



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

“Análisis técnico del nivel de ruido en mecanismos polea banda basado en la  
velocidad y las vibraciones del sistema”

**Trabajo de titulación para optar al título de Ingeniero Industrial**

**Autor:**

Gallegos Yáñez, Omar Fabricio

**Tutor:**

Ing. Luis Stalin López Telenchana, Mgs.

**Riobamba. Ecuador, 2023**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

Yo, Omar Fabricio Gallegos Yánez, con cédula de ciudadanía 020157036-3, autor del trabajo de investigación titulado: **“ANÁLISIS TÉCNICO DEL NIVEL DE RUIDO EN MECANISMOS POLEA BANDA BASADO EN LA VELOCIDAD Y LAS VIBRACIONES DEL SISTEMA”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 08 de Marzo del 2023.



---

Omar Fabricio Gallegos Yánez

C.I: 020157036-3

## DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “ANÁLISIS TÉCNICO DEL NIVEL DE RUIDO EN MECANISMOS POLEA BANDA BASADO EN LA VELOCIDAD Y LAS VIBRACIONES DEL SISTEMA”, presentado por Omar Fabricio Gallegos Yáñez, con cédula de identidad número 020157036-3, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

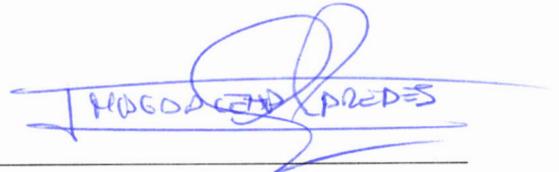
De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 08 de Marzo del 2023

Ing. Manolo Alexander Córdova Suárez, Mgs.  
**PRESIDENTE DE TRIBUNAL DE GRADO**



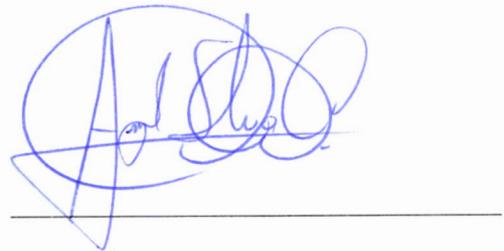
---

Ing. María Magdalena Paredes Godoy, Mgs.  
**MIEMBRO DE TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. Ángel Alberto Silva Conde, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. Luís Stalin López Telenchana, Mgs.  
**TUTOR**



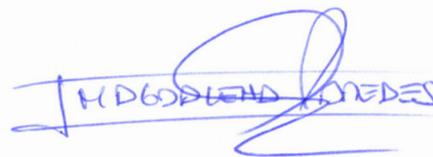
---

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

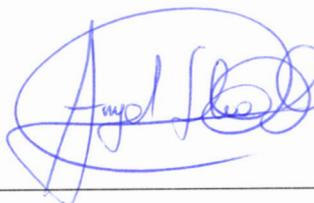
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**ANÁLISIS TÉCNICO DEL NIVEL DE RUIDO EN MECANISMOS POLEA BANDA BASADO EN LA VELOCIDAD Y LAS VIBRACIONES DEL SISTEMA**”, presentado por Omar Fabricio Gallegos Yáñez con cédula de identidad número 020157036-3, bajo la tutoría del Ing. Luis Stalin López Telenchana; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 08 de Marzo de 2023

Ing. María Magdalena Paredes Godoy, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Ing. Ángel Alberto Silva Conde, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Ing. Luis Stalin López Telenchana, Mgs.  
**TUTOR**



## CERTIFICADO ANTIPLAGIO

Yo, Ing. Luis Stalin López Telenchana, Mgs, Docente de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería, en la Universidad Nacional de Chimborazo.

### CERTIFICO

Que, **GALLEGOS YÁNEZ OMAR FABRICIO** con CC: **020157036-3**, estudiante de la Carrera **INDUSTRIAL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“ANÁLISIS TÉCNICO DEL NIVEL DE RUIDO EN MECANISMOS POLEA BANDA BASADO EN LA VELOCIDAD Y LAS VIBRACIONES DEL SISTEMA”**, y este cumple con el **1%** de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 08 de Marzo del 2023



---

Ing. Luis Stalin López Telenchana, Mgs,  
**TUTOR DEL PROYECTO**

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo se lo dedico a **Dios** y al **Arcángel San Miguel** por permitirme estar aquí, seguir adelante cada día a pesar de las adversidades y por cuidarme en cada paso que doy.*

*A mis padres, **Leoncio Gallegos** y **Gladys Yáñez**, por su ardua labor de apoyarme incondicionalmente con mucha generosidad y amor, los cuales me inculcaron valores de perseverancia, trabajo, respeto, mediante esto forjaron y arraigaron mis principios que forman parte de mi persona, además de brindarme sus consejos y deleitarme con sus experiencias que son un pilar fundamental para seguir en el camino adecuado a lo largo de mi vida diaria, estudiantil y en mis distintas etapas de formación académica.*

*A mi hermano, **Steven Gallegos**, por su apoyo incondicional, buenos momentos y vivencias sin igual en el sinnúmero de ocasiones a lo largo de nuestras vidas.*

*A mi familia en general, que están pendientes siempre, con sus palabras de aliento buenos deseos, consejos y apoyo de distintas maneras, los cuales forman parte de mis aciertos, derrotas y que los llevo en mi corazón siempre.*

*A todos los Docentes y amigos, que me acompañaron en mi formación académica con su apoyo en momentos más cruciales de mi vida.*

**Omar Fabricio Gallegos Yáñez**

## **AGRADECIMIENTO**

*A mi querida, Universidad Nacional de Chimborazo, quien me abrió sus puertas de manera incondicional, brindándome una formación de calidad, con sus distintos profesionales que forman parte de esta alma mater, en especial a los Docentes de la Carrera de Ingeniería Industrial, quienes de manera generosa fueron una pieza clave en cada uno de los niveles que atravesé a lo largo de mi formación académica en esta institución.*

*A mi Tutor de Tesis, Ing. Luis López, Mgs. Quien con su conocimiento, apoyo desinteresado y seguimiento paso a paso, me motivo para seguir adelante en mi trabajo de investigación, ya que con su guía y experiencia se logró afianzar el proyecto de tesis.*

*A mis miembros de tribunal, Ing. Ángel Silva, Mgs. e Ing. Magdalena Paredes, Mgs. Quienes fueron una guía esencial y oportuna, compartiéndome sus conocimientos, aportaron de gran manera a efectuar varias mejoras significativas y con ello obtener grandes resultados en mi proyecto de tesis.*

***Omar Fabricio Gallegos Yáñez***

# ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
APROBACIÓN POR PARTE DEL TUTOR	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN.....	17
1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.1. Problema.....	18
1.2. Formulación del problema.....	18
1.3. Justificación.....	18
1.4. Objetivos.....	20
1.4.1. Objetivo general .....	20
1.4.2. Objetivos específicos.....	20
2. Capítulo II: Marco teórico .....	21
2.1. Antecedentes de la investigación.....	21
2.2. Estudio del estado del arte .....	22
2.3. Fundamentos Teóricos.....	25
2.3.1. Mecanismo de Transmisión de movimiento por bandas y poleas. ....	25
2.3.2. Mecanismo de transmisión de movimiento por cadena.....	25
2.3.3. Mecanismo de transmisión de movimiento por engrane .....	26
2.3.4. Ruido .....	27
2.3.5. Sonómetro.....	28
2.3.6. Vibraciones.....	29
2.3.7. Análisis ANOVA.....	30

