



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL DE LOS
ESPESORES DE TUBOS DE POLIDUCTO DE TRES CUARTOS DE PULGADA Y DE UNA
PULGADA DE DIÁMETRO EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA UBICADA EN
SACATEPÉQUEZ**

Carlos Iván Gramajo Vela

Asesorado por la Ma. Inga. Claudia Sucelly Vela Alvarez

Guatemala, abril de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL DE LOS
ESPESORES DE TUBOS DE POLIDUCTO DE TRES CUARTOS DE PULGADA Y DE UNA
PULGADA DE DIÁMETRO EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA UBICADA EN
SACATEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS IVÁN GRAMAJO VELA

ASESORADO POR LA MA. INGA. CLAUDIA SUCELLY VELA ALVAREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, ABRIL DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

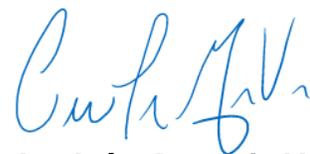
DECANO	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADORA	Inga. Gladys Lorraine Carles Zamarripa
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor García Tobar
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL DE LOS
ESPESORES DE TUBOS DE POLIDUCTO DE TRES CUARTOS DE PULGADA Y DE UNA
PULGADA DE DIÁMETRO EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA UBICADA EN
SACATEPÉQUEZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 28 de enero de 2022.



Carlos Iván Gramajo Vela



EEPFI-PP-0505-2022

Guatemala, 31 de enero de 2022

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial
Presente.

Estimado Ing. Urquizú

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL DE LOS ESPESORES DE TUBOS DE POLIDUCTO DE TRES CUARTOS DE PULGADA Y DE UNA PULGADA DE DIÁMETRO EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA UBICADA EN SACATEPÉQUEZ.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Todas las áreas - Muestreo**, presentado por el estudiante **Carlos Iván Gramajo Vela** carné número **200512128**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Estadística Aplicada.

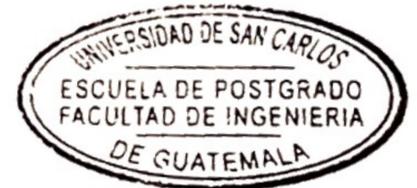
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Mtro. Claudia Sucelly Vela Alvarez
Asesor(a)



Mtro. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco
Coordinador(a) de Maestría

Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIMI-0505-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL DE LOS ESPEORES DE TUBOS DE POLIDUCTO DE TRES CUARTOS DE PULGADA Y DE UNA PULGADA DE DIÁMETRO EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA UBICADA EN SACATEPÉQUEZ.**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Iván Gramajo Vela**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



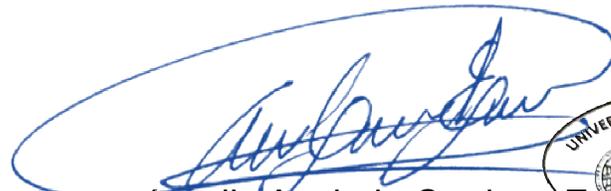
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.289.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL DE LOS ESPEORES DE TUBOS DE POLIDUCTO DE TRES CUARTOS DE PULGADA Y DE UNA PULGADA DE DIÁMETRO EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA UBICADA EN SACATEPÉQUEZ**, presentado por: **Carlos Iván Gramajo Vela**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada ★

Decana

Guatemala, abril de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por haberme dado la vida, su amor, sabiduría y ser la luz en mi camino para poder cumplir mis metas.
- Mis padres** Misael Gramajo (q. e. p. d.) y Carmen Vela, por haberme formado con principios y valores. Muchos de mis logros se los debo a ustedes, incluyendo este.
- Mi esposa** Jacqueline Castañeda, por su amor incondicional y apoyarme en todo momento.
- Mi hija** Marcela Gramajo, por ser mi inspiración para alcanzar esta meta y ser mi compañía durante este proceso.
- Mis hermanas** Norma y Andrea Gramajo, por su cariño y motivarme a seguir adelante.
- Mi familia** Por estar siempre a mi lado y apoyarme en todo momento.
- Mis amigos** Por su valiosa amistad.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y haberme dado la oportunidad de formarme como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme la formación y el conocimiento necesario para culminar mis estudios.
Mis amigos de la facultad	José Granados, Javier Alvarado, David Cabrera, Jennifer Coyoy, Moisés Eskenasy, Melvin Briones, Rodrigo de León, José López, Estefany García, José Estrada y Pablo López. Por los momentos que compartimos y ayudarme a lograr este objetivo.
Mi asesora	Sucelly Vela, por tomarse el tiempo para ayudarme a lograr este objetivo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3.1. Contexto general	11
3.2. Descripción del problema	11
3.3. Formulación del problema	11
3.3.1. Pregunta central	12
3.3.2. Preguntas auxiliares	12
3.4. Delimitación del problema	12
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN	17

7.	MARCO TEÓRICO	21
7.1.	Análisis estadístico inferencial	21
7.2.	Muestreo	21
7.2.1.	Muestreo sistemático	23
7.2.2.	Muestreo sistemático replicado	24
7.3.	Análisis estadístico paramétrico	26
7.3.1.	Intervalos de confianza	26
7.3.1.1.	Intervalos de confianza para la media con desviación estándar poblacional desconocida σ	27
7.3.2.	Pruebas de hipótesis	28
7.3.2.1.	Prueba de hipótesis para la varianza σ^2	30
7.3.3.	Análisis de varianza	31
7.3.3.1.	Supuestos de un análisis de varianza ..	32
7.3.3.2.	Análisis de varianza con un factor	32
7.3.3.3.	Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov	35
7.3.3.4.	Prueba de Bartlett	36
7.4.	La empresa	38
7.4.1.	Ubicación.....	38
7.4.2.	Visión.....	39
7.4.3.	Misión	40
7.4.4.	Productos	40
7.4.4.1.	Poliducto.....	40
7.4.5.	Descripción de la maquinaria y equipo.....	42
7.4.5.1.	Granuladora	42
7.4.5.2.	Secadoras	43
7.4.5.3.	Extrusoras	43

7.4.6.	Descripción del proceso	43
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	47
9.	METODOLOGÍA.....	49
9.1.	Características del estudio	49
9.2.	Unidades de análisis	49
9.3.	Variables.....	50
9.4.	Fases del estudio	51
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	53
11.	CRONOGRAMA.....	55
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	57
12.1.	Recurso humano	57
12.2.	Recursos financieros	57
12.3.	Recursos tecnológicos.....	58
12.4.	Acceso a información y permisos	58
12.5.	Equipo e infraestructura.....	58
13.	REFERENCIAS.....	59
14.	APÉNDICES.....	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Flujograma de solución	19
2.	Regla de decisión para una distribución F.....	35
3.	Ubicación.....	39
4.	Poliducto	41
5.	Cursograma analítico para la fabricación de poliducto	45
6.	Cronograma	55

TABLAS

I.	Análisis de varianza de un factor	34
II.	Especificaciones técnicas	42
III.	Operativización de variables	50
IV.	Recursos Financieros.	57

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
σ	Desviación estándar poblacional
b	Estadístico de la prueba de Bartlett
D	Estadístico de la prueba de Kolmogórov-Smirnov
H₁	Hipótesis alterna
H₀	Hipótesis nula
α	Nivel de significancia
%	Porcentaje
χ^2	Valor de la distribución Chi-cuadrado
F	Valor de la distribución de Fisher
z	Valor de la distribución Normal
t	Valor de la distribución t-student
σ^2	Varianza poblacional

GLOSARIO

Bondad de ajuste	Describe lo bien que se ajusta un conjunto de observaciones a una distribución específica
Grados de libertad	Combinación del número de observaciones de un conjunto de datos que varían de manera aleatoria e independiente menos las observaciones que están condicionadas a estos valores arbitrarios
Hipótesis nula	La hipótesis nula indica que un parámetro de población es igual a un valor hipotético. Suele ser una afirmación inicial que se basa en análisis previos o en conocimiento especializado
Homocedasticidad	Cuando dos o más poblaciones tienen una varianza que puede ser considerada igual
Inferencia	Conjunto de métodos que permiten inducir, a través de una muestra estadística, el comportamiento de una determinada población
Nivel de significancia	Probabilidad de tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula cuando ésta es verdadera

RESUMEN

Una empresa dedicada a la fabricación de tubos de poliducto no conoce el grosor promedio que tienen los tubos y tampoco el margen de error de cada una de las tres máquinas utilizadas en el proceso de fabricación por lo que no se puede dar una especificación técnica confiable del producto.

La finalidad del estudio es definir algunas de las especificaciones técnicas del producto, como lo son la media del espesor de los tubos y la desviación estándar del espesor para cada una de las máquinas, así como establecer si existe diferencia o no en los productos elaborados con cada una de ellas.

Para lograr este propósito se aplican técnicas de estadísticas como muestreo, pruebas de hipótesis y análisis de varianza que ayuden a establecer los valores reales del grosor de los tubos y verificar si existe una diferencia entre los tubos producidos por las diferentes máquinas.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando se tiene un proceso de fabricación, es de suma importancia conocer todos los aspectos que debe tener un producto, si no se tiene esta información, no es posible llevar un control y es muy difícil saber si existen deficiencias en el proceso. Para poder mejorar la calidad de un producto es necesario realizar una mejora continua, por lo que la presente investigación se desarrollará como una sistematización, ya que contribuirá a que se lleve a cabo este ciclo.

Una empresa manufacturera que se dedica a la fabricación de tubos de poliducto utiliza tres máquinas en su proceso. Para cumplir con los estándares de calidad los tubos deben poseer un espesor estándar por cada medida de diámetro, sin embargo, el problema es que no se conoce cuál es la media real del espesor de los tubos que fabrica. También desconoce si los tubos fabricados por las máquinas se pueden considerar iguales o si hay alguna diferencia entre ellos.

Para llevar a cabo un control de calidad, es de suma importancia conocer las medidas del espesor y establecer si existen diferencias entre las máquinas, por lo que es necesario realizar un análisis estadístico que brinde información confiable.

Dentro de los resultados esperados se establecerá el valor de la media y la desviación estándar del espesor de los tubos para cada una de las máquinas, y también se logrará identificar si existen diferencias entre cada una de ellas o si pueden considerarse iguales. Para lograr estos resultados, se utilizarán

herramientas de muestreo y análisis estadístico inferencial. Con los resultados que se obtengan se espera establecer la base para implementar un programa de control de calidad que ayude al proceso de mejora continua de la empresa.

Para estimar estos parámetros poblaciones, se realizará un muestreo para cada una de las máquinas que permitirá establecer los valores de la media y la desviación estándar. Se realizará un intervalo de confianza para las medias de cada una de las máquinas y se efectuará una prueba de hipótesis que permita comprobar si la media obtenida es igual al valor nominal que maneja la empresa. Para poder comparar el resultado obtenido de las tres máquinas, se realizará un análisis de varianza que permita comprobar si la media del espesor es igual para las tres máquinas o si existe alguna diferencia significativa en al menos una de ellas.

