | 8-16 |
| | α=0.01 | 4-15 | 5-15 | 5-16 | 5-16 | 5-16 | 6-16 | 6-17 | 6-17 | 6-17 | 6-17 |
| *n+=9* | α=0.05 | 6-14 | 7-15 | 7-15 | 7-16 | 8-16 | 8-16 | 8-16 | 8-17 | 9-17 | 9-17 |
| | α=0.01 | 5-16 | 5-16 | 6-17 | 6-17 | 6-17 | 6-17 | 7-17 | 7-18 | 7-18 | 7-18 |
| *n+=10* | α=0.05 | 7-15 | 7-16 | 8-16 | 8-16 | 8-17 | 8-17 | 9-17 | 9-18 | 9-18 | 9-18 |
| | α=0.01 | 5-17 | 6-17 | 6-18 | 6-18 | 7-18 | 7-19 | 7-19 | 7-19 | 8-19 | 8-19 |

| | | n- | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| *n+=11* | α=0.05 | 8-17 | 9-17 | 9-18 | 9-18 | 10-19 | 10-19 | 10-20 | 10-20 | 11-20 | 7-16 |
| | α=0.01 | 7-18 | 7-19 | 7-20 | 8-20 | 8-21 | 8-21 | 8-21 | 9-22 | 9-22 | 6-17 |
| *n+=12* | α=0.05 | 9-17 | 8-16 | 8-17 | 8-17 | 9-18 | 9-18 | 9-18 | 10-19 | 10-19 | 10-19 |
| | α=0.01 | 7-19 | 6-18 | 6-18 | 7-19 | 7-19 | 7-20 | 8-20 | 8-20 | 8-21 | 8-21 |
| *n+=13* | α=0.05 | 9-18 | 8-17 | 9-18 | 9-19 | 10-19 | 10-20 | 10-20 | 11-20 | 11-21 | 11-21 |
| | α=0.01 | 7-20 | 6-18 | 7-20 | 8-20 | 8-21 | 8-21 | 9-22 | 9-22 | 9-23 | 10-23 |
| *n+=14* | α=0.05 | 9-18 | 8-17 | 9-19 | 10-19 | 10-20 | 11-20 | 11-21 | 11-21 | 12-22 | 12-22 |
| | α=0.01 | 8-20 | 7-19 | 8-20 | 8-21 | 8-22 | 9-22 | 9-23 | 9-23 | 10-23 | 10-24 |
| *n+=15* | α=0.05 | 10-19 | 9-18 | 10-19 | 10-20 | 11-20 | 11-21 | 11-21 | 12-22 | 12-22 | 12-23 |
| | α=0.01 | 8-21 | 7-19 | 8-21 | 8-22 | 9-22 | 9-23 | 10-23 | 10-24 | 10-24 | 11-25 |
| *n+=16* | α=0.05 | 10-19 | 9-18 | 10-20 | 11-20 | 11-21 | 11-22 | 12-22 | 12-22 | 12-23 | 12-23 |
| | α=0.01 | 8-21 | 7-20 | 8-21 | 9-22 | 9-23 | 10-23 | 10-24 | 10-24 | 10-25 | 10-25 |
| *n+=17* | α=0.05 | 10-20 | 9-18 | 10-20 | 11-21 | 11-21 | 12-22 | 12-23 | 13-23 | 13-24 | 13-24 |
| | α=0.01 | 8-21 | 8-20 | 9-22 | 9-23 | 10-23 | 10-24 | 10-25 | 11-25 | 11-26 | 11-26 |
| *n+=18* | α=0.05 | 10-20 | 10-19 | 11-20 | 11-21 | 12-22 | 12-22 | 13-23 | 13-24 | 14-25 | 14-25 |
| | α=0.01 | 9-22 | 8-20 | 9-22 | 9-23 | 10-24 | 10-24 | 11-25 | 11-26 | 12-26 | 12-27 |
| *n+=19* | α=0.05 | 11-20 | 10-19 | 11-21 | 10-19 | 12-22 | 12-23 | 13-24 | 14-25 | 14-25 | 14-26 |
| | α=0.01 | 9-22 | 8-21 | 9-23 | 10-23 | 10-24 | 10-25 | 11-26 | 12-26 | 12-27 | 12-28 |
| *n+=20* | α=0.05 | 7-16 | 10-19 | 11-21 | 12-22 | 12-23 | 12-23 | 13-24 | 14-25 | 14-26 | 15-26 |
| | α=0.01 | 6-17 | 8-21 | 10-23 | 10-24 | 11-25 | 10-25 | 11-26 | 12-27 | 12-28 | 13-28 |

## Anexo 3

## Encuesta

1. Datos Generales
    - Razón Social o Nombre Comercial de la Empresa
    - Tipo de Empresa
    - Tamaño de la Empresa
    - RUC de la Empresa
    - Ubicación geográfica
    - Sector y/o Rubro
    - Principales productos

2. Datos del Entrevistado
    - Nombre y apellidos
    - Área
    - Cargo
    - Número de años en la empresa
    - Fecha de la entrevista
    - Duración de la entrevista

3. Nivel Productivo
    - ¿Cómo es el proceso de producción de una joya?
    - ¿Cuánto tiempo le toma en realizar cada actividad del proceso?
    - ¿Qué actividad es la más compleja de realizar o la que toma más tiempo?