2.4. Hipótesis de investigación .....	31
2.5. Variables .....	31
3. CAPITULO III: METODOLOGÍA .....	32
3.1. Diseño de la investigación .....	32
3.2. Tipo de investigación .....	32
3.2.1. Investigación con enfoque cuantitativo .....	32
3.3. Población y Muestra .....	33
3.4. Técnicas de recolección de datos.....	33
3.4.1. Operacionalización de variables .....	34
3.4.2. Matriz de recolección de datos para análisis ANOVA de dos factores.....	34
3.4.3. Matriz de recolección de datos para análisis ANOVA Unifactorial .....	35
3.5. Módulo de Ensayos .....	35
3.6. Construcción del módulo de ensayos .....	36
3.6.1. Construcción de la base de soporte .....	36
3.6.2. Montaje del motor y mecanismo reductores de velocidad .....	37
3.6.3. Montaje del molino de granos .....	38
3.6.4. Implementación del sistema eléctrico.....	38
3.7. Técnicas de análisis e interpretación de la información .....	39
3.8. Recolección de datos para ANOVA de dos factores .....	39
3.8.1. Hipótesis de normalidad ANOVA de dos factores.....	40
3.8.2. Hipótesis de homogeneidad ANOVA de dos factores .....	41
3.8.3. Hipótesis para ANOVA de dos factores.....	42
3.9. Recolección de datos para ANOVA de un factor .....	44
3.9.1. Hipótesis de normalidad ANOVA de un factor.....	45
3.9.2. Hipótesis de homogeneidad ANOVA de un factor .....	45
3.9.3. Hipótesis ANOVA de un factor .....	46
3.10. Niveles de ruido.....	47
3.10.1. Niveles de ruido permitidos de acuerdo con el reglamento Ecuatoriano .....	48
4. CAPITULO IV: RESULTADOS .....	49
4.1. Análisis e interpretación ANOVA de dos factores.....	49
4.1.1. Supuesto de normalidad .....	49
4.1.2. Supuesto de homogeneidad de varianzas .....	50
4.1.3. Análisis de la tabla ANOVA .....	52
4.2. Análisis e Interpretación ANOVA de un factor .....	55

4.2.1. Supuesto de Normalidad.....	55
4.2.2. Supuesto de Homogeneidad .....	56
4.2.3. Análisis de la tabla ANOVA .....	57
4.3. Comparación de los niveles de ruido obtenidos del módulo de ensayos con el reglamento vigente .....	59
4.4. Contraste de hipótesis de investigación.....	59
5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	61
5.1. Conclusiones.....	61
5.2. Recomendaciones .....	62
REFERENCIAS.....	63
ANEXOS .....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Especificaciones del número de datos ANOVA de dos factores .....	33
<b>Tabla 2:</b> Operacionalización de variables .....	34
<b>Tabla 3:</b> Matriz de recolección de datos ANOVA de dos factores .....	35
<b>Tabla 4:</b> Matriz de recolección de datos para análisis ANOVA Unifactorial .....	35
<b>Tabla 5:</b> Detalle de la base de soporte metálica .....	36
<b>Tabla 6:</b> Características técnicas del motor y los mecanismos reductores de velocidad....	38
<b>Tabla 7:</b> Características técnicas del sistema eléctrico.....	39
<b>Tabla 8:</b> Valores para el análisis ANOVA de dos factores .....	40
<b>Tabla 9:</b> Prueba de normalidad Shapiro – Wilk .....	41
<b>Tabla 10:</b> Prueba de Levene ANOVA de dos factores.....	41
<b>Tabla 11:</b> Parámetros de la matriz de datos ANOVA de dos factores .....	42
<b>Tabla 12:</b> Sumas, promedios y totales ANOVA de dos factores .....	43
<b>Tabla 13:</b> Sumatoria de las réplicas ANOVA de dos factores .....	43
<b>Tabla 14:</b> Promedio de la sumatoria de las réplicas ANOVA de dos factores.....	44
<b>Tabla 15:</b> Análisis de varianza de dos factores .....	44
<b>Tabla 16:</b> Valores para el análisis ANOVA de un factor .....	45
<b>Tabla 17:</b> Prueba de Shapiro - Wilk ANOVA de un factor.....	45
<b>Tabla 18:</b> Prueba de Levene ANOVA de un factor.....	46
<b>Tabla 19:</b> Parámetros de la matriz de datos ANOVA de un factor .....	46
<b>Tabla 20:</b> Sumas promedios y total ANOVA de un factor.....	47
<b>Tabla 21:</b> Análisis de varianza de un factor .....	47
<b>Tabla 22:</b> Niveles de presión sonora permitidos por jornada laboral.....	48
<b>Tabla 23:</b> Comparaciones múltiples_ velocidad .....	53
<b>Tabla 24:</b> Sub- conjuntos homogéneos _velocidad .....	53
<b>Tabla 25:</b> Comparaciones múltiples_ condiciones de trabajo - tensión de la banda .....	54
<b>Tabla 26:</b> Subconjuntos homogéneos _ condiciones de trabajo_ tensión de banda.....	54
<b>Tabla 27:</b> Comparaciones múltiples_ ANOVA de un factor _vibraciones .....	58
<b>Tabla 28:</b> Subconjuntos homogéneos _ vibraciones .....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> :Mecanismo transmisor de movimiento por banda y polea .....	25
<b>Figura 2</b> :Mecanismo de transmisión de movimiento por cadena.....	26
<b>Figura 3</b> : Transmisión de movimiento por engranajes .....	27
<b>Figura 4</b> : Tipos de prueba de hipótesis.....	30
<b>Figura 5</b> : Tipos de ANOVA .....	31
<b>Figura 6</b> : Construcción de la base de soporte .....	37
<b>Figura 7</b> : Montaje del motor eléctrico y mecanismos reductores de velocidad .....	37
<b>Figura 8</b> : Montaje del molino de granos.....	38
<b>Figura 9</b> : Implementación del sistema eléctrico .....	39
<b>Figura 10</b> : Función de densidad de probabilidad para una distribución F .....	49
<b>Figura 11</b> : Normalidad de datos esperada vs observada ( V1) .....	50
<b>Figura 12</b> : Diagrama de cajas y bigotes ruido vs velocidad.....	51
<b>Figura 13</b> : Diagrama de cajas y bigotes ruido vs tensión de banda.....	51
<b>Figura 14</b> : Medias marginales _ ANOVA de dos factores.....	52
<b>Figura 15</b> : Normalidad de datos esperada_ Grupo A .....	56
<b>Figura 16</b> : Diagrama de cajas y bigotes ruido vs vibración .....	56
<b>Figura 17</b> : Medias marginales _ ANOVA de un factor.....	57
<b>Figura 18</b> : Nivel sonoro_ tiempo de exposición por jornada .....	59

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Graficas de normalidad por grupos ANOVA de dos factores.....	66
<b>Anexo 2:</b> Graficas de normalidad por grupos ANOVA Unifactorial .....	69
<b>Anexo 3:</b> Valores críticos de Tabla_ Shapiro-Wilk .....	70
<b>Anexo 4:</b> Valores críticos de Tabla_ Distribución F.....	71
<b>Anexo 5:</b> Cuantiles de la distribución de Tukey .....	72
<b>Anexo 6:</b> Módulo de pruebas .....	73
<b>Anexo 7:</b> Instrumentos de medida .....	74
<b>Anexo 8:</b> Toma de Datos .....	76

## RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se planteó como objetivo principal analizar técnicamente el nivel de ruido en mecanismos polea-banda basados en la velocidad y las vibraciones del sistema. Se empezó por efectuar una revisión bibliográfica acerca de los niveles de ruido producidos por estos dispositivos y su influencia en el ambiente laboral, posterior a ello se determinó el tipo y enfoque de la investigación consecuente con las variables de estudio, pronto se realizó la descripción del banco de pruebas con sus respectivos componentes mecánicos y eléctricos para posteriori continuar con la toma de datos de ruido en unidades de decibeles (dB) en una matriz de datos previamente diseñada tanto para uno y dos factores respectivamente, las variables independientes velocidad y condiciones de trabajo se consideró para el análisis de dos factores mientras que las vibraciones mecánicas se estableció para el ANOVA Unifactorial, seguido se procedió a plantear las hipótesis de normalidad, homogeneidad y significancia para cada análisis que se han de aceptar o rechazar en función a los valores obtenidos de los cálculos realizados en cada una de ellas. De acuerdo con el análisis de varianza se pudo comprobar que las variables independientes influyen significativamente sobre la variable de respuesta es decir al modificar la velocidad, vibraciones o condiciones de trabajo el nivel de presión sonora también sufre alteraciones, hay que señalar que en los dos análisis se cumplía los supuestos de normalidad y homocedasticidad indispensables para el ANOVA, además se pudo constatar que los niveles de ruido producidos por la unidad mecánica no sobrepasa el límite permitido en el reglamento Ecuatoriano vigente que fija en 85 db, en caso que se sobrepase este valor se debe considerar el tiempo de exposición y reflexionar sobre el uso de tapones auditivos.