El trabajo de investigación es factible, porque se cuentan con los recursos humanos, financieros y tecnológicos necesarios.

En el capítulo 1, se presenta el marco referencial, donde se realiza una revisión de trabajos previos que brinden la información necesaria para seleccionar las técnicas estadísticas más adecuadas para el desarrollo de la investigación.

El capítulo 2, trata todo lo referente al marco teórico, que consiste en la revisión documental de las técnicas de análisis estadístico inferencial utilizadas durante la investigación, así como una breve descripción de los aspectos generales de la empresa.

En el capítulo 3, se presentan los resultados obtenidos y se detalla la información resultante del análisis estadístico inferencial.

En el capítulo 4, se desarrolla la discusión de los resultados, donde se realiza la comparación de las tres máquinas y en base a las conclusiones se realizan las recomendaciones a la empresa.

2. ANTECEDENTES

Para comparar si dos o más poblaciones presentan medias iguales o si por lo menos alguna de las medias de una población es diferente de las demás, se debe efectuar un análisis de varianza. Para obtener los datos a utilizar en este análisis, es necesario tomar en cuenta todos los factores que puedan influir en la variable de interés. Para esto es importante verificar que conceptos y diseños de experimentos han sido realizados previamente para recabar la información y determinar los métodos utilizados para hacer el análisis de los datos.

Barrios et al. (2012) realizaron la formulación de diferentes tipos de mezclas para fabricar poliducto de riego a base de material reciclado, a las que se les realizaron varias pruebas para comprobar las propiedades mecánicas de cada tipo de poliducto en el estudio. Para analizar los datos utilizaron la prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov y Shapiro-Wilk para comparar la distribución de estos. Se utilizó un análisis de varianza en los datos que presentaron un comportamiento normal, y se utilizó la prueba de Kolmogórov-Smirnov para datos que no tuvieron un comportamiento normal. Se concluyó que es posible utilizar diferentes materiales de reciclaje para realizar el poliducto. El diseño de los experimentos puede ser utilizado como referencia para realizar el análisis de este trabajo.

Bolaños (2018) realizó un análisis del rendimiento y avance de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el que se analizaron los datos de 9,282 notas que van del año 2010 al 2015. Para analizar los datos se utilizó la prueba de Kolmogórov-Smirnov para comprobar su normalidad. Obtuvo datos que no se ajustaron a la curva

normal, por lo que aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para realizar las comparaciones de las medias y las medianas. La importancia de este trabajo es que aporta un método alternativo al análisis de varianza, pues se realizaron cálculos para comprobar igualdad de medias con datos no paramétricos.

Pardo et al. (2007) en su artículo menciona la importancia de la interacción de los factores en el análisis de varianza, ya que según estudios realizados en artículos del campo de la psicología en que se utilizó el análisis de varianza de dos o más factores se encontró que 12.7 % de los artículos no prestaron atención a la interacción de los factores, en algunos casos porque no se analizó y en otros porque no se interpretaron. Este artículo hace énfasis en que para no llegar a conclusiones erróneas se debe analizar y tomar en cuenta la interacción que puede existir entre los diversos factores.

García (2014) realizó un estudio experimental controlado, en el que buscaba evaluar el efecto que tiene la bencilaminopurina aplicada a nudos de frambuesa en diferentes concentraciones. Las variables que se midieron fueron la longitud de brote mayor y el número de brotes. Para realizar este análisis se diseñó un experimento donde se manipuló la concentración de bencilaminopurina y los datos fueron sometidos a un análisis de varianza para determinar si existía diferencia significativa utilizando distintas concentraciones. Además del análisis de varianza, se practicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk a los residuos, así como una prueba de Bartlett para comprobar si las varianzas tienen homogeneidad. La conclusión fue que sí había una diferencia significativa en la longitud del brote utilizando una concentración de 1ppm contra las concentraciones de 0ppm, 3ppm y 5ppm. Para el número de brotes no hubo una diferencia significativa. Este trabajo proporciona información sobre cómo realizar el análisis de varianza cuando los datos no presentan un ajuste a la distribución

normal, ya que previo a la elaboración de este trabajo se desconoce cuál será la distribución a la que los datos se ajustarán.

Valtierra et al. (2013) realizaron un artículo acerca del análisis de variación de pesos en máquinas envasadoras, en donde el objetivo era comprobar si los cinco vasos dosificadores de la máquina vertían el mismo peso o si existía alguna diferencia entre los pesos. Para realizar el análisis de los datos utilizaron un estudio de repetibilidad y reproductibilidad que consiste en tomar en cuenta la variación del producto, la variación del instrumento y la variación del operario. Dentro de la metodología también incluyó cómo se efectúa el cálculo para el tamaño de muestra que se debe utilizar en un análisis de varianza. Del primer resultado mencionan que había diferencia significativa en uno de los vasos, por lo que se procedió a hacer una calibración y se repitió el experimento para comprobar que no existiera diferencia en los vasos calibradores. Con este artículo es posible observar cómo aplicar el análisis de varianza a datos obtenidos de maquinarias y también plantea la metodología de considerar las variaciones provenientes de los instrumentos de medición y de los operadores, adicional a la variación del producto.

Núñez (2018) escribió un artículo sobre análisis de varianza con un enfoque no paramétrico, en donde se mencionan dos alternativas que pueden ser utilizadas en lugar de un análisis de varianza mono factorial. Dentro de este se analiza cómo se realiza el análisis de varianza paramétrico, y se describe la diferencia entre el diseño completamente al azar y el diseño en bloques completos al azar. Luego de hacer esta explicación, Núñez propone dos métodos alternativos no paramétricos que pueden efectuarse cuando existe alguno estos casos. Para un diseño experimental completamente al azar recomienda utilizar la prueba de Kruskal-Wallis. Para efectuar esta prueba es indispensable conocer el número total de unidades experimentales y la cantidad de muestras de cada

tratamiento. Para el diseño en bloques completos al azar, recomienda utilizar la prueba de Friedman, ya que esta si considera la fuente de variación externa que son los bloques. La importancia de este artículo es que provee alternativas al análisis de varianza en caso los datos obtenidos no cumplan los supuestos de normalidad y homocedasticidad.

Dagnino (2014) en su artículo sobre el análisis de la varianza, explica de forma breve las características del *ANOVA*, así como las cuatro situaciones en que recomienda utilizarlo. En el artículo se detalla cuando se debe utilizar el *ANOVA* de una vía, también menciona los supuestos que deben cumplir los datos a utilizar y como debe interpretarse los resultados. También menciona la alternativa de utilizar el *ANOVA* de dos vías cuando se quiere estudiar el efecto simultaneo que tienen dos o más factores. La importancia de este artículo para el estudio es que brinda de forma resumida las consideraciones que se deben tener al hacer un análisis de varianza.

Fagiani (2018) llevó a cabo un diseño experimental en el cual realizó el análisis de cómo se comporta un reactor electrolítico cuando son modificados varios factores, entre ellos se modificó la temperatura y también se modificó la concentración electrolítica, esto con el objetivo de estimar en qué condiciones se puede operar con un funcionamiento óptimo y poder generar un modelo que permita su predicción. Para llevar a cabo el experimento utilizó un enfoque anidado de dos factores principales y dos covariables. Luego realizó un análisis de varianza de un factor y un análisis de varianza por bloques y covariables para comprobar si todos los datos pertenecían a una misma población o si al menos un valor promedio proviene de una población diferente. Luego realizó varios tipos de pruebas post-hoc para determinar qué cambios en las medias de los tratamientos eran los más significativos. La importancia de este estudio para la investigación es que brinda información sobre cómo se puede plantear un

experimento utilizando covariables, así como que pruebas post-hoc pueden ser utilizadas para analizar los resultados.

Rodríguez et. al. (2019) escribieron un artículo acerca del muestreo para el control de calidad de envases metálicos para alimentos. En este se menciona la aplicación que se le puede dar al muestreo sistemático para poder determinar los parámetros desconocidos en un proceso industrial. Para llevar a cabo el estudio, se hizo un diseño de muestreo donde se determinó que características de los envases querían ser estudiados. Se estableció la población objetivo y la metodología con la cual se recolectaron los datos. El siguiente paso fue determinar cuál era el tamaño adecuado para la muestra, teniendo presente la precisión que deseaba utilizar la empresa. Se realizó un muestreo piloto para estimar la varianza para la muestra, que es necesaria para calcular el tamaño requerido para la muestra. Una vez se calculó que tan grande debía ser la muestra que se necesita para la precisión deseada, se estableció como sería tomada, calculando cada cuanto tiempo debía ser seleccionada la muestra para efectuar un muestreo sistemático. La conclusión de su trabajo es que sí es posible determinar el tamaño de muestra que se necesita para alcanzar una precisión deseada aun cuando no se cuentan con datos históricos, utilizando como base una muestra preliminar. Este artículo es muy importante, porque muestra cómo obtener la varianza y cómo es posible efectuar el cálculo de un tamaño de muestra en un entorno industrial, que es donde se realizará este estudio.

Ramírez et. al. (2016) en su artículo Comparación de pruebas de homocedasticidad vía simulación, realizaron una comparación de diferentes pruebas de homocedasticidad para tratar de identificar la que brinda los resultados más confiables. Las pruebas que se analizaron fueron la de Bartlett, Levene, Fligner-Killeen y Goldfeld-Quandt. Para realizar la simulación se

estableció que la media tendría un valor de 10 para los diferentes datos y permanecería constante, mientras que el valor de la desviación estándar, los tamaños utilizados para muestras y la cantidad de poblaciones se fue variando. los datos que se utilizaron provenían de varios tipos de distribuciones. En los resultados que obtuvieron se puede encontrar que la prueba de Bartlett y Goldfeld-Quandt fueron las que más veces rechazaron la hipótesis nula, por lo que se consideran más confiables. Otra conclusión es que a medida que la cantidad de datos aumenta las pruebas tienen a tener un comportamiento similar, pero para una muestra menor a 80 la prueba más recomendada es la de Bartlett. La importancia de este artículo para el estudio es que presente varias alternativas para realizar una prueba de homogeneidad, ya que uno de los supuestos que deben cumplir los datos es que tengan varianzas iguales, además que proporciona la información que la prueba de Bartlett tiene mejores resultados para muestras pequeñas.

El análisis de varianza es un instrumento muy versátil, que nos proporciona una manera de realizar análisis en diversos campos utilizando variables numéricas continuas. Los trabajos que acá se mencionan, brindan suficientes referencias de aplicación en varios campos de estudio, así como pruebas alternativas que se utilizaran según la distribución de los datos obtenidos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

Una empresa dedicada a la fabricación de poliducto no cuenta con un control de calidad estricto, no se conoce qué tan exactos son las dimensiones de los productos fabricados de acuerdo con el espesor de los productos ofrecidos a los clientes. La empresa desea proporcionar a sus clientes las especificaciones que incluyan la información técnica necesaria para garantizar la calidad de sus productos.