- ¿Cómo elaboran el modelo (prototipo) de la joya?
- ¿Cuánto tiempo le toma en realizar un modelo (prototipo) nuevo de joya?
- ¿Cuántas veces en promedio elaboran un modelo (prototipo) hasta obtener el óptimo con el cual se realizará el molde de la joya?
- ¿Qué equipos utilizan en la elaboración del modelo (prototipo) de la joya?
- ¿La empresa utiliza la impresión 3D como parte de sus procesos productivos?
- ¿En qué parte del proceso interviene la impresión 3D?
- ¿Utilizan otras tecnologías actuales en sus procesos productivos?
- ¿Qué beneficios han obtenido con la aplicación de la impresión 3D en sus procesos productivos?¿En cuanto al tiempo de elaborar un nuevo producto, este se ha reducido?¿Las fallas en la elaboración de un nuevo modelo (prototipo) han disminuido? ¿El tiempo en la elaboración de un nuevo modelo (prototipo) han disminuido?
- ¿Cuánto tiempo en promedio le toma a la empresa en obtener un nuevo producto de joya, desde la elaboración del modelo (prototipo) hasta su introducción al mercado (en el catálogo de ventas)?
- Anualmente, ¿Cuántos nuevos productos son creados e introducidos al mercado?

4. Nivel Estratégico - Organizacional

    - ¿Qué barreras enfrenta la organización para incluir la tecnología de impresión 3D en su proceso tecnológico? ¿Barreras a nivel tecnológico?¿Barreras a nivel social?¿Barreras a nivel económico?
    - ¿Cuenta con personal capacitado en el uso de impresoras 3D?
    - ¿Existe una cultura organizacional enfocada en la tecnología y la innovación?
    - ¿Existen capacitaciones en tecnología de impresión 3D brindadas por la empresa?¿Cuántas se realizan en promedio al año?
    - ¿Cuentan con un presupuesto destinado a Investigación y Desarrollo? Aproximadamente, ¿Qué porcentaje del presupuesto general de la empresa?
    - ¿Cuentan con un presupuesto destinado a la mejora de la infraestructura tecnológica y adquirir nuevos equipos tecnológicos? Aproximadamente, ¿Qué porcentaje del presupuesto general de la empresa?
    - ¿Cuántos equipos de tecnología de fabricación digital (impresión 3D) tiene la empresa en general?

## Anexo 4

## Operacionalización de las variables

**Tabla 16.** *Operacionalización de variables.*

| Variables | Tipo de variable | Definición Conceptual | Definición Operacional |
|---|---|---|---|
| Fabricación digital. | Independiente | La fabricación digital consiste en el uso de un sistema integrado y asistido por ordenador para la creación de un producto. | Uso de la fabricación digital en la etapa de prototipado del proceso de fabricación de joyas. |
| Optimización del Proceso de fabricación. | Dependiente | Hacer un mejor uso de un conjunto de parámetros que intervienen en un proceso de fabricación. | Reducción del tiempo de fabricación y mejora de la calidad en la fabricación de prototipos de joyas. |
| Tiempo de fabricación. | Dependiente | Tiempo necesario para la materialización de un producto. | Tiempo requerido en la fabricación de prototipos de joyas mediante la aplicación de métodos tradicionales versus fabricación digital. |
| Calidad de los productos. | Dependiente | Productos fabricados con especificaciones cercanas a lo que el cliente espera del producto. | Número de prototipos realizados hasta obtener el molde de la joya mediante la aplicación de métodos tradicionales versus fabricación digital. |

*Fuente: Elaboración propia.*

# Anexo 5

## Matriz de Consistencia

**Tabla 17.** *Matriz de consistencia.*

| **Problema General** | **Objetivo General** | **Hipótesis General** | **Variables** | **Indicadores** |
|---|---|---|---|---|
| ¿Cómo la fabricación digital en la etapa del prototipado optimiza el proceso de fabricación de la industria manufacturera de joyas en Lima? | Determinar la forma en que la fabricación digital en la etapa del prototipado optimiza el proceso de fabricación de la industria manufacturera de joyas en Lima. | La fabricación digital en la etapa del prototipado optimiza el proceso de fabricación de la industria manufacturera de joyas en Lima. | VI: Fabricación digital. | Aplicación o no de la fabricación digital en la etapa del prototipado. |
| | | | VD: Optimización del Proceso de fabricación. | Tiempo consumido y calidad en el proceso de fabricación de los prototipos. |
| **Problemas Específicos** | **Objetivos Específicos** | **Hipótesis Específicas** | **Variables** | **Indicadores** |
| ¿Cuál es el impacto de la fabricación digital en el tiempo de fabricación de los prototipos en la industria manufacturera de joyas en Lima? | Determinar el impacto de la fabricación digital en el tiempo de fabricación de los prototipos en la industria manufacturera de joyas en Lima. | La fabricación digital reduce el tiempo de fabricación de los prototipos en la industria manufacturera de joyas en Lima. | VI: Fabricación digital | Aplicación o no de la fabricación digital en la etapa del prototipado. |
| | | | VD: Tiempo de fabricación del prototipo. | Tiempo consumido en el proceso de fabricación del prototipo. |
| ¿De qué manera la fabricación digital mejora la calidad de los prototipos en la industria manufacturera de joyas en Lima? | Analizar la aplicación de la fabricación digital para la mejora de la calidad de los prototipos en la industria manufacturera de joyas en Lima. | La aplicación de la fabricación digital mejora la calidad de los prototipos en la industria manufacturera de joyas en Lima. | VI: Fabricación digital | Aplicación o no de la fabricación digital en la etapa del prototipado. |
| | | | VD: Calidad del prototipo. | Cantidad de prototipos elaborados antes de obtener el molde. |

*Fuente: Elaboración propia*