**Palabras clave:** Sistema de transmisión de movimiento, Ruido, vibraciones Análisis de varianza, Normalidad de datos, Homogeneidad de varianzas

## ABSTRACT

In this investigation work, the main objective was to technically analyze the noise level in pulley-band mechanisms based on the speed and vibrations of the system. It began by carrying out a bibliographical review about the noise levels produced by these devices and their influence on the work environment, after that the type and focus of the investigation consistent with the study variables was determined, soon the description of the test bench with its respective mechanical and electrical components to later continue with the noise data collection in units of decibels (dB) in a data matrix previously designed for both one and two factors respectively, the independent variables speed and working conditions was considered for the analysis of two factors while the mechanical vibrations were established for the Unifactorial ANOVA, followed by proceeding to propose the hypotheses of normality, homogeneity and significance for each analysis that must be accepted or rejected based on the values obtained from the calculations made in each of them. According to the analysis of variance, it was possible to verify that the independent variables significantly influence the response variable, that is, by modifying the speed, vibrations or working conditions, the sound pressure level also suffers alterations. It should be noted that in the two analyzes the assumptions of normality and homoscedasticity essential for the ANOVA were fulfilled, in addition it was possible to verify that the noise levels produced by the mechanical unit do not exceed the limit allowed in the current Ecuadorian regulation that sets at 85 db, in case this value is exceeded exposure time should be considered and consideration should be given to the use of earplugs.

**Keywords:** Motion transmission system, Noise, vibrations Analysis of variance, Normality of data, Homogeneity of variances



Reviewed by:

Lic. Sandra Abarca Mgs.

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0601921505

## INTRODUCCIÓN

En el área industrial los trabajadores a menudo se encuentran expuestos a diversas condiciones que a lo largo del tiempo les puede traer complicaciones de salud, por otro lado, los empleadores están en la obligación de contrarrestar estos efectos adversos mediante la prevención de riesgos laborales.

Las acciones del ingeniero industrial están encaminadas a mejorar el ambiente y confort laboral, uno de los elementos que más incomodidad genera al personal durante la jornada de trabajo es el ruido producido por la maquinaria de una industria en particular, este elemento (ruido) ocasiona malestar, irritación al individuo y con el paso del tiempo afecta notablemente al oído humano causando incluso la pérdida parcial o total de la audición enfermedad conocida en el área médica como la hipoacusia o sordera.

Es conocido que los sistemas más empleados en las industrias son aquellos que transmiten movimiento ya sea por banda-polea, por cadena o por engranes impulsados generalmente por motores eléctricos de tipo MAJA ( Motor Asíncrono Jaula de Ardilla), estos mecanismos inevitablemente producen ruido por la acción misma que realizan, sin embargo es de predecir que mientras más sistemas trabajen en simultáneo el ruido aumentará de forma exponencial, además las condiciones operativas o las vibraciones también puede influir en menor o mayor proporción en la reducción o aumento del nivel de presión sonora en un determinado ambiente laboral.

De acuerdo con lo antes expuesto, es de vital importancia conocer que factores son los responsables en la alteración del nivel de ruido, este cometido se consigue a través de comparaciones empleando técnicas estadísticas como el ANOVA que permite verificar el efecto que tiene los factores o variables independientes sobre una variable de respuesta o dependiente.

# **1.CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1.Problema**

En la actualidad se ven reflejados varios aspectos que facilitan la producción en sus distintas áreas y evidencian la evolución de la industria a nivel mundial, con ello se han introducido un sin número de riesgos que en muchos casos no son perceptibles a simple vista y en el peor de los ámbitos no son controlados lo cual afecta directamente a los trabajadores ya que comprometen su bienestar y salud.

La exposición prolongada y constante a sonidos fuertes es la causa de enfermedades auditivas sobre todo en el área industrial en donde sin lugar a duda existe máquinas y mecanismos que las provoca, sin embargo, en la mayoría de las empresas se desconoce los principales factores que influyen en la producción de ruido por encima de los niveles óptimos y en consecuencia los trabajadores se exponen a niveles sonoros altamente perjudiciales.

A nivel mundial, La Organización Mundial de la Salud (OMS), define que la exposición prolongada al ruido causa estrés o puede ser la causa de dificultades a la hora de conciliar el sueño ocasionada por el tinnitus, además de la pérdida de audición a largo plazo.

A nivel nacional, El Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) en un estudio publicado en el año 2018 asegura que la hipoacusia neurosensorial ocasionada por ruido industrial fue la segunda causa de enfermedades ocupacionales entre los años 2015 y 2017, lo cual evidencia la falta de estudio sobre los factores más influyentes en la producción de altos niveles sonoros y acciones que ayuden a contrarrestar los efectos adversos de la exposición al ruido industrial.

## **1.2.Formulación del problema**

¿La velocidad y las vibraciones influyen en la variación de ruido?

## **1.3.Justificación**

Uno de los propósitos de la Universidad Nacional de Chimborazo es el de realizar investigaciones en diferentes áreas del conocimiento a fin de poder brindar soluciones a diferentes problemáticas del sector industrial, uno de ellos es el ruido producido por distintos

sistemas mecánicos que afectan directamente a los trabajadores de las diversas áreas de producción generando un ambiente laboral inadecuado.

El presente trabajo esta encauzado en determinar si el ruido producido por un sistema de transmisión de movimiento es debido a las vibraciones propias del sistema, a la velocidad que trabajan o las condiciones operativas del mismo, además de establecer cuál de estos dos factores tiene mayor incidencia en la producción del ruido con la finalidad que el sector industrial conozca de ello y se pueda plantear soluciones que ayuden a mitigar esta problemática.

La mayor parte de las industrias tienen entre sus activos físicos mecanismos de transmisión de movimiento ya sea por engranes o por banda-polea impulsados por motores eléctricos, de acuerdo con ello se plantea la toma de datos en un módulo de características similares construido a propósito de la presente investigación, en donde se propone como variable dependientes o respuesta el ruido mientras que las variables independientes son las vibraciones y la velocidad de trabajo y las condiciones operativas del sistema mecánico.

Un trabajador que se encuentre en un área de trabajo con un ruido ensordecedor y constante esta propenso a sufrir estrés laboral, tinnitus y a largo plazo puede perder la audición de forma parcial o total, por tal razón el presente trabajo busca determinar los factores de mayor incidencia en la producción de niveles de ruido inapropiados para un ambiente laboral en contraste con una normativa vigente que es el Decreto Ejecutivo 2393 del año 2015.

## **1.4.Objetivos**

### ***1.4.1.Objetivo general***

Analizar técnicamente el nivel de ruido en mecanismos polea banda basados en la velocidad y las vibraciones del sistema.

### ***1.4.2.Objetivos específicos***

- Desarrollar la revisión bibliográfica en referencia a niveles de ruido generados en sistemas de transmisión de polea banda y su influencia en el ambiente laboral.
- Determinar el comportamiento de ruido en condiciones controladas de variación de vibraciones.
- Analizar la dependencia del ruido en función del nivel de vibración y de la velocidad del sistema de transmisión intervenido mediante el análisis de ANOVA multifactorial.
- Realizar una comparativa según el reglamento vigente de exposición al ruido en los trabajadores con los datos obtenidos en el módulo de ensayo.

## **2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes de la investigación**

El ruido es un problema latente para la salud de los trabajadores en la Industria la cual tiene varios factores que lo originan, en la presente investigación se considera al ruido como una variable dependiente, de la misma manera es la causante de varias enfermedades silenciosas ocasionada por la exposición cotidiana a distintos decibeles (dB) de ruido, por otro lado, se tomó como variables independientes la velocidad y vibración mecánicas del sistema que a pesar que son imperceptibles pueden generar alteraciones en los niveles de presión sonora que los operarios perciben y se exponen a diario ocasionando graves problemas de audición.

En la investigación desarrollada por Pazmiño (2013), con el tema : Estudio de ruido y vibraciones en la empresa Muebles León para mejorar el ambiente laboral; Se puede evidenciar que se emplearon técnicas que permitan evaluar los riesgos producidos por ruido y vibración, esto debido a que son los riesgos más comunes dentro del emporio industrial dedicado a la elaboración de mobiliario metálico para hogar, oficina y hospitalario, basadas en normas sobre seguridad e higiene industrial que se rigen en nuestro país tales como: el decreto 2393/2009, el decreto 1311/2005 y el Decreto 286/2006.