3.2. Descripción del problema

La empresa cuenta con tres máquinas extrusoras diferentes para la elaboración de poliducto de diferentes diámetros, debido a eso se utilizan para producir tubos de tres cuartos de pulgada o de una pulgada. No se conoce el grosor promedio que tienen los tubos y tampoco el margen de error de cada máquina por lo que no se puede dar una especificación técnica confiable del producto. No se sabe si las máquinas tienen el mismo margen de error o si alguna de ellas es más precisa que otra ni cuales son las posibles causas de esta variación.

3.3. Formulación del problema

A continuación, se detallan las preguntas central y auxiliares que servirán como base del trabajo de investigación.

3.3.1. Pregunta central

¿Cuál es el comportamiento estadístico de las dimensiones del espesor de poliducto producido por las tres máquinas con las que cuenta la empresa?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuál es la media del espesor real del tubo de cada máquina con respecto a los diámetros de tres cuartos de pulgada y de una pulgada?
- ¿Cuál es la desviación estándar del grosor del tubo de cada máquina con respecto a los diámetros que fabrica?
- ¿Cuáles son los factores del proceso que influyen significativamente en la fluctuación del espesor del tubo?

3.4. Delimitación del problema

El problema abarca el control de proceso para la producción de tubos de poliducto de tres cuartos de pulgada y de una de pulgada de diámetro. El análisis se realizará a las tres máquinas extrusoras con las que cuenta la empresa y se estudiarán la media, la desviación estándar y los posibles factores que pueden afectar el proceso de producción. La toma de datos se realizará en el primer trimestre del 2022.

4. JUSTIFICACIÓN

El estudio se desarrolla en la línea de investigación de diseño y análisis de experimentos y muestreo y se enmarca en el campo de control de la producción. Para el cálculo de la media del espesor es necesario realizar un muestreo representativo de la población. Para verificar si hay algún factor que pueda afectar los espesores de los tubos se debe realizar un análisis de varianza. Para poder llevar a cabo este análisis se utilizará el conocimiento adquirido en los cursos de métodos estadísticos paramétricos, métodos estadísticos no paramétricos, modelos de regresión lineal, software estadístico, diseño de experimentos y técnicas de muestreo por encuestas.

El control de calidad es una herramienta muy importante para las empresas manufactureras, porque mediante este control se aseguran de brindar productos de calidad a sus clientes. Un aspecto fundamental para este control consiste en tener claro cuáles son las especificaciones del producto ofrecido. Debido a esto se pretende estudiar el comportamiento estadístico del espesor de los tubos de poliducto, lo que es de suma importancia, si se quiere poner bajo control el proceso de producción.

La necesidad de realizar el presente estudio es que, en base a los resultados que se obtengan, se puede seguir con los pasos para implementar un programa de control de calidad que ayude a la empresa a mejorar el proceso de producción.

La Ingeniería Industrial tiene como uno de sus enfoques principales la mejora continua de los procesos de fabricación, cumpliendo con los estándares

de calidad. Para lograr esto, la estadística es una herramienta indispensable que proporciona muchos instrumentos que permiten llevar a cabo este análisis. La motivación de realizar este estudio es unir ambos campos de conocimiento y aplicarlos de manera que puedan crear sinergia entre ellas.

Los beneficios de llevar a cabo este estudio, es que la empresa podrá tener un parámetro de comparación que permita verificar que sus productos están cumpliendo con los estándares establecidos, y podrá identificar si cada una de las máquinas que se utilizan en el proceso de fabricación realizan productos homogéneos o si existe alguna diferencia entre ellos.

Los beneficiarios de la investigación son la empresa manufacturera y los clientes internos y externos. La empresa, al verificar el cumplimiento de los estándares de calidad, tendrá una ventaja competitiva sobre otros productores. Los clientes estarán seguros de que el producto adquirido cumple con los estándares especificados.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Describir el comportamiento estadístico de las dimensiones del espesor de poliducto producido por las tres máquinas con que cuenta la empresa, utilizando análisis estadístico paramétrico y no paramétrico, para establecer diferencias y similitudes.

5.2. Específicos

- Identificar el grosor de los tubos producidos por cada máquina, a través de mediciones repetidas y un intervalo de confianza, para realizar comparaciones entre máquinas.
- Estimar la desviación estándar del grosor de los tubos producidos por cada máquina, a través de mediciones repetidas y contraste de hipótesis de la varianza, para verificar si la precisión de cada máquina es la correcta.
- Determinar los factores del proceso que influyen significativamente en la fluctuación del espesor del tubo a través de un análisis de varianza para establecer diferencias y similitudes por máquina.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN

El estudio pretende definir algunas de las especificaciones técnicas del producto, como lo son la media del espesor de los tubos y la desviación estándar del espesor para cada una de las máquinas, así como establecer si existe diferencia o no en los productos elaborados con cada una de ellas. Con esta información se puede dar información confiable a los clientes, se puede establecer el control de calidad y se puede detectar que factores pueden causar variaciones si estas existieran.

Para estimar la media del grosor de los tubos se calculará un tamaño de muestra en base a un muestreo sistemático, utilizando la desviación estándar que la empresa maneja actualmente y el muestreo se realizará haciendo muestreo sistemático replicado. Con la información obtenida se estimará la media de cada una de las máquinas y se calculará el intervalo de confianza para cada una de las medias. Una de las ventajas de realizar un muestreo sistemático es que se puede realizar más fácilmente en comparación a un muestreo aleatorio y un muestreo estratificado, puede proporcionar más información al mismo costo y no se debe tener un listado de toda la población para poder seleccionar la muestra.

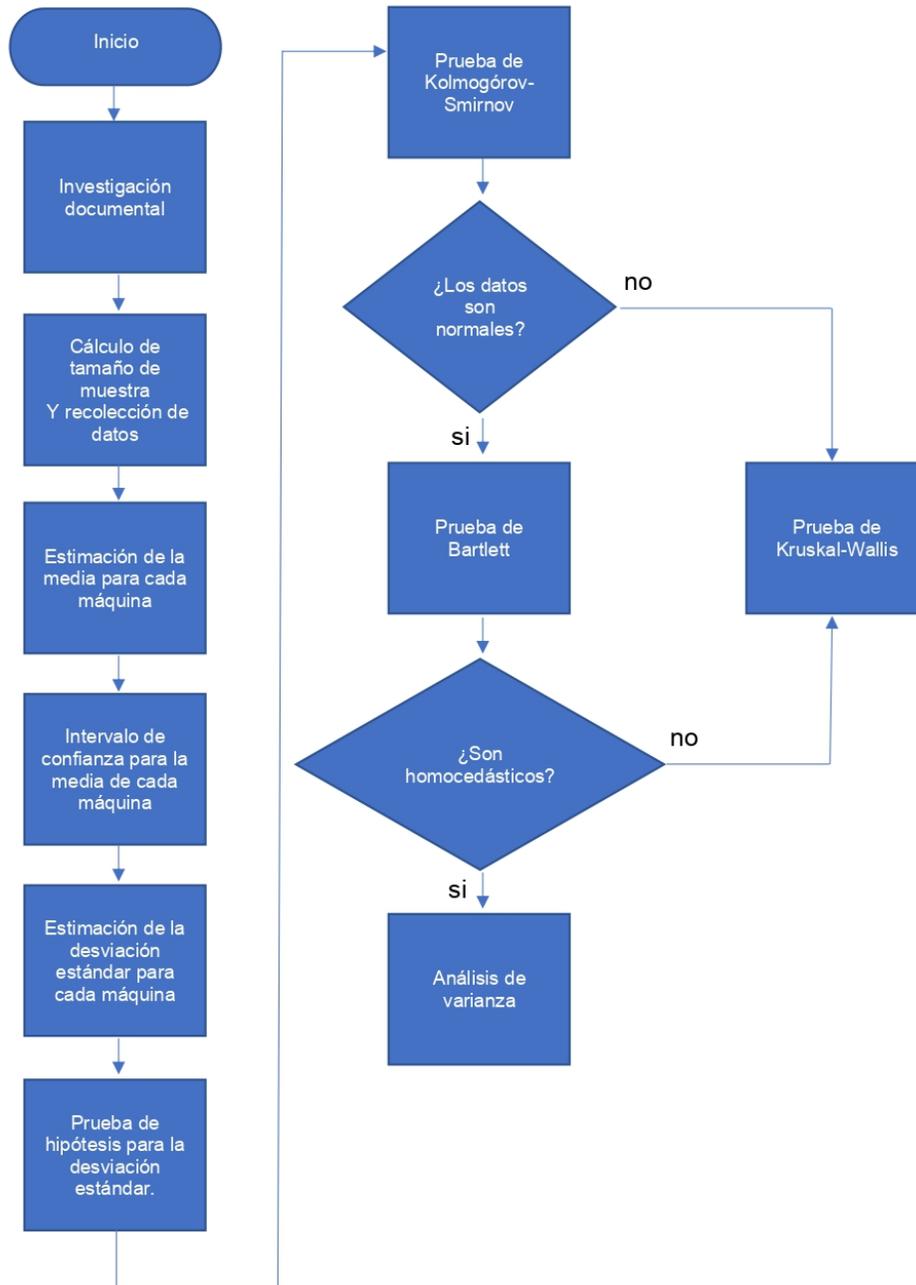
Con los datos anteriores, también se estimará la varianza de los tubos, y se realizará una prueba de hipótesis utilizando la distribución chi cuadrada para comprobar si desviación estándar es igual a la que la empresa maneja, o si está es diferente. Ya que el muestreo se realizará con un muestreo sistemático replicado, la varianza estimada con este tipo de muestreo es menor que la varianza estimada con un muestreo aleatorio simple. La prueba de hipótesis

puede realizarse con una distribución chi cuadrada si se conoce la desviación estándar. La empresa maneja una desviación estándar, pero no fue calculada con un análisis estadístico por lo que se quiere comprobar si esta es correcta.

Se realizará la prueba de Kolmogórov-Smirnov para inferir si los datos provienen de una distribución normal, y para comprobar la homocedasticidad se utilizará la prueba de Bartlett.

Se realizará un análisis de los factores que pueden influir en la variación del grosor de los tubos. Una vez identificados se realizará un análisis de varianza. Si los datos no cumplen con el supuesto de normalidad, se realizará la prueba de Kruskal-Wallis, que consiste en comprobar si las muestras provienen de poblaciones idénticas.

Figura 1. **Flujograma de solución**



Fuente: Elaboración propia, realizado con Word.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Análisis estadístico inferencial

Cuando se realiza un estudio que involucre a una población, no siempre es posible analizar a todos los elementos que la conforman, por lo que es necesario tomar solamente una parte de esta, que es llamada muestra. Con los datos que se obtienen en base a la muestra se espera sacar conclusiones acerca de población total. A este proceso se le conoce como estadística inferencial. “La inferencia estadística por lo general se divide en estimación y prueba de hipótesis, y se apoya en cantidades o datos estadísticos calculados a partir de las observaciones en la muestra.” (Gutiérrez y De La Vara, 2008, p.20).