En dicha investigación se abordó un tema crucial referente a mecanismo de evaluaciones logrando identificar riesgos intolerables ocasionado por ruido y vibración en ciertos ambientes de trabajo, en tales sitios existía unidades mecánicas con mecanismos de transmisión que trabajaban a diversas velocidades, mismos que producía una exposición ante riesgos físicos ocasionando problemas de salud a los empleados. Pazmiño (2013)

En la tesis elaborada por Orozco (2015), con el tema: “Análisis de la contaminación de ruido ocupacional para mejorar el ambiente laboral en la empresa Tenería Díaz CÍA. LTDA”.; en dicha industria se realizó un estudio mediante el cual se pretendía conocer los niveles sonoros al que se exponían los colaboradores en una jornada de trabajo, para ello se empleó un Sonómetro de tipo PCE-322A tomando en cuenta la nota técnica NTP 270, los resultados obtenidos permitieron establecer que en las zonas de trabajo existía niveles de ruido por encima de los estándares dictados por la normativas vigentes, aquellos ambientes

laborales con mayor índice de niveles de presión sonora fueron los siguientes: descarnado con 90,89 decibeles (dB), estacado con 93,80 decibeles (dB) y lijado con 90,27 decibeles (dB)

Las medidas preventivas y correctivas en áreas y puestos de trabajo se implantaron de acuerdo con la Norma UNE-EN\_ISO 11690 (práctica recomendada para el diseño de puestos de trabajo con nivel de ruido que contienen maquinaria) Orozco (2015)

La tesis elaborada por Meza & Sedano (2021), con el tema: Evaluación de los niveles de presión sonora generados por el parque automotor en las plazas y parques de la ciudad de Huancavelica, 2020; tuvo por objetivo evaluar en qué plaza o parque existe mayor nivel de presión sonora generados por el parque automotor en la ciudad de Huancavelica 2020, cabe mencionar que se hará uso del estadístico ANOVA con un factor y una prueba Pos Hoc de Tukey, con el fin de contrastar la hipótesis.

En los resultados hallados se pudo observar que hay diferencia significativa en los cinco grupos (A, B, C, D y E); donde los niveles más altos se obtuvieron en el parque Túpac Amaru con una media de 64.98 decibeles (dB) y de la misma forma en la plaza de Santa Ana se obtuvo niveles de ruido de 58.68 decibels (dB) Meza & Sedano (2021).

La tesis elaborada por Palacios (2019), con el tema: Evaluación de la exposición al ruido en el área de metal mecánica de la empresa Indurama mediante norma NTE INEN-ISO 9612:2009 (Primera edición 2014-01) ; se determinó que los resultados obtenidos varían conforme la máquina que el operador utiliza, pero en contexto se evidencia que el nivel de ruido presente en el área de Metal Mecánica está por encima del nivel de ruido permitido acorde a normativa legal vigente en el país, esta exposición afectara de distintas maneras a cada colaborador debido a que los factores que influyen como el nivel e intensidad de exposición al ruido, frecuencia, edad del trabajador, turnos, antecedentes patológicos del oído del receptor y sensibilidad del trabajador influyen indistintamente en cada persona, a esto sumamos el desconocimiento de consecuencias por la sobre exposición al ruido.

## **2.2.Estudio del estado del arte**

El ambiente laboral en las industrias inevitablemente está acompañado de un ruido indeseado producido por diversas maquinas o mecanismos transmisores de movimiento

mismos que son indispensables para las industrias, los niveles de ruido que percibe el ser humano pueden deberse a varios factores tales como: vibraciones, velocidad, dimensiones del mecanismo, condiciones de operación, entre otras.

En ocasiones se tiende hablar del ruido como una de las causas que genera problemas de audición a las personas, a raíz de ello ha surgido diversos estudios que tratan de determinar la dependencia de este elemento.

(Batlle, 2017) En su trabajo de titulación de pregrado realiza la construcción de un ventilador centrífugo con transmisión por banda y polea en donde recalca la importancia de reducir los ruidos producidos por el equipo mecánico considerando que los niveles sonoros considerados no perjudiciales para la salud del ser humano son aquellos que se encuentran por debajo de los 45 decibeles (dB), a partir de los 55 decibeles (dB) empiezan a ser molestos, mientras que al sobrepasar los 85 decibeles (dB) estos empiezan a generar efectos nocivos sobre la salud de las personas. Si bien es cierto en dicha investigación no establece como fuente principal del ruido producido por el equipo al mecanismo de transmisión de movimiento más bien indica que el origen de este al desequilibrio estático y dinámico del rodete, desalineación del rodete, vibraciones forzadas de la carcasa, velocidad de rotación. Sin embargo, hace énfasis en la desalineación de las poleas y tensión inadecuada de la banda como las causas que provoca fallos en los demás componentes del ventilador ocasionando niveles sonoros imprevistos y fuera de lo normal. Finalmente concluye dictando parámetros para mantener los niveles de ruido dentro de los rangos previstos en concordancia con el reglamento vigente, donde se destaca la revisión periódica de la tensión de la banda y alineación de las poleas.

Los niveles de ruido generados por diversos sistemas mecánicos ha sido motivo de análisis y estudio por varios autores, por tal razón es propicio revisar tesis de posgrado misma que se reconoce con el nombre de “*Medida, Análisis Control del Ruido Industrial*” realizado por (Quintana, 2019), en la universidad de Poznań exactamente en el laboratorio de máquinas y herramientas en donde se realiza varios experimentos a fin de poder determinar el nivel de ruido producido en dicho lugar y al cual están expuestos los usuarios tomando como base una jornada laboral promedio de 8 horas. En dicha investigación se concluye que las maquinarias del taller en donde algunas de ellas cuentan con mecanismos de transmisión de movimiento por banda-polea en su mayoría producen un ruido por fuera de los límites

permitidos, además cuando funcionan en simultaneo y presentan fallos (desalineación de poleas o tensión inadecuada de la banda) generan un ruido anormal afectando no solo a dicha área sino también a los laboratorios aledaños.

Magnatte (2019) en su tesis ingenieril que responde al nombre de *“Implementación Del Sistema De Reducción De Ruido Mediante Automatización Mecánica Del Molino Polveador N°1 En El Área De Preparación Mecánica De Muestras En Planta Belén, Chala – Arequipa”* anuda sus esfuerzos en reducir el ruido producido por un molino Polveador mediante la automatización del mismo, para lograr este cometido se reemplazó el sistema de transmisión de movimiento compuesto por banda \_ polea por un motorreductor, además de realizar un arranque de motor suave ( soft estárter) mediante el empleo de un variador de frecuencia. La investigación concluye con resultados positivos en donde el nivel ruido inicial que en principio era de 92,8 decibels (dB) y se encontraba por encima de los niveles permitidos de 83 decibels (dB) logró reducirse hasta los 70.4 decibels (dB).

De acuerdo con Escobedo (2018) La fuente que ocasiona el ruido se puede identificar mediante varias técnicas una de ellas es mediante la vibración propia de los sistemas mecánicos, por tal razón vale la pena revisar el trabajo de titulación de pregrado realizado por el autor mismo que responde al nombre de *“Influencia de la Vibración En La Identificación De Las Fuentes De Ruido Elevado En Una Nave Industrial”* en donde se plantea como uno de sus objetivos el reconocer las principales causas de ruido de los diversos equipos de la nave industrial con la finalidad de poder tomar acciones que ayuden a mitigar esta problemática, Concluyendo que la herramienta de corte y conformación de piezas perteneciente a una prensa mecánica es la que mayor genera vibración por lo tanto ocasiona más ruido, a razón de ello se planteó como solución cambiar la forma de instalación de este elemento o su vez utilizar equipo de protección auditiva.

De acuerdo con la bibliografía revisada se puede apreciar que el aumento o disminución del ruido se influenciado directamente por sistemas mecánicos específicos de las máquinas, entre ellos se destacan las transmisiones de movimiento por banda y polea que a pesar de que se consideran menos ruidosas un modo de falla de esta puede acarrear una serie de efectos adversos que derivan directamente en el aumento del nivel sonoro en una zona en particular.