Al abordar un problema desde la perspectiva de la probabilidad, se asume que las propiedades de la población son conocidas y se puede responder preguntas sobre una muestra tomada de esa población. Pero en un problema estadístico, el investigador dispone de información que proviene una muestra y con ellos debe extraer conclusiones que permitan describir la población. (Devore, 2008). A partir de los datos obtenidos de un muestreo, el investigador debe ser capaz de determinar los parámetros que describen a la población, utilizando diferentes métodos y técnicas.

7.2. Muestreo

El objetivo del muestreo es aplicar técnicas estadísticas que permitan obtener una muestra representativa que permita hacer inferencias sobre los parámetros de una población, como la media, la desviación estándar o el total.

“Una forma de lograr esa representatividad es diseñar de manera adecuada un muestreo aleatorio” (Gutiérrez et. al, 2008, p.20). Esto quiere decir que no debe existir ningún tipo favoritismo o sesgo al efectuar el proceso de muestreo ya que se debe procurar que “todos los elementos de la población tengan las mismas oportunidades de ser incluidos en la muestra.” (Gutiérrez et. al, 2008, p.20).

La importancia de utilizar el muestreo aleatorio es que permite tener imparcialidad en los datos, evita que existan sesgos en la información y que las conclusiones obtenidas se acerquen más a los parámetros reales que describen a la población. Las técnicas de muestreo aleatorio más utilizados son:

- Muestreo aleatorio simple.
- Muestreo aleatorio estratificado.
- Muestreo aleatorio sistemático.
- Muestreo aleatorio por conglomerados.

El método más sencillo y que se realiza con mayor frecuencia es llamado muestreo aleatorio simple, que consiste en tener una lista que contenga a cada uno de los elementos que conforman una población y realizando un procedimiento aleatorio como puede ser un sorteo o mediante números aleatorios, donde “todos los elementos de la población tengan las mismas oportunidades de ser incluidos en la muestra.” (Gutiérrez et. al, 2008, p.20). Sin embargo, hay ocasiones en donde este enfoque no es posible que se lleve a cabo, debido a que no se dispone con un listado que contenga la información de toda la población. También existen métodos alternativos que permiten recolectar la información sin necesidad de tener identificados a todos los elementos que conforman una población.

7.2.1. Muestreo sistemático

Es una alternativa al muestreo aleatorio simple, que facilita el proceso de selección de la muestra. “Una muestra obtenida al seleccionar aleatoriamente un elemento de los primeros k elementos en el marco y después cada k -ésimo elemento se denomina muestra sistemática de 1-en- k .” (Scheaffer, Mendenhall y Ott, 1987, p.168). Este tipo de muestreo consiste en seleccionar un número al azar para iniciar la recolección de la muestra, y posterior de ese punto, tomar una muestra cada k elementos.

Una de las ventajas de este tipo de muestreo es que facilita la toma de la muestra cuando se está trabajando con procesos industriales, al ser de naturaleza continua, es difícil de numerar a toda la población. Según Scheaffer, et al. (1987) un muestreo sistemático está menos expuesto a los errores del entrevistador y puede proporcionar más información que un muestreo aleatorio simple por unidad de costo. El motivo de esto es que el muestreo sistemático se extiende uniformemente a lo largo de una población, mientras que en un muestreo aleatorio simple pueden existir elementos que están cerca unos de otros y pueden dar una estimación menos exacta.

Para seleccionar una muestra por medio de muestreo sistemático, se debe seleccionar una muestra de 1 en k , por ejemplo, puede seleccionarse de 1 en 5 o de 1 en 20. Scheaffer, et al. (1987) indica que cuando el tamaño N de una población es conocido, podemos establecer una muestra n y luego calcular una k que nos permita cubrir toda la población. Una muestra sistemática n que es obtenida de una población N debe cumplir con:

$$k \leq N/n \quad (\text{Ec. 1})$$

De la ecuación anterior, podemos notar que, si el tamaño de la población N es desconocido, no es posible determinar el valor exacto de k . En este caso, es posible estimar un valor k para conseguir un tamaño de muestra n que sea aproximado. Se debe tener cuidado de no seleccionar un valor para k que sea demasiado grande, ya que puede que no se logre conseguir el tamaño de muestra deseado y no siempre es posible regresar al lugar del muestreo para obtener otra muestra.

De acuerdo con Scheaffer, et al. (1987) para obtener la muestra se debe seleccionar un número aleatorio entre 1 y k como punto de partida, y para tomar la segunda muestra se debe de sumarle k al resultado anterior hasta cumplir con el tamaño de muestra requerido. Para establecer que tamaño de muestra es necesario para realizar una estimación de la media poblacional, es utilizada la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)D + \sigma^2} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$D = \frac{B^2}{4} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

- n = tamaño de la muestra.
- N = tamaño de la población.
- σ = desviación estándar.
- B = límite para el error de estimación.

7.2.2. Muestreo sistemático replicado

El muestreo sistemático replicado es una variante del muestreo sistemático, que consiste en realizar réplicas. Para realizar las réplicas se deben tomar más de una muestra sistemática (Scheaffer, et al., 1987). En un muestreo

sistemático tradicional, si se realiza una muestra de 1 en 8 conteniendo 50 mediciones, en un muestreo sistemático replicado se pueden obtener las 50 mediciones realizando 10 muestreos de 1 en 50 con 8 mediciones cada uno.

Para seleccionar una muestra utilizando el muestreo sistemático replicado, primero es necesario encontrar el valor k , luego se debe encontrar el valor que se usará para cada réplica al que se le llamará k' utilizando la fórmula:

$$k' \leq n_s k \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde n_s es el número de réplicas que se realizarán. Una convención bastante utilizada es que el número de réplicas n_s sea igual a 10, ya que permite tener suficientes medias muestrales para realizar las estimaciones.

Conforme indicado por Scheaffer, et al. (1987) el procedimiento de muestreo replicado permite estimar la media poblacional y además permite estimar su varianza. El “estimador de la media poblacional μ usando n_s muestras sistemáticas de 1 en k ” (Scheaffer, et al., 1987, p.84). Utiliza la siguiente fórmula:

$$\hat{\mu} = \sum_{i=1}^{n_s} \frac{\bar{y}_i}{n_s} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde \bar{y}_i es el promedio para la i -ésima muestra obtenida por muestro sistemático replicado.

Para realizar la estimación de la varianza poblacional se recurre la fórmula:

$$\hat{V}(\hat{\mu}) = \left(\frac{N-n}{N} \right) \frac{\sum_{i=1}^{n_s} (\bar{y}_i - \hat{\mu})^2}{n_s(n_s-1)} \quad (\text{Ec. 6})$$

7.3. Análisis estadístico paramétrico

El análisis estadístico paramétrico se utiliza para hacer estimaciones sobre los parámetros de una población utilizando estadísticos obtenidos a partir de la muestra proveniente de dicha población. Siempre que se utiliza estadística paramétrica se debe verificar que la población de donde se obtuvo la muestra sigue una distribución normal o que se aproxime a esta.

Los métodos más utilizados para hacer estimaciones con análisis estadístico paramétrico son el cálculo de estimadores puntuales, intervalos de confianza que pueden aplicarse a la media o también a la varianza y pruebas de hipótesis.

7.3.1. Intervalos de confianza

Los intervalos de confianza son estimadores para algún parámetro de una población, en el que se calcula un intervalo en donde está contenido el valor real del parámetro. A diferencia de la estimación puntual, el intervalo de confianza está formado por un límite inferior y un límite superior, en el cual podemos indicar que se encuentra el valor del estimador con un cierto grado de confiabilidad, al cual se le llama nivel de confianza.

Según Devore (2008) los niveles de confianza más utilizados para el cálculo de un intervalo de confianza son 95 %, 99 % y 90 %. Al seleccionar un nivel de confianza, por ejemplo, del 95 %, implica que de todas las muestras el 95 % de ellas darían un intervalo que incluya al parámetro que se está estimando y el 5 % de las muestras proporcionarían un intervalo incorrecto.

Anderson, Sweeney y Williams (2010) indican que, para calcular una estimación mediante intervalo de confianza, se debe sumar y restar al estimador puntual una cantidad a la cual se le denomina margen de error.

$$I.C. = \text{Estimación puntual} \pm \text{margen de error} \quad (\text{Ec. 7})$$

Dependiendo del parámetro que se esté estimando, el margen de error es calculado de distintas formas, sin embargo, el tamaño del margen de error está ligado al nivel de confiabilidad con el que se hará el cálculo para dicho parámetro. Para representar el nivel de confianza se utiliza la expresión $1-\alpha$, donde “el símbolo, α , es el error probabilístico que el investigador está dispuesto a aceptar en la estimación del parámetro, también se le llama nivel de significación.” (Guerra, 2014, p115).

7.3.1.1. Intervalos de confianza para la media con desviación estándar poblacional desconocida σ

Cuando la desviación estándar de la población σ no es conocida, no podemos utilizar la distribución normal para el cálculo del intervalo de confianza. Triola (2009) nos dice que para poder encontrar el intervalo la muestra debe cumplir ciertos requisitos: que la muestra sea aleatoria y que provenga de una población con distribución normal o que sea mayor a 30. Si los requisitos anteriores se cumplen, podemos utilizar la distribución t de student, utilizando la siguiente expresión:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}} \quad (\text{Ec. 8})$$

La distribución t de student tiene n-1 grados de libertad y la desviación estándar muestral s reemplaza el valor de σ .

El procedimiento para construir un intervalo de confianza consiste en encontrar un valor crítico denominado por $t_{\alpha/2}$, utilizando $n-1$ grados de libertad y el nivel de confianza expresado por $1-\alpha$ con el cual estamos trabajando. Una vez localizado el valor de $t_{\alpha/2}$, se procede a calcular el margen de error:

$$E = t_{\alpha/2} * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (\text{Ec. 9})$$

Una vez encontrado el margen de error, podemos sustituir la información en la ecuación 7 para establecer el intervalo de confianza para la media:

$$I. C. \text{ para } \mu = \bar{x} \pm t_{\alpha/2} * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (\text{Ec. 10})$$

7.3.2. Pruebas de hipótesis

Son otro aspecto importante del análisis estadístico inferencial, ya que en algunas ocasiones el problema del investigador no proviene de estimar un parámetro poblacional, sino comprobar que esta sea correcta. Triola (2009) define la prueba de hipótesis como un procedimiento estándar para comprobar una afirmación acerca de un parámetro de una población.

Una prueba de hipótesis está conformada por dos partes, la primera es llamada hipótesis nula y la segunda es llamada hipótesis alternativa. Guerra (2014) menciona que estas hipótesis son contrarias y complementarias sobre el parámetro que se está investigando. “La hipótesis nula (denotada por H_0) es la afirmación de que el valor de un parámetro de población (como una proporción, media o desviación estándar) es igual a un valor aseverado.” (Triola, 2009, p.389). Mientras que la hipótesis alterna se representa por H_1 y establece lo contrario a la hipótesis nula.