## 2.3.Fundamentos Teóricos

### 2.3.1.Mecanismo de Transmisión de movimiento por bandas y poleas.

Según Cruz (2019) un mecanismo de transmisión de movimiento se puede diseñar en diversas formas, configuraciones y materiales, el más sencillo de todos se compone únicamente por dos poleas enlazadas mediante una correa o banda en donde la rueda conductora esta acoplada directamente al motor, mientras que la conducida se acopla al elemento que requiere el movimiento. Este sistema que transfiere movimiento posee las siguientes partes:

- Polea conductora
- Polea conducida
- Polea loca o tensora (solo si es necesario)
- Banda, correa o faja

Cabe señalar que las partes que se mencionan anteriormente corresponden a un sistema simple ya que se puede fabricar en distintas configuraciones que pueden aumentar proporcionalmente sus elementos constitutivos.

**Figura 1:** Mecanismo transmisor de movimiento por banda y polea



*Nota:* El gráfico que se muestra corresponde a un mecanismo reductor de velocidad puesto que la polea conducida posee un radio mayor en comparación con la conductora. Tomado de *Tecnología*, por Hernández et al; 2018

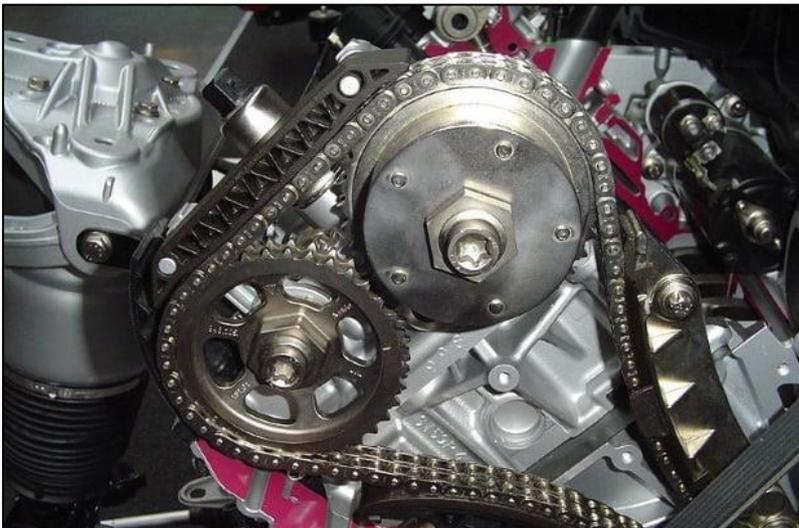
### 2.3.2.Mecanismo de transmisión de movimiento por cadena

De acuerdo con (Patiño et al., 2017) Este mecanismo no es más que un conjunto de dos ruedas dentadas llamadas piñones unidos por una cadena sin fin o también conocida

como cerrada, en este caso los eslabones o dientes engranan con los engranajes, así cuando gira una rueda la otra lo hace igual de acuerdo con la relación de transmisión del sistema. Las ventajas de estos dispositivos es que no existe deslizamiento por lo tanto no sufren deformaciones como si ocurre con las correas o bandas, se mantiene la relación de la velocidad muy precisa entre los árboles impulsor e impulsado. Además, impone menos carga en los cojinetes, rodamientos o baleros, reduciendo notablemente los fallos y paros imprevistos por mantenimiento correctivo. En términos generales estas unidades mecánicas se componen por los siguientes elementos:

- Piñón conductor
- piñón conducido
- Cadena

**Figura 2:** Mecanismo de transmisión de movimiento por cadena



**Nota:** El gráfico que se muestra representa transmisión de movimiento por cadena empelado en motores de combustión interna para sincronizar el eje del cigüeñal con el árbol de levas, hay que mencionar que estos elementos son más fiables que las bandas y poleas, sin embargo, son muy ruidosos. Tomado de *ingeniería mecánica*, por Castro, 2019.

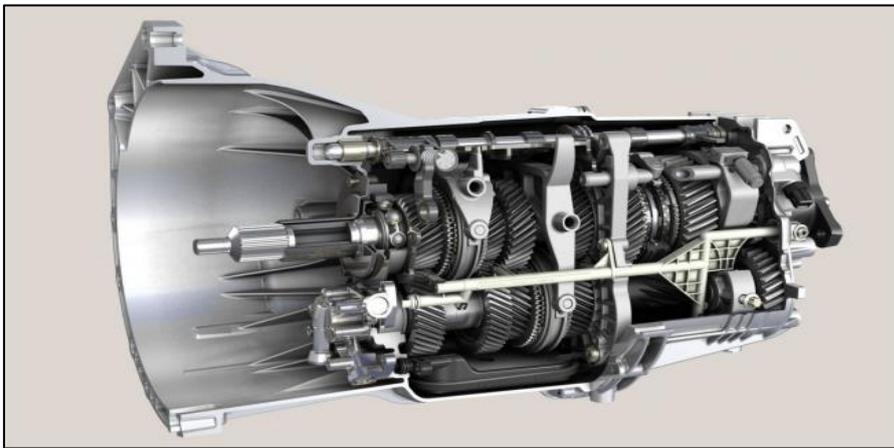
### **2.3.3. Mecanismo de transmisión de movimiento por engrane**

Según Cabrera (2015) La transmisión por engrane es un mecanismo que en su configuración más simple consta únicamente de dos ruedas dentadas que engranan entre sí, empujando uno al otro y girando en dirección opuesta, transmitiendo el movimiento de rotación entre sus ejes: paralelo, coincidentes o cruzados. Estos sistemas son ampliamente utilizados en la caja de cambios de vehículos livianos y pesados, además son empleados en algunas máquinas como tornos y fresadoras. Es usual nombrar piñón a la rueda más pequeña

y a la grande rueda dentada, si el diámetro de esta es infinito se obtiene una cremallera (barra dentada). Un engrane se compone de los siguientes elementos:

- **Diente de un engranaje:** Este elemento tiene como propósito realizar un esfuerzo de empuje, permitiendo la transmisión de potencia entre los ejes conductor y conducido
- **Circunferencia exterior:** Limita la parte exterior del engranaje.
- **Circunferencia interior:** Limita el pie del diente.
- **Circunferencia primitiva:** Es donde se engranan los dientes

**Figura 3:** Transmisión de movimiento por engranajes



**Nota:** El gráfico corresponde a una caja de cambios de un vehículo, en donde se cambia el movimiento manualmente variando así la velocidad del coche, Tomado de *tecnología industrial* por Cabrera, 2015

#### **2.3.4. Ruido**

Marin-Mamani et al (2021) Brinda una definición del sonido basado en la terminología de la real academia de la lengua española donde menciona que es una sensación que tiene lugar en el oído humano ocasionado por una vibración de los cuerpos que se transmiten por un medio de carácter elástico entre ellos el aire. Sin embargo, cuando este elemento se propaga o difunde de manera inconexa ocasiona lo que comúnmente se conoce como ruido, este fenómeno está relacionado con la acústica que es un área de la física que se encarga del estudio de las ondas que generan el sonido.

De acuerdo con Hernández y González (2007) El ruido se considera una sensación auditiva desagradable y molesta que genera graves afecciones de salud para el ser humano, ciertos autores lo consideran como un sonido no deseado y en tal caso es susceptible de

medirse de acuerdo con una frecuencia y amplitud de onda sonora. Los efectos perjudiciales que puede presentarse en la agudeza auditiva de un individuo dependen de varios factores como el tiempo de exposición, susceptibilidad individual, pureza, intensidad y frecuencia. Por otro lado, desde el año 1150 se recogen las primeras evidencias de afecciones auditivas causadas por el ruido al ser humano, lo que conlleva a pensar que esta problemática ya era conocida desde la época artesanal. Sin embargo, hoy en día los esfuerzos se centran en mejorar el ambiente laboral reduciendo en lo posible el ruido y dotando a los empleados o trabajadores de equipos que permita contrarrestar los efectos adversos del ruido.

Este elemento se puede catalogar en 4 niveles de acuerdo con el nivel de presión sonora, como se menciona a continuación:

- **Nivel de intensidad elevado:** a este nivel un individuo puede tener graves problemas de salud a tal punto de llegar a perder la audición
- **Nivel de intensidad intermedio:** este nivel está en un rango de valores que ronda los 40 hasta los 90 fonios y se considera un ruido soportable en cortos periodos de exposición.
- **Nivel de intensidad bajo:** se encuentra en valores inferiores a los 40 fonios y no ocasionan ninguna complicación de salud aun cuando se tenga largos periodos de exposición.
- **Nivel cero absolutos:** Es un nivel teórico e ideal

### ***2.3.5.Sonómetro***

Según Gilaberth et al (2018) El sonómetro es un equipo electrónico que permite conocer el nivel de presión sonora en un determinado lugar o ambiente en intervalos de tiempo o instantes dados, estos elementos están compuestos por transductor de entrada, circuitos amplificadores, acondicionadores de señal y una pantalla digital que muestra los valores obtenidos. Estos dispositivos los hay de diferentes tipos, sin embargo, los más empleados son los generales mismos que pueden realizar mediciones instantáneas en unidades de decibeles (dB), además son versátiles en cuanto manejo puesto que ofrecen una fácil interpretación de los datos por los usuarios.

Acontinuacion se describe las partes mas importantes de este equipo:

- **Micrófono:** Es la parte mas importante y tiene por objeto transformar las ondas de presion sonora y convertirlas en una magnitud eléctrica.
- **Amplificador:** El amplificador es un circuito integrado que tiene como proposito detectar aquellos niveles bajos de sonido manteniendo una amplificación constante en el tiempo de estos.
- **Filtros de frecuncia:** Es una serie de circuito electronicos que permiten que el dispositivo puede asemejarse en lo posible a una respuesta auditiva del oido humano.
- **Detector de señal:** Este componente se le conose tambien con el nombre de de convertidor y es el responsable de covertir el valor de una señal en particular en un valor medio cuadrático
- **Indicador:** Este elemento se encarga de mostrar el valor de la señal que previamente ha hecho su paso por los diveros circuitos electrónicos del equipo, se puede mostrar en una pantalla de forma analogica o digital.

### **2.3.6. Vibraciones**

Una vibración es producto de una fuerza de excitación que tiene su origen a la externa o interna de un objeto, sin embargo, en términos generales partiendo de la física clásica se lo puede considerar como movimiento oscilatorio haciendo alusión al movimiento de un péndulo que se mueve alrededor de una posición de equilibrio. (White, 2010)

De acuerdo con Araya y Medina (2020) Es un movimiento que tiene lugar en tres direcciones posibles que son: longitudinal, lateral y vertical o a su vez en los ejes X, Y, Z tomando de referencia un plano cartesiano, además se puede medir la frecuencia en ciclos por segundo (hertzios) de acuerdo con el sistema internacional. Por otro lado, la oscilación de un cuerpo ocasiona inevitablemente velocidades en direcciones opuestas que conlleva al objeto a experimentar una aceleración que en la práctica se cuantifica mediante acelerómetros en unidades de metros por segundos al cuadrado. Sin embargo, también se puede obtener este valor (aceleración) partiendo de un valor de frecuencia y desplazamiento, aunque este método solo se emplea en análisis matemáticos más profundos y específicos ya que resulta más conveniente obtener el valor de aceleración directamente, tomando en cuenta que varios equipos ofrecen esta versatilidad.

### 2.3.7. Análisis ANOVA

Según Amat (2016) El análisis ANOVA analices of variance por su denominación en ingles se le conoce como una prueba de contraste de hipótesis o análisis factorial, el creador de esta técnica fue el matemático británico Fisher, esta herramienta es de gran utilidad en un sin número de áreas como la aeroespacial, biología, medicina, entre otras. Consiste en verificar el nivel de significancia que tiene uno o varios factores (variable independiente) sobre una variable de respuesta (o dependiente). El enunciado tentativo de la hipótesis a ser comprobado se plantea teniendo en cuenta el tipo de prueba a realizar, verificando si es de carácter significativa y añadiendo la/s variables dependientes o independientes.

Se puede generar tres tipos de hipótesis ya sea de diferencia predicción o relación en función a de la técnica a emplear.

Figura 4: Tipos de prueba de hipótesis



*Nota:* La gráfica muestra los tipos de hipótesis a plantear en donde se indica la opción diferencia para un análisis ANOVA, Tomado de *RPubs by RStudio por Amat (2016)*

El criterio de decisión para emplearen en un análisis estadístico en particular depende de la cantidad de variables dependientes e independientes del estudio, es así como se tiene ANOVAS de más de un factor y de varias respuestas.

**Figura 5:** Tipos de ANOVA



*Nota:* La gráfica evidencia e ilustra el criterio de decisión para tener en cuenta al momento de elegir uno u otro tipo de ANOVA de acuerdo con el número de variables dependientes e independientes. Tomado de *RPubs by RStudio por Amat* (2016)

## 2.4. Hipótesis de investigación

Si, las vibraciones y la velocidad influyen en la variación de decibels (dB) de ruido.

## 2.5. Variables

Variable independiente: Velocidad, Vibraciones Mecánicas

Variable dependiente: Ruido

### **3.CAPITULO III: METODOLOGÍA**

#### **3.1.Diseño de la investigación**

Se considera experimental puesto que se pretende obtener datos numéricos a partir de un banco de pruebas, este diseño ofrece la versatilidad de poder manipular variables independientes o también conocidas como factores en el análisis ANOVA para determinar el efecto que tiene sobre una variable de respuesta o dependiente.

Las variables independientes en la investigación son la velocidad, las vibraciones y las condiciones operativas del sistema, mientras que la respuesta o efecto es el ruido que produce la unidad mecánica que es susceptible de medirse mediante un dispositivo electrónico denominado sonómetro que arroja valores en unidades de decibeles.

La velocidad se puede modificar variando la velocidad de giro del motor eléctrico mediante un variador de frecuencia, por otro lado, las condiciones de trabajo se pueden ajustar a través de unos desplazamientos laterales que se ubican en las bases de apoyo de los mecanismos reductores de velocidad.

#### **3.2.Tipo de investigación**

Se hace referencia al enfoque de la metodología que puede ser de carácter cualitativo, cuantitativo o a su vez una combinación de ambas de acuerdo con el tipo de datos a emplear, sin embargo, hay que mencionar que estos dos métodos presentan ciertas características en común una de ellas y la más importante es que permiten emitir conclusiones a partir de observaciones o evaluaciones de un fenómeno en particular.

##### ***3.2.1.Investigación con enfoque cuantitativo***

En el presente trabajo de investigación se va a emplear datos numéricos para determinar la dependencia del ruido en función de variables como la velocidad y las vibraciones propias de un sistema mecánico, por tal motivo se plantea un enfoque cuantitativo, además se va a realizar un análisis basado en la estadística inferencial denominado ANDEVA (Análisis de varianza) o ANOVA (Analysis Of Variance) para comprobar la hipótesis previamente establecida.

Los valores se van a obtener a partir de un módulo de pruebas que consiste en un mecanismo reductor de velocidad (banda y polea) es decir con un  $i < 1$  que trasmite su potencia a una a un molino de grano a través de una caja de engranes y un cardan que reduce aún más la velocidad de giro del motor eléctrico.

### 3.3. Población y Muestra

A pesar de que en ciertos casos sobre todo en diseño experimental se demanda de un población y cálculo de una muestra en la presenta investigación al tratarse de un análisis estadístico de inferencia se va a recurrir a las recomendaciones propias de la herramienta ANOVA (Analysis Of Variance) que recomienda un mínimo de corridas o replicas en el caso de la variable respuesta y un cierto número de niveles en el caso de los factores. En caso de análisis Unifactorial se debe considerar al menos 3 grupos de datos con 3 a 5 réplicas cada uno.

**Tabla 1:** Especificaciones del número de datos ANOVA de dos factores

	Replicas o corridas	Niveles
<b>Factores</b>	N. A	3
<b>Respuestas</b>	5	N. A

*Elaborado por: Gallegos, O (2022)*

La Tabla 1 detalla el número de datos a obtener, en donde se especifica un sistema de 3x3 (niveles o grupos) y para la variable respuesta o dependiente 5 réplicas, con ello nos da un total de 45 valores en unidades de decibeles (dB).

### 3.4. Técnicas de recolección de datos

Partiendo del enfoque y diseño de la investigación se procede a recolectar los datos, para ello es necesario operacionalizar las variables de tal forma que se puede establecer una definición puntual, la categoría, indicadores y las técnicas e instrumentos de cada una de ellas, además se va a realiza el diseño de la matriz de recolección de datos para el análisis ANOVA.