Wackerly, Mendenhall y Scheaffer (2010) mencionan que los elementos de una prueba de hipótesis son:

- Hipótesis nula
- Hipótesis alterna
- Estadístico de prueba
- Región crítica o de rechazo

El estadístico de prueba es un valor que proviene de la muestra y es utilizado para tomar una decisión acerca de la hipótesis nula, y se calcula tomando el estadístico que proviene de la muestra y convirtiéndolo a un puntaje de alguna distribución, como puede ser z , t o χ^2 (Triola, 2009).

Dependiendo de cómo este planteada la hipótesis alterna, las pruebas de hipótesis pueden ser bilaterales o unilaterales. Cuando la hipótesis alterna indica que el parámetro analizado es diferente que el supuesto, se utiliza una prueba bilateral. Cuando la hipótesis alterna indica que el parámetro analizado es mayor que el supuesto se utiliza para la decisión una prueba unilateral de cola derecha y si es menor se utiliza una prueba unilateral de cola izquierda.

La región crítica o de rechazo se refiere al conjunto de valores del estadístico de prueba que puede causar que se rechace la hipótesis nula. Esta región dependerá del nivel de significancia α con el que se esté trabajando y si la prueba es bilateral o unilateral. Cuando hacemos una prueba de hipótesis, las conclusiones a las que podemos llegar pueden ser correctas o incorrectas, por lo que deben considerarse los dos posibles tipos de errores que podemos cometer. El error tipo I consiste en rechazar la hipótesis nula en el caso que fuera verdadera. Este error se representa con el símbolo α y es equivalente al nivel de significancia. El error tipo II reside en no rechazar la hipótesis nula en el caso que esta sea falsa. El error tipo II se representa con el símbolo β .

Para decidir si la hipótesis nula es rechazada o no, se debe calcular un valor crítico, que sirve para delimitar la región de rechazo. En el caso de una prueba bilateral, se tiene un valor crítico tanto en la cola derecha, como en la cola izquierda. Si el estadístico de prueba es mayor que la cola derecha o es menor que el de la cola izquierda entonces se rechaza la hipótesis nula.

Para una prueba unilateral, dependerá de que cola se está utilizando como regla de decisión. Si se utiliza la cola izquierda, para poder rechazar la hipótesis nula el estadístico de prueba debe ser menor que el valor crítico. Si se utiliza la cola derecha, para poder rechazar la hipótesis nula el estadístico de prueba debe ser mayor que el valor crítico.

7.3.2.1. Prueba de hipótesis para la varianza σ^2

Esta prueba se realiza cuando se quiere comprobar una afirmación acerca de la desviación estándar σ o la varianza σ^2 de una población. Esta prueba utiliza la distribución chi cuadrada χ^2 para el estadístico de prueba y los valores críticos.

Se deben tomar algunas consideraciones para efectuar una prueba de hipótesis de σ o σ^2 son que la muestra debe ser aleatoria y la población de donde se obtienen los datos debe estar distribuida normalmente. Si la población de donde se toma la muestra no es normal, puede que el valor de prueba calculado sea diferente del valor real.

Según Triola (2009) el estadístico de prueba chi cuadrado se puede calcular:

$$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

- n = tamaño de la muestra.
- s^2 = varianza de la muestra.
- σ^2 = varianza de la población.

7.3.3. Análisis de varianza

En ocasiones un investigador desea comparar más de poblaciones, por lo que las pruebas de hipótesis no son suficientes para lograrlo. Según Devore (2008) un análisis de varianza (ANOVA) es el procedimiento utilizado para analizar datos muestreados que provienen de más de dos poblaciones, o también si en los datos de un experimento se utilizaron más de dos tratamientos. Muchos estudios se centran en el efecto que tiene una variable independiente sobre una respuesta. “Las variables independientes que pueden ser controladas en un experimento reciben el nombre de factores y el nivel de intensidad de un factor se denomina nivel del factor.” (Wackerly et. al., 2010, p.661).

Un análisis de varianza se utiliza cuando se quieren comparar si las medias de tres o más poblaciones pueden considerarse iguales o si existe alguna diferencia. Gutiérrez et. al. (2008) nos indican que, por lo general, el interés de un investigador es la comparación de los tratamientos con respecto a sus medias poblacionales, sin olvidar que también se debe comparar con respecto a la varianza. La hipótesis que se plantea al comprobar varios tratamientos es:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu \quad (\text{Ec. 12})$$

$$H_1: \mu_i = \mu_j \text{ para algún } i \neq j \quad (\text{Ec. 13})$$

La hipótesis nula plantea que las medias de los tratamientos son iguales estadísticamente y la hipótesis alterna es que al menos una de las medias es diferente de las demás.

7.3.3.1. Supuestos de un análisis de varianza

Para efectuar un análisis de varianza, Anderson, et. al. (2010) plantean tres suposiciones que deben cumplirse para poder aplicar el ANOVA:

- Cada una de las poblaciones debe tener una distribución normal.
- Todas las poblaciones deben tener varianzas iguales.
- Las muestras deben ser independientes.

7.3.3.2. Análisis de varianza con un factor

El método de ANOVA de un factor se aplica cuando únicamente se utiliza una característica como factor para el estudio y este es aplicado a diferentes poblaciones en distintos niveles. Gutiérrez et. al. (2008) nos dicen que la idea principal del ANOVA es separar la variación total en sus dos componentes: la variación debido a los tratamientos y la variación debido al error. A la variabilidad total se le llama suma total de cuadrados SCT y está dada por:

$$SCT = SCTR + SCE \quad (\text{Ec. 14})$$

La variación debido a los tratamientos es llamada suma de cuadrados de tratamientos SCRT, y mide la diferencia entre que hay entre tratamientos con respecto a la media total. Se calcula mediante la ecuación:

$$SCTR = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{Y}_{i\cdot} - \bar{Y}_{\cdot\cdot})^2 \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde:

- n_i = Número de observaciones de cada tratamiento
- $\bar{Y}_{i\cdot}$ = Media de las observaciones del i-ésimo tratamiento

- $\bar{Y}_{..}$ = Media de todas las observaciones

La variación debido al error es llamada suma de cuadrados del error SCE y mide la variación que existe dentro de los tratamientos en relación con la media de cada tratamiento. Para calcularla, se utiliza la ecuación:

$$SCTE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.})^2 \quad (\text{Ec. 16})$$

Donde:

- Y_{ij} = Observaciones de cada tratamiento
- $\bar{Y}_{i.}$ = Media de las observaciones del i-ésimo tratamiento

A continuación, se debe determinar los grados de libertad tanto para los tratamientos, el error y la variación total. Para calcularlos debemos tomar en cuenta la cantidad total de observaciones N y el número de tratamientos k. Las ecuaciones para determinar con que grados de libertad se debe trabajar son:

$$\text{grados de libertad SCT} = N - 1 \quad (\text{Ec. 17})$$

$$\text{grados de libertad SCTR} = k - 1 \quad (\text{Ec. 18})$$

$$\text{grados de libertad SCE} = N - k \quad (\text{Ec. 19})$$

Para obtener el estadístico de prueba utilizado en el análisis de varianza, se deben calcular los cuadrados medios, tanto para los tratamientos como para el error. Parca calcularlos se divide la suma de cuadrados dentro de sus respectivos grados de libertad. El cuadrado medio de los tratamientos y el cuadrado medio del error quedan definidos como:

$$CMTR = \frac{SCTR}{k-1} \quad (\text{Ec. 20})$$

$$CME = \frac{SCTE}{N-k} \quad (\text{Ec. 21})$$

Una vez calculados los cuadrados medios, se procede a calcular el estadístico de prueba que se utiliza en el análisis de varianza. El estadístico utiliza una distribución F y se calcula mediante la relación entre el cuadrado medio de los tratamientos y el cuadrado medio del error.

$$F = \frac{CMTR}{CME} \quad (\text{Ec. 22})$$

El análisis de varianza puede resumirse a través de la siguiente tabla:

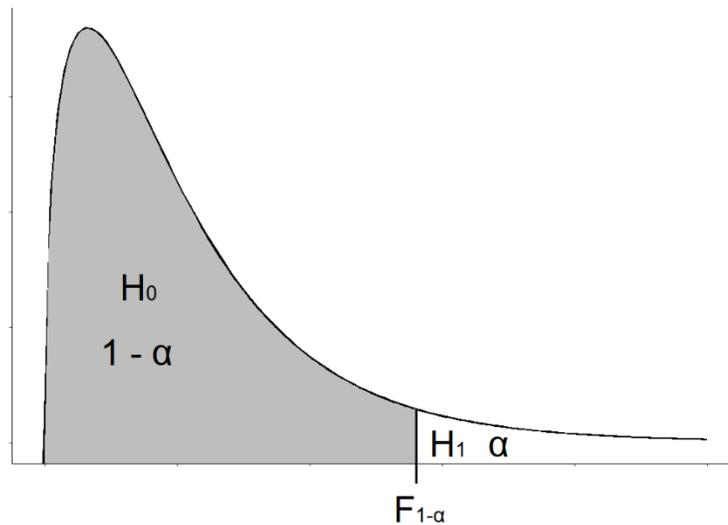
Tabla I. **Análisis de varianza de un factor**

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Tratamientos	SCTR	k-1	CMTR	CMTR/CME
Error	SCTE	N-k	CME	
Total	SCT	N-1		

Fuente: Elaboración propia, realizado con Word, adaptado de Gutiérrez y De La Vara (2008, p.p.69)

Según Wackerly, et.al. (2010) la regla de decisión para el ANOVA es que, si el valor del estadístico de prueba F es mayor que el valor especificado de para un nivel de significancia α , se debe rechazar la hipótesis nula, lo que significa que se toma como validad la hipótesis alterna. Por lo que la prueba del análisis de varianza resulta en una prueba F de una cola.

Figura 2. **Regla de decisión para una distribución F**



Fuente: Elaboración propia, realizado con RStudio, basado en Montgomery, 2004, p. 72.

7.3.3.3. **Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov**

Es utilizada para determinar si la distribución de datos de una muestra se ajusta a una distribución teórica en particular. Esta prueba es muy utilizada para para comprobar si una muestra de datos proviene de una distribución normal, pero puede ser utilizada con cualquier distribución teórica.

“Al utilizar la prueba de bondad del ajuste de Kolmogórov-Smirnov, se hace una comparación entre alguna función de distribución acumulada y teórica, $F_T(x)$, y la función de distribución acumulada de una muestra, $F_s(x)$.” (Daniel, 1991, p.526).

Para aplicar la prueba, se debe encontrar la diferencia que existe entre la función de distribución acumulada teórica $F_T(x)$ con la función de distribución acumulada que proviene de la muestra $F_S(x)$. Con esta diferencia se encuentra un estadístico de prueba D , que es la distancia vertical máxima que existe entre $F_S(x)$ y $F_T(x)$ (Daniel, 1991). La fórmula del estadístico D es:

$$D = \sup |F_S(x) - F_T(x)| \quad (\text{Ec. 23})$$

La ecuación anterior se interpreta de la siguiente forma: “ D es igual al supremo (máximo) sobre todos los x , del valor absoluto de la diferencia $F_S(x)$ menos $F_T(x)$ ” (Daniel, 1991, p.526).

En la prueba de Kolmogórov-Smirnov se plantea una prueba de hipótesis para hacer una comparación de las distribuciones:

$$H_0: F_S(x) = F_T(x) \text{ para todo } x \quad (\text{Ec. 24})$$

$$H_1: F_S(x) \neq F_T(x) \text{ para al menos una } x \quad (\text{Ec. 25})$$

La regla de decisión para esta prueba es que si el estadístico D es mayor que el valor crítico K-S obtenido de una tabla para $1-\alpha$ y una muestra de tamaño n , se rechaza la hipótesis nula.

7.3.3.4. Prueba de Bartlett

Uno de los aspectos importantes cuando se quiere realizar un análisis de varianza, es que se debe comprobar el supuesto de homocedasticidad, por lo que es necesario realizar una prueba preliminar para comprobarlo. La prueba de

Bartlett puede ser utilizada para comprobar que las varianzas provenientes de dos o más muestras son homogéneas.

En la prueba de Bartlett se plantea una prueba de hipótesis para hacer la comparación de las varianzas:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 \quad (\text{Ec. 26})$$

$$H_1: \text{al menos una varianza es diferente} \quad (\text{Ec. 27})$$

Según Walpole (2012) el procedimiento para llevar a cabo la prueba de Bartlett es como primer paso, calcular las k varianzas $s_1^2, s_2^2, \dots, s_k^2$ que provienen de las muestras n_1, n_2, \dots, n_k . Luego se deben combinar las varianzas muestrales mediante la fórmula:

$$s_p^2 = \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^k (n_i - 1) s_i^2 \quad (\text{Ec. 28})$$

Una vez calculada la varianza combinada, se procede a calcular el estadístico de prueba b que pertenece a la distribución de Bartlett:

$$b = \frac{[(s_1^2)^{n_1-1} (s_2^2)^{n_2-1} \dots (s_k^2)^{n_k-1}]^{1/(N-k)}}{s_p^2} \quad (\text{Ec. 29})$$

Cuando las muestras tienen tamaños iguales, se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significancia α si:

$$b < b_k(\alpha; n) \quad (\text{Ec. 30})$$

Donde b_k es el valor crítico que utiliza la prueba de Bartlett dejando un área de tamaño α en el lado izquierdo de la distribución de Bartlett y es obtenido de tablas para los valores críticos de la prueba de Bartlett. En el caso que los tamaños para las muestras sean diferentes, el valor crítico a un nivel de significancia α se calcula:

$$b < b_k(\alpha; n_1, n_2, \dots, n_k) \quad (\text{Ec. 31})$$

Donde

$$b_k(\alpha; n_1, n_2, \dots, n_k) = \frac{n_1 b_k(\alpha; n_1) + n_2 b_k(\alpha; n_2) + \dots + n_k b_k(\alpha; n_k)}{N} \quad (\text{Ec. 32})$$

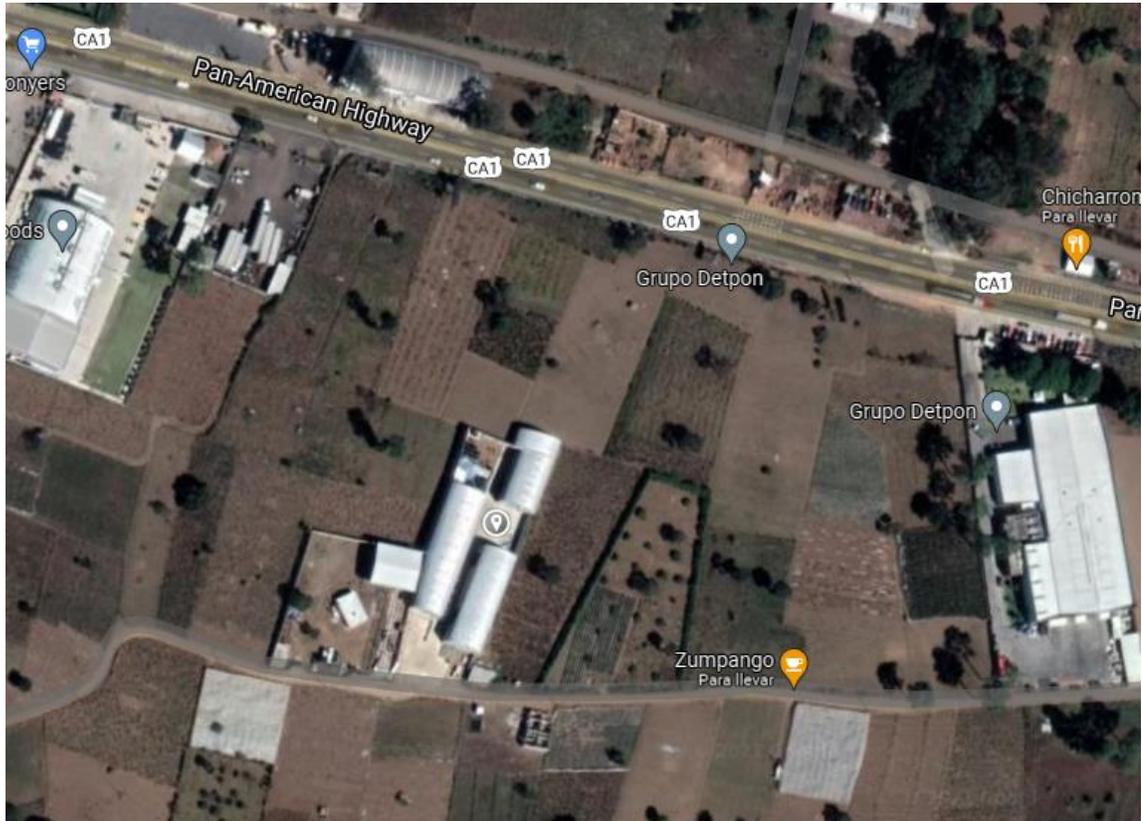
7.4. La empresa

A continuación, se detallan algunos aspectos importantes de la empresa, así como información sobre los productos y el proceso de fabricación.

7.4.1. Ubicación

La empresa se encuentra ubicada en el kilómetro 47 Ruta hacia Guatemala, Lote 11 Los Planes, Sumpango, Sacatepéquez.

Figura 3. Ubicación



Fuente: Google Maps (2021). Consultado el 06 de octubre de 2021. Recuperado de <http://maps.google.com>.

7.4.2. Visión

Ofrecer poliductos de todas las medidas requeridas por nuestros clientes elaborado con un proceso comprometido con el medio ambiente de una buena calidad.

7.4.3. Misión

Ser reconocido como una empresa amigable al medio ambiente líder en la producción de poliductos y sus derivados.

7.4.4. Productos

La empresa cuenta con diversos productos, pero el más importante es el poliducto.

7.4.4.1. Poliducto

El poliducto es un tubo plástico de color negro, fabricado con materia prima reciclada, proveniente de polietilenos de baja y alta densidad. Uno de los principales usos del poliducto es la conducción de cables que proporcionan energía eléctrica, además de ser utilizado en sistemas de riego para transportar agua a través de largas distancias.

Figura 4. **Poliducto**



Fuente: Politubo de Arandas (2021). Consultado el 06 de octubre de 2021. Recuperado de <http://www.politubo.com/mx/productos/poliducto/poliducto1.png>.

La empresa fabrica tubos con diferentes tipos de diámetro, que van desde media pulgada de diámetro hasta un máximo de tres pulgadas. Las presentaciones disponibles son las siguientes:

- Rollos de poliducto de 1/2" de diámetro desde 40m a 100m de longitud.
- Rollos de poliducto de 3/4" de diámetro desde 40m a 100m de longitud.
- Rollos de poliducto de 1" de diámetro desde 40m a 100m de longitud.
- Rollos de poliducto de 1 1/4" de diámetro desde 45m a 200m de longitud.
- Rollos de poliducto de 1 1/2" de diámetro desde 45m a 100m de longitud.
- Rollos de poliducto de 2" de diámetro desde 45m a 100m de longitud.
- Rollos de poliducto de 3" de diámetro desde 45m a 100m de longitud.

En la tabla II, se pueden observar las especificaciones técnicas que la empresa maneja para cada una de las diferentes presentaciones:

Tabla II. **Especificaciones técnicas**

Diámetro nominal (Pulgadas)	Medida de rollos (Metros)	Diámetro externo (mm)	Diámetro interno (mm)	Espesor de pared (mm)	Tolerancia
1/2	De 51 a 91	15.5	13	2.5	3 %
3/4	De 51 a 91	22.5	19.5	3	3 %
1	De 51 a 91	29	26	3	3 %
1 1/4	De 51 a 91	42	38	4	4 %
1 1/2	De 51 a 91	47	42	5	4 %
2	De 51 a 91	62	56	6	5 %
3	45	85	78	7	5 %

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

7.4.5. Descripción de la maquinaria y equipo

Para la fabricación del poliducto se utilizan varios tipos de máquinas, por lo que es necesario conocer su función dentro del proceso.

7.4.5.1. Granuladora

Una máquina granuladora tiene como función principal la transformación de los plásticos obtenidos del proceso de selección de materia prima, en granos finos, mediante un sistema mecánico que cuenta con tres cuchillas laterales que se mantienen en una posición fija y una cuchilla giratoria de mayor tamaño, con la que se tritura el plástico hasta convertirlo en los granos finos.

7.4.5.2. Secadoras

Es la máquina encargada de eliminar la humedad del material granulado luego de haber sido lavado. La máquina eleva la temperatura del material granulado, eliminando el agua mediante un proceso de evaporación.

7.4.5.3. Extrusoras

Es la máquina encargada de producir los tubos de poliducto. Su funcionamiento consiste en convertir una resina termoplástica en los tubos mediante la aplicación de presión y temperatura. Esta resina es calentada y luego empujada a través de un molde calibrador o anillos, que da el tamaño y forma cilíndrica del tubo.

7.4.6. Descripción del proceso

El proceso comienza con la selección de materia prima, obtenida de productos de desecho. Se clasifica el plástico que puede ser reciclado y utilizado como materia prima para la producción de poliducto. Una vez obtenido este material, es trasladado a una máquina granuladora en donde el material es procesado y se convierte en granos finos que se convertirán en la materia prima para las máquinas extrusoras.

Una vez finalizado el proceso de granulado, se procede con el lavado del material, el cual consiste en extraer materiales que puedan causar impurezas, ya que si no se realiza este proceso puede disminuir la calidad del producto final. Al terminar el proceso de lavado, se inicia con el proceso de sacado. En este proceso se elimina la humedad del material, ya que el exceso de agua también puede afectar a la calidad del producto.