### 3.4.1. Operacionalización de variables

Tabla 2: Operacionalización de variables

Variable	Definición	Categoría	Indicadores	Técnicas e Instrumentos
Variable independiente = causa	<b>Velocidad:</b> en este caso en particular se refiere a la velocidad de giro del motor eléctrico dado generalmente en rpm	Velocidad de giro del motor	Variación de la velocidad de giro	Manual de funcionamiento del motor
Velocidad del sistema	<b>Condición de trabajo:</b> Las condiciones de trabajo refieren a una serie de contextos operativos de un sistema que mejoran o empeoran su eficacia.	Tensión de banda	Niveles de tensión	Calibrador
Condiciones de trabajo	<b>Vibraciones mecánicas:</b> las vibraciones se considera como un movimiento oscilatorio y repetitivo que tiene un lugar alrededor de una posición de equilibrio, generalmente se determina ya sea por su velocidad o aceleración.	Vibración	Niveles de Vibración	Vibrómetro
Vibraciones mecánicas	<b>Ruido:</b> Sensación indeseada que se percibe a través del oído humano. Generalmente es producida por una vibración de los cuerpos que se transmiten por un medio de carácter elástico entre ellos el aire.	Niveles de ruido	Niveles de ruido obtenidos en cada tratamiento bajo las condiciones de estudio	Matriz de diseño para las mediciones Sonómetro
Variable dependiente = efecto				
Ruido				

Elaborado por: Gallegos, O (2022)

### 3.4.2. Matriz de recolección de datos para análisis ANOVA de dos factores

La matriz de datos se construye de acuerdo con las especificaciones de la Tabla 1 para un total de 45 valores de ruido (variables de respuesta) y 2 factores (variables independientes) cada uno en 3 niveles distintos a fin de poder establecer varios parámetros y verificar el comportamiento de la variable dependiente.

**Tabla 3:** Matriz de recolección de datos ANOVA de dos factores

		FACTOR A		
		NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
FACTOR B	NIVEL 1	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1
		Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2
		Réplica 3	Réplica 3	Réplica 3
		Réplica 4	Réplica 4	Réplica 4
		Réplica 5	Réplica 5	Réplica 5
	NIVEL 2	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1
		Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2
		Réplica 3	Réplica 3	Réplica 3
		Réplica 4	Réplica 4	Réplica 4
		Réplica 5	Réplica 5	Réplica 5
	NIVEL 3	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1
		Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2
		Réplica 3	Réplica 3	Réplica 3
		Réplica 4	Réplica 4	Réplica 4
		Réplica 5	Réplica 5	Réplica 5

*Elaborado por: Gallegos, O (2022)*

### 3.4.3. Matriz de recolección de datos para análisis ANOVA Unifactorial

El diseño Unifactorial se compone de 3 grupos de datos con 5 réplicas cada uno que en total suman 15 datos de acuerdo con las recomendaciones de método (ANOVA de un factor) con la finalidad de tener mayor fiabilidad de los resultados.

**Tabla 4:** Matriz de recolección de datos para análisis ANOVA Unifactorial

Factor		
Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1
Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2
Réplica 3	Réplica 3	Réplica 3
Réplica 4	Réplica 4	Réplica 4
Réplica 5	Réplica 5	Réplica 5

*Elaborado por: Gallegos, O (2022)*

### 3.5. Módulo de Ensayos

En el presente trabajo de investigación es indispensable la construcción de un banco de pruebas con el propósito de poder obtener datos experimentales que sirvan de base para efectuar el análisis ANOVA. El módulo de pruebas se compone de dos mecanismos

reductores y transmisores de velocidad, el primero es mediante banda-polea mientras que el segundo es a través de una caja reductora compuesta por un tren de engranes.

Para impulsar estos mecanismos se emplea un motor eléctrico de 1,5 hp de potencia, además para poder variar la velocidad de este se hace uso de un variador de frecuencia que permita este cometido con la ayuda de un potenciómetro.

### 3.6. Construcción del módulo de ensayos

Para llevar a efecto la ejecución del módulo de pruebas se debe seguir un orden específico en conformidad con los elementos constitutivos, se inicia por la construcción de la base de soporte, montaje del motor eléctrico con sus respectivos mecanismos reductores de velocidad, montaje del molino de granos y finalmente la implementación del sistema eléctrico.

#### 3.6.1. Construcción de la base de soporte

La base de soporte donde se van a alojar los elementos constitutivos del módulo de pruebas es una mesa construida en acero estructural galvanizado de geometría cuadrada mediante procesos de soldadura SMAW, además se realizó desplazamientos laterales que sirven para mover tanto la base del molino de granos como los mecanismos reductores de velocidad a fin de poder modificar las condiciones operativas del sistema mecánico.

La base de los mecanismos reductores de velocidad se puede desplazar de forma transversal y longitudinal mientras que la base del molino de granos tiene movimiento únicamente longitudinal, el detalle de la mesa con su respectiva grafica se muestra a detalle a continuación.

**Tabla 5:** *Detalle de la base de soporte metálica*

N°	Descripción	Unidades	Denominación
1	Ancho	[mm]	1000,00
2	Fondo	[mm]	500,00
3	Altura	[mm]	900,00
4	Material	[N. A]	Acero estructural de geometría cuadrada

*Elaborado por:* Gallegos, O (2022)

**Figura 6:** *Construcción de la base de soporte*



*Nota:* En la gráfica se puede observar el proceso de construcción de la base metálica de soporte con los respectivos desplazamientos laterales tanto para el molino de granos como los mecanismos reductores y transmisores de velocidad.

### **3.6.2. Montaje del motor y mecanismo reductores de velocidad**

El motor se aloja sobre una placa fija de acero en la base de soporte (mesa rectangular), anclado mediante tornillos y pernos de sujeción en 4 puntos en cada extremo, mientras que los mecanismos reductores de velocidad están anclados sobre una placa móvil capaz de desplazarse de forma longitudinal y transversal. La Tabla 6 muestra el detalle de estos elementos.

**Figura 7:** *Montaje del motor eléctrico y mecanismos reductores de velocidad*



*Nota:* En la gráfica se puede observar el montaje del motor eléctrico que está anclado sobre una placa de acero fija mientras que el mecanismo reductor por engranes está alojado sobre una base móvil, cabe mencionar que la polea conducida del mecanismo reductor de velocidad banda-polea se encuentra fijada a la caja de engranes.

**Tabla 6:** Características técnicas del motor y los mecanismos reductores de velocidad

N°	Descripción	Unidades	Denominación
<b>Motor eléctrico</b>			
1	Potencia	[ hp]	1,5
2	Voltaje	[V]	220
3	Intensidad	[A]	5,5
4	Cos $\phi$	[Adimensional]	0,72
<b>Mecanismo transmisor de movimiento por banda y polea</b>			
1	Radio polea conducida	[mm]	90,00
2	Radio polea conductora	[mm]	35,00
3	Tipo de correa o banda	[NA]	V A36
5	Material de la correa o banda	[NA]	Caucho
6	Distancia centro-centro	[mm]	30,00
7	Relación de transmisión (i)	[Adimensional]	0,38
<b>Mecanismo transmisor de movimiento por engranes</b>			
1	Diámetro primitivo piñón motriz (PD)	[mm]	48,82
2	Numero de dientes piñón motriz	[u]	16,00
3	Diámetro primitivo piñón conducido (PD)	[mm]	66,93
4	Numero de dientes piñón conducido	[u]	22,00
5	Material de engranes	[N. A]	Acero AISI 1020
6	Relación de transmisión (i)	[Adimensional]	0,38

*Elaborado por: Gallegos, O (2022)*

### 3.6.3. Montaje del molino de granos

El molino de granos se encuentra alojado sobre una placa rectangular de acero con capacidad de desplazamiento longitudinal, el movimiento se transmite desde el mecanismo reductor de velocidad por engranes mediante un cardan.

**Figura 8:** Montaje del molino de granos



*Nota:* en la gráfica se puede observar el montaje del molino de granos que está alojada sobre una base de acero con capacidad de desplazamiento longitudinal.

### 3.6.4. Implementación del sistema eléctrico

El sistema eléctrico este compuesto por varios elementos que facilitan el mando y control del motor, entre ellos se destaca un variador de frecuencia el cual permite la variación de velocidad de giro del motor a través del accionamiento de un potenciómetro, este sistema se encuentra alojado sobre una placa de madera montada sobre la base de soporte metálica.