Antes de iniciar el proceso de extrusión, el material debe ser precalentado para que cuando se vierta en la tolva de la máquina extrusora tarde menos tiempo en alcanzar la temperatura de fusión y pueda ser procesado con mayor facilidad. Durante el proceso de precalentado se hacen algunas preparaciones adicionales como lo son la aplicación de colorantes y otros ingredientes necesarios para obtener la consistencia deseada.

Para iniciar con el proceso de extrusión, las máquinas deben ser precalentadas durante un tiempo de aproximadamente dos horas a dos horas y media para que puedan alcanzar una temperatura óptima de trabajo. Cuando las máquinas están listas para trabajar, se llena la tolva con el material preparado mediante el precalentado y cuando se termina de llenar se comienza con la extrusión del material con el que se fabricará el tubo de poliducto.

Luego que el producto sale de la máquina extrusora este es colocado en una tina donde es sumergido en agua para poder enfriarlo. Cuando el producto se encuentra frío es trasladado al área donde se procede a enrollarlo. Luego de ser enrollado se procede a hacer una inspección y por último es trasladado al área de almacenamiento.

El proceso de fabricación de los tubos de poliducto puede ser resumido mediante la figura 5:

Figura 5. Cursograma analítico para la fabricación de poliducto

Cursograma analítico							
Cursograma analítico de: Produccion		Resumen					
Proceso de Producción de poliductos		Actividad					
		Operación	○				
Actividad: Elaboración de Poliductos.		Transporte	⇒				
		Inspección	D				
Lugar: Departamento de Producción		Almacenamiento	▽				
Operado: Operadores del taller.		Fecha: 08/10/2021					
Descripción	Cantidad	Tiempo (min)	Smbolo				
			○	⇒	D	▽	
Ingreso de la materia prima	126 lbs	36	●				
Granulación de la materia prima		40	●				
Lavado del plástico resultante		15	●				
Secado		15	●				
Extrucción del plastico		20	●				
Se enrolla		20	●				
Se inspecciona		5		●			
Se empaca		20			●		
Total		126 lbs	171	6	1	1	1

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Análisis estadístico inferencial

2.2. Muestreo

2.2.1. Muestreo sistemático

2.2.1.1. Muestreo sistemático replicado

2.3. Análisis estadístico paramétrico

2.3.1. Intervalos de confianza

2.3.1.1. Intervalos de confianza para la media con desviación estándar poblacional desconocida σ

2.3.2. Pruebas de hipótesis

2.3.2.1. Prueba de hipótesis para la varianza σ^2

2.3.3. Análisis de varianza

2.3.3.1. Análisis de varianza con un factor

- 2.3.3.2. Supuestos de un análisis de varianza
 - 2.3.3.3. Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov
 - 2.3.3.4. Prueba de Bartlett
- 2.4. La empresa
 - 2.4.1. Ubicación
 - 2.4.2. Visión
 - 2.4.3. Misión
 - 2.4.4. Productos
 - 2.4.4.1. Poliducto
 - 2.4.5. Descripción de la maquinaria y equipo
 - 2.4.5.1. Granuladora
 - 2.4.5.2. Secadoras
 - 2.4.5.3. Extrusoras
 - 2.4.6. Descripción del proceso

3. PRESENTACION DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto es cuantitativo, ya se pretende estimar el valor de las medias de cada una de las máquinas para dos diferentes tipos de espesores. También se determinará si la desviación estándar de los espesores es igual a la que maneja la empresa o si es diferente.

El diseño adoptado será no experimental, ya que para el cálculo de los estimadores poblacionales únicamente se medirán los tubos obtenidos mediante el muestreo, y para el análisis de varianza se tomarán en cuenta diversos factores que puedan afectar los espesores de los tubos.

El tipo de estudio es descriptivo y correlacional, dado que se desean determinar los estimadores de los parámetros poblacionales y también se desea inferir si hay algún factor durante el proceso de producción que pueda causar fluctuaciones en los espesores de los tubos.

El alcance es descriptivo ya que únicamente se darán los resultados de la investigación a la empresa, pero esta no será implementada.

9.2. Unidades de análisis

La población en estudio serán los espesores de los tubos de tres máquinas extrusoras distintas para dos diámetros de tubo distintos, de los cuales se extraerán muestras para ser estudiadas.

9.3. Variables

Tabla III. Operativización de variables

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Maquinaria (M)	Identificación de las máquinas extrusoras de la empresa. El tipo de variable cualitativa.	Número entero entre 1 y 3. Diferenciación entre cada máquina extrusora. Es de escala nominal.
Diámetro	Diámetro del tubo. El tipo de variable cualitativa.	Diámetro A ($\frac{3}{4}$ ") y Diámetro B (1"). Es de escala nominal.
Espesor (x)	Medición del espesor de un tubo de poliducto. El tipo de variable es continua.	Se medirá utilizando un vernier digital, con dimensionales en milímetros. Servirá como base para los cálculos estadísticos. Es de escala de la razón. Es una variable independiente.
Media (\bar{x})	Media del espesor de los tubos de poliducto. Es una variable continua.	La media se medirá en milímetros y se compararán las medias de tres máquinas distintas. Es de escala de la razón. Es una variable de respuesta.
Desviación estándar (sd)	Medida de la dispersión que tiene la media de los tubos de poliducto. Es una variable continua.	La desviación estándar se medirá en milímetros y se utilizará para realizar una prueba de hipótesis. Es de escala de la razón.

Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

9.4. Fases del estudio

- Fase 1: Revisión de literatura
 - La primera fase del estudio consistirá en la búsqueda de fuentes bibliográficas que puedan servir como referencia para la elaboración del proyecto, tales como revistas científicas, artículos y tesis, que puedan proporcionar técnicas y métodos para el análisis de los datos. También se consultarán libros que puedan proporcionar el fundamento estadístico del estudio.
- Fase 2: Gestión o recolección de la información
 - En esta fase se recolectarán los datos de espesores de 3 máquinas distintas para 2 tipos de diámetros en las instalaciones de la empresa. Las mediciones se realizarán con un vernier digital.
- Fase 3: Análisis de información
 - La primera fase del análisis consistirá en realizar una estimación de la media y la desviación estándar para cada una de las máquinas y los dos diferentes diámetros. Una vez obtenidos los estimadores se realizarán los intervalos de confianza para las medias. Luego se realizarán pruebas de hipótesis a la varianza. La segunda fase del análisis será realizar pruebas de normalidad y homocedasticidad. En caso se cumplan estos supuestos, se procederá a realizar un análisis de varianza. Si no se cumplen los supuestos, se realizará una prueba de Kruskal-Wallis.
- Fase 4: Interpretación de información
 - En esta fase se analizarán e interpretarán los resultados obtenidos para cada una de las máquinas, y se explicarán las diferencias y similitudes que hay entre ellas.
- Fase 5: Redacción de informe final.

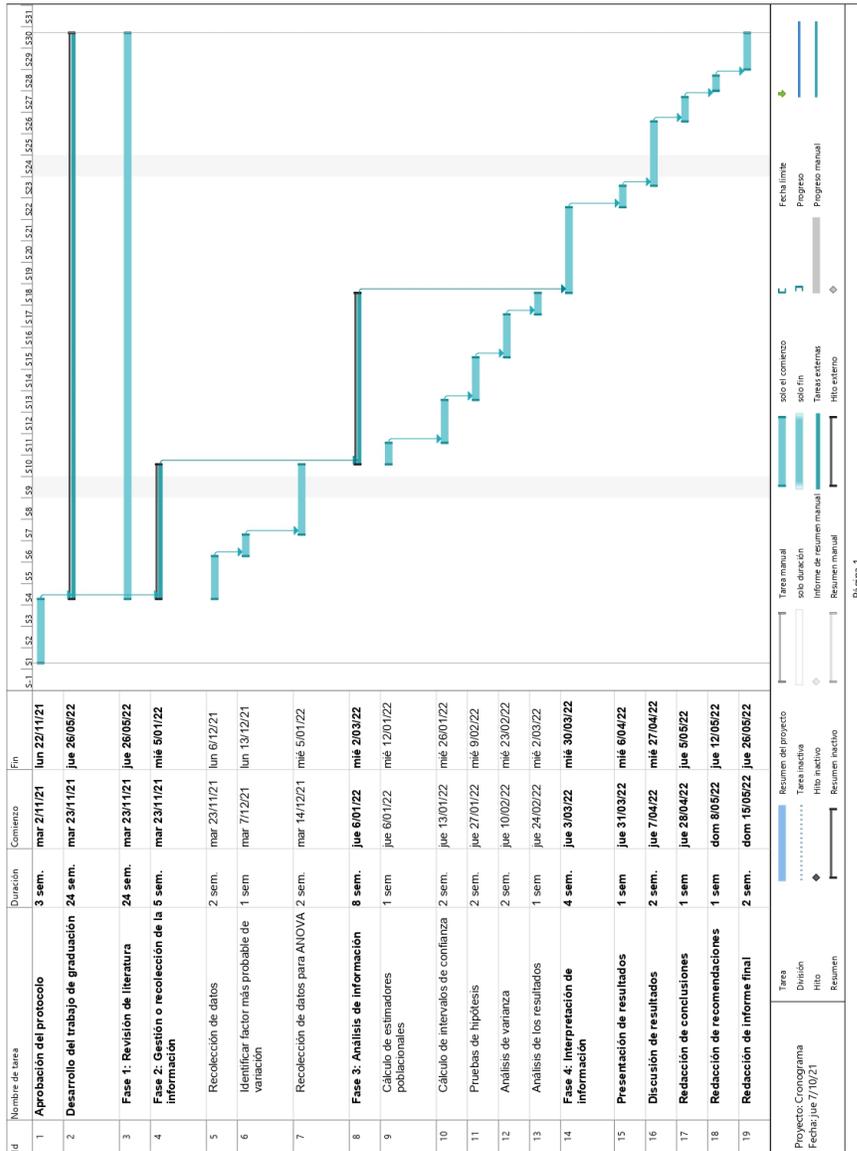
10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

En esta sección se incluyen las técnicas de recolección de datos y las técnicas estadísticas que se utilizarán para la estimación de la media y la desviación estándar para las tres máquinas extrusoras.

- Recolección de datos: para la recolección de datos se utilizarán observaciones directas, el instrumento de medición será un vernier digital, con una tolerancia de 0.05mm.
- Intervalos de confianza para la media de una población: se realizará el cálculo del intervalo de confianza con la finalidad de obtener un rango de estimación para el parámetro poblacional de la media del espesor de tubos para cada máquina, utilizando un nivel de confianza del 95 %.
- Pruebas de hipótesis de varianza para una población: se utilizará para calcular si la desviación estándar obtenida a partir de la muestra es igual al valor nominal que trabaja la empresa para cada una de las máquinas.
- Pruebas de bondad de ajuste: se realizará la prueba de Kolmogórov-Smirnov con el objetivo de comprobar que los datos provienen de una población con distribución normal.
- Pruebas de homogeneidad: se utilizará con el objetivo de comprobar el supuesto de homocedasticidad, el cual es un requisito para utilizar el análisis de varianza. La prueba que se utilizará es la prueba de Bartlett.
- Análisis de varianza de un factor: este análisis se realizará con el objetivo de comprobar la hipótesis que las medias de las 3 máquinas son iguales, frente a la hipótesis alternativa que por lo menos una de las máquinas tiene un valor diferente para la media de los espesores de los tubos.

11. CRONOGRAMA

Figura 6. Cronograma



Fuente: Elaboración propia, realizado con Visio.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

12.1. Recurso humano

Para poder llevar a cabo esta investigación, el recurso humano necesario está conformado por: un estudiante, un asesor de tesis ad honorem y un asesor de metodología.

12.2. Recursos financieros

Tabla IV. Recursos Financieros

Elemento	Unidad	Costo Unitario/(Q.)	Cantidad necesaria	Costo /(Q.)
Papel	Resma	30.00	3	90.00
Impresiones	Hoja	0.10	1000	100.00
Servicio de Internet	Mes	394.00	6	2364.00
Servicio de teléfono celular	Mes	100	6	600.00
Vernier digital	-	300.00	1	300.00
Combustible	Galón	30.00	30	900.00
Software anti-plagio	-	90.00	3	270.00
Viáticos	-	-	-	250.00
Costo total				4874.00

Fuente: Elaboración propia, realizado con Word.

La investigación será financiada en un 100 % por parte del investigador.

12.3. Recursos tecnológicos

Para la elaboración de la investigación se utilizará el siguiente equipo: computadora personal para redacción de informe y análisis de datos, teléfono celular para comunicación con asesor y la empresa y equipo de impresión. Los programas que se utilizaran son: Microsoft Word para redacción del informe, Microsoft Excel, R-Studio, Infostat y Minitab para el análisis de datos.

12.4. Acceso a información y permisos

La información se obtendrá con la autorización de la empresa y su uso está destinado exclusivamente para la elaboración del trabajo de investigación.

12.5. Equipo e infraestructura

El equipo necesario para la elaboración de la investigación es un vernier digital. El lugar donde se desarrollarán tareas necesarias para el estudio es la residencia del estudiante.

13. REFERENCIAS

1. Anderson, D., Sweeney, D. y Williams, T. (2010). *Estadística para administración y economía*. México: Cengage Learning Editores, S.A.
2. Barrios, M. y Gómez, M. (2012). *Formulación de un material para fabricar en Costa Rica poliducto de riego a partir de materiales poliméricos post consumo generados en el desecho doméstico*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.
3. Bolaños, L. (2018). *Análisis estadístico del rendimiento académico en los cursos profesionales de los estudiantes de ingeniería mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, durante los años 2010 a 2015* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
4. Dagnino, J. (2014). Análisis De Varianza. *Revista Chilena de Anestesia*, 43(4), pp.306-310.
5. Daniel, W. (1991). *Bioestadística*. México, D.F.: Editorial Limusa, S.A.
6. Devore, J. (2008). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Cengage Learning Editores, S.A.
7. Fagiani, W. (2018). *Diseño experimental y análisis de varianza aplicados a la producción de hidrógeno y oxígeno de un reactor electrolítico*,

modificando temperatura y composición química, para estimar sus condiciones óptimas de funcionamiento (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

8. García, E. (2014). *Efecto de los niveles de bencilaminopurina en el establecimiento in vitro a partir de nudos de frambuesa (rubus idaeus l.)* (tesis de maestría). Universidad Nacional De Trujillo, Perú.
9. Guerra, T. (2014). *Bioestadística*. México: UNAM, FES Zaragoza.
10. Gutiérrez, H. y De La Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México D.F., México: Editorial McGraw-Hill.
11. Kuehl, R. (2001). *Diseño de experimentos*. México D.F.: Editorial Thomson Learning.
12. Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. México, D.F.: Editorial Limusa Wiley.
13. Nuñez, C. (2018). Análisis de varianza no paramétrica: un punto de vista a favor para utilizarla. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 4(3), pp.69-79.
14. Pardo, A., Garrido, J., Ruiz, M. y San Martín, R. (2007). La interacción entre factores en el análisis de varianza: errores de interpretación. *Psicothema*, 19(2),343-349.
15. Ramírez, D., Bohórquez, J., y Barajas, F. (2016). Comparación de pruebas de homocedasticidad vía simulación. XXVI Simposio Internacional de Estadística. Recuperado de

http://gfnun.unal.edu.co/fileadmin/content/eventos/simposioestadistica/documentos/memorias/Memorias_2016/Comunicaciones/Modelamiento/Comparacion_Pruebas_Homocedasticidad_Alzate_Aldana___Hernandez.pdf.

16. Rodríguez, M., Machado, W., y Villamarin, A. (2019). Muestreo para el control de calidad en el proceso de elaboración de envases metálicos para alimentos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 20(02), pp.1-9. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n2.017>.
17. Scheaffer, R., Mendenhall, W. y Ott, L. (1987). *Elementos de muestreo*. México: Grupo Editorial Iberoamérica.
18. Triola, M. (2009). *Estadística*. México: Pearson Educación.
19. Valtierra, J. y Sausedo, J. (2013). Aplicación de herramientas para el desarrollo de una metodología para el análisis de la variación de pesos en máquinas envasadoras en la empresa “Campo Fresco”. *Academia Journals*, 5(3),1610-1615.
20. Vivanco, M. (2005). *Muestreo estadístico diseño y aplicaciones*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, S.A.
21. Wackerly, D., Mendenhall, W. y Scheaffer, R. (2010). *Estadística matemática con aplicaciones*. México, D.F.: Cengage Learning Editores, S.A.

22. Walpole, R., Myers, R., Myers, S. y Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México, D.F.: Pearson Educación de México, S.A.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de coherencia

ELEMENTOS	PROBLEMA ESTADÍSTICO (Falencias de conocimiento)	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS ¿Qué se hará? ¿Cómo se hará? ¿Para qué se hará?	SOLUCIÓN PROPUESTA Desarrollar con más detalle ¿Cómo se hará? (Utilizando la estadística)	FUNDAMENTO (Explique por qué piensa que es la mejor solución, desde los conceptos)	METODOLOGÍA
ESPECÍFICOS	No se conoce cuál es el grosor promedio real de los tubos que produce cada máquina.	01. ¿Cuál es la media del espesor real del tubo de cada máquina con respecto a los diámetros de tres cuartos de pulgada y de una pulgada?	01. Identificar el grosor de los tubos producidos por cada máquina, a través de mediciones repetidas y un intervalo de confianza, para poder realizar comparaciones entre máquinas.	Para estimar la media del grosor de los tubos se calculará un tamaño de muestra en base a un muestreo sistemático, utilizando la desviación estándar que la empresa maneja actualmente y el muestreo se realizará haciendo muestreo sistemático replicado. Con la información obtenida se estimará la media de cada una de las máquinas y se calculará el intervalo de confianza para cada una de las medias.	Según Scheaffer et al. (2012) un muestreo sistemático se puede realizar más fácilmente en comparación a un muestreo aleatorio y un muestreo estratificado, al mismo tiempo, puede proporcionar más información al mismo costo.	Características del estudio El enfoque del estudio propuesto es cuantitativo, ya se pretende estimar el valor de las medias de cada una de las máquinas para dos espesores. También se determinará si la desviación estándar de los espesores es igual a la que maneja la empresa o si es diferente.
	No se conoce cuál es el margen de error real que tiene cada máquina.	02. ¿Cuál es la desviación estándar del grosor del tubo de cada máquina con respecto a los diámetros que fabrica?	02. Estimar la desviación estándar del grosor de los tubos producidos por cada máquina, a través de mediciones repetidas y contraste de hipótesis de la varianza, para verificar si la precisión de cada máquina es la correcta.	Con los datos anteriores, también se estimará la varianza de los tubos, y se realizará una prueba de hipótesis utilizando la distribución chi cuadrada para comprobar si desviación estándar es igual a la que la empresa maneja, o si está es diferente.	Según Scheaffer et al. (2012) al realizar un muestreo sistemático replicado, es posible estimar la varianza con los datos obtenidos del muestreo. Cuando los datos son grandes, la varianza estimada con este tipo de muestreo es menor que la varianza estimada con un muestreo aleatorio simple. La prueba de hipótesis puede realizarse con una distribución chi cuadrada si se conoce la	El diseño adoptado será no experimental, ya que para el cálculo de los estimadores poblacionales únicamente se medirán los tubos obtenidos mediante el muestreo, y para el análisis de varianza se tomarán en cuenta diversos factores que puedan afectar los espesores de los tubos.
GENERAL	No se conoce si hay diferencias en los grosores de los tubos y tampoco se conoce cuáles son los factores que pueden afectar al grosor del tubo al momento de su fabricación.	03. ¿Cuáles son los factores del proceso que influyen significativamente en la fluctuación del espesor del tubo?	03. Determinar los factores del proceso que influyen significativamente en la fluctuación del espesor del tubo a través de un análisis de varianza para establecer diferencias y similitudes por máquina.	Se realizará un análisis de cuáles son los factores que pueden influir en la variación del grosor de los tubos. Una vez identificados los factores se realizará un análisis de varianza. Si los datos no cumplen con el supuesto de normalidad, se realizará la prueba de Kruskal-Wallis.	desviación estándar. La empresa maneja una desviación estándar, pero no fue calculada con un análisis estadístico por lo que se quiere comprobar si esta es correcta. Para realizar el análisis de varianza las muestras deben cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. En caso no se cumpla la normalidad de los datos, se utilizará la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis la cual consiste en comprobar si las muestras provienen de poblaciones idénticas.	El tipo de estudio es descriptivo y correlacional, dado que se desean determinar los estimadores de los parámetros poblacionales y también se desea inferir si hay algún factor durante el proceso de producción que pueda causar fluctuaciones en los espesores de los tubos. El alcance es descriptivo ya que únicamente se darán los resultados de la investigación a la empresa, pero esta no será implementada.
		¿Cuál es el comportamiento estadístico de las dimensiones del espesor de poliducto producido por las tres máquinas con las que cuenta la empresa?	Describir el comportamiento estadístico de las dimensiones del espesor de poliducto producido por las tres máquinas con las que cuenta la empresa utilizando análisis estadístico paramétrico y no paramétrico, para poder establecer diferencias y similitudes.	Además de utilizar toda la información anterior, se realizará la prueba de Kolmogórov-Smirnov para determinar si los datos provienen de una distribución normal. Una vez obtenida toda la información se concluirá si se puede decir que las medias de las	La prueba de Kolmogórov-Smirnov es una prueba no paramétrica de bondad de ajuste. Para poder utilizarla se deben conocer los parámetros de la media y la desviación estándar, los cuales fueron estimados anteriormente. Una ventaja sobre Shapiro-Wilks es	Unidades de análisis La población en estudio serán los espesores de los tubos de tres máquinas extrusoras distintas para dos diámetros de tubo distintos.

Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