**Figura 9:** Implementación del sistema eléctrico



*Nota:* la gráfica ilustra los distintos componentes del sistema eléctrico que alimenta al motor, entre ellos se destaca el variador de frecuencia que permite modificar la velocidad del equipo a través de un potenciómetro.

**Tabla 7:** Características técnicas del sistema eléctrico

N°	Componente	Descripción	Denominación
1	Breaker	Protección contra corto circuitos y sobrecargas del circuito eléctrico	[ 6 A]
2	Botonera ON -OFF	Encender o apagar el circuito eléctrico	[ N. A]
3	Potenciómetro	Permite variar la velocidad de giro del motor eléctrico.	[ 10 kΩ]
4	Variador de frecuencia		[ 200 V-230 V]
		Input	[ 14,5 A]
			[ 50 Hz – 60 Hz]
		Output	[ 0 V – Input V] [0,1 Hz – 400 Hz]

*Elaborado por:* Gallegos, O (2022)

### 3.7. Técnicas de análisis e interpretación de la información

La interpretación de la información obtenida se va a realizar con la ayuda del método de inferencia estadística ANOVA, el cual hace un análisis de las varianzas de diferentes grupos de datos a fin de establecer si los factores tienen incidencia directa sobre la variable dependiente o de respuesta.

### 3.8. Recolección de datos para ANOVA de dos factores

Los valores se obtienen de acuerdo con la matriz de recolección de datos diseñado para el ANOVA de dos factores que se detalla en la Tabla 3. Por lo tanto, para el presente análisis se va a emplear 45 valores de la variable de respuesta o dependiente en unidades de

decibeles(dB). obtenidos en 3 niveles de velocidad del motor en rpm (Factor A) y condiciones de trabajo del sistema afectadas por la tensión de la banda (Factor B) en unidades de LbF, además, se considera un total de 5 réplicas por grupo. El nivel de ruido o presión sonora se destina como la variable dependiente medida en unidades de decibeles (dB) como se especifica en la Tabla 8.

**Tabla 8:** Valores para el análisis ANOVA de dos factores

Velocidad (Factor B) [rpm]		Tensión de la banda (Factor A)		
		T <sub>1</sub> =200LbF	T <sub>2</sub> =160LbF	T <sub>3</sub> =240LbF
		Banda Templada	Banda Destemplada	Banda Sobre Templada
<b>V<sub>1</sub></b>	<b>600,000</b>	72,000	66,100	71,900
		69,900	65,200	63,100
		71,000	65,500	65,500
		69,700	66,700	66,200
		69,900	67,300	66,600
<b>V<sub>2</sub></b>	<b>1200,000</b>	72,000	69,900	70,200
		71,100	71,100	68,300
		70,200	68,000	70,700
		71,200	70,200	67,700
		70,900	72,500	70,800
<b>V<sub>3</sub></b>	<b>1800,000</b>	72,400	70,700	77,100
		73,800	70,900	76,600
		75,100	71,400	73,500
		72,800	71,700	73,800
		72,800	71,000	73,300

Elaborado por: Gallegos, O (2022)

### 3.8.1. Hipótesis de normalidad ANOVA de dos factores

El análisis de varianza es considerado como una de las pruebas de la estadística paramétrica, por lo tanto, los datos se deben ajustar a una distribución normal, para ello se emplea la herramienta matemática de Shapiro – Wilk, el valor de significancia debe ser mayor a 0,05 para aceptar la hipótesis nula caso contrario se rechaza con una confianza del 95 %

H<sub>0</sub>= Los datos se ajustan a una distribución normal.

H<sub>1</sub>= Los datos no se ajustan a una distribución normal.

**Tabla 9:** Prueba de normalidad Shapiro – Wilk

Variable de Respuesta	Variables Independientes (Factores)		Shapiro-Wilk				
			$W_C$	$W_T$	gl	Sig.	
Ruido del Sistema	Velocidad	V <sub>1</sub>	600	0,925	0,881	15	0,230
		V <sub>2</sub>	1200	0,914	0,881	15	0,158
		V <sub>3</sub>	1800	0,923	0,881	15	0,215
Ruido del Sistema	Condiciones de trabajo	T <sub>1</sub>	Templada	0,938	0,881	15	0,363
		T <sub>2</sub>	Destemplada	0,889	0,881	15	0,066
		T <sub>3</sub>	Sobre templada	0,974	0,881	15	0,906

*Elaborado por: Gallegos, O (2022)*

Los valores descritos en la Tabla 9 (prueba de normalidad Shapiro – Wilk) se obtienen de la librería de Excel, la cual facilita el valor de significancia o también conocido como P-Value y el estadístico de prueba ( $W_C$ ) mediante la herramienta Rstats. Por otro lado, el valor crítico de tabla ( $W_T$ ) para el contraste se obtiene de la tabla de Shapiro - Wilk en función al número de réplicas o muestras por grupo y el valor de Alpha de 0,05 para una confianza del 95 %.

### 3.8.2. Hipótesis de homogeneidad ANOVA de dos factores

Otro parámetro que se debe cumplir en la estadística paramétrica es que la varianza de los datos en sus diferentes niveles debe ser en lo posible constante y se comprueba aplicando el Test de Levene.

$H_0$ = Las varianzas de los grupos son homogéneas

$H_1$ = Las varianzas de los grupos no son homogéneas

Los datos que se detallan en la Tabla 10 se obtienen de la librería de Excel que realiza los cálculos en simultáneo con el ANOVA a través de la herramienta Rstats.

**Tabla 10:** Prueba de Levene ANOVA de dos factores

Estadístico de Levene	Alpha	gl1	gl2	Sig.
2,022	0,05	8,000	36,000	0,072

*Elaborado por: Gallegos, O (2022)*

### 3.8.3. Hipótesis para ANOVA de dos factores

La hipótesis para el análisis de varianza se plantea para cada uno de los factores y para las posibles interacciones entre ellos, para el presente análisis se considera una sola interacción puesto que se tiene dos variables independientes. Para aceptar la hipótesis nula el P-Value debe ser mayor a 0,05 para una confianza del 95 %.

#### *Hipótesis de significancia para el factor A \_ condición de trabajo (tensión de la banda)*

$H_0$ : La condición de trabajo no tiene efecto significativo sobre el nivel de ruido producido.

$H_1$ : La condición de trabajo tiene efecto significativo sobre el nivel de ruido producido.

#### *Hipótesis de significancia para el factor B \_ velocidad*

$H_0$ : La velocidad del sistema no tiene efecto significativo sobre el ruido producido.

$H_1$ : La velocidad del sistema tiene efecto significativo sobre el ruido producido.

#### *Hipótesis de significancia para la interacción velocidad vs condición de trabajo*

$H_0$ : La velocidad del sistema y la condición de trabajo no tiene efecto significativo sobre el ruido producido.

$H_1$ : La velocidad del sistema y la condición de trabajo tiene efecto significativo sobre el ruido producido.

Al indicar que las variables independientes no tienen efecto significativo sobre la variable de respuesta refiere a que las medias de los grupos son iguales entre sí, mientras que cuando se señala lo contrario, al menos una de las medias de los grupos es diferente a las demás.

**Tabla 11:** *Parámetros de la matriz de datos ANOVA de dos factores*

<b>Parámetros de la matriz de datos</b>		
<b>a</b>	Niveles del factor A	3
<b>b</b>	Niveles del factor B	3
<b>n</b>	Número de réplicas	5
<b>N</b>	Total, de datos	45

*Elaborado por: Gallegos, O (2022)*

**Tabla 12:** Sumas, promedios y totales ANOVA de dos factores

Velocidad [RPM]	Condiciones del Sistema (tensión de Banda)			Total	Promedio
	T <sub>1</sub> =200LbF	T <sub>2</sub> =160LbF	T <sub>3</sub> =240LbF		
	B. Templada	B. Destemplada	B. Sobre Templada		
<b>V<sub>1</sub> 600,000</b>	72,000	66,100	71,900	1016,600	67,773
	69,900	65,200	63,100		
	71,000	65,500	65,500		
	69,700	66,700	66,200		
	69,900	67,300	66,600		
<b>V<sub>2</sub> 1200,000</b>	72,000	69,900	70,200	1054,800	70,320
	71,100	71,100	68,300		
	70,200	68,000	70,700		
	71,200	70,200	67,700		
	70,900	72,500	70,800		
<b>V<sub>3</sub> 1800,000</b>	72,400	70,700	77,100	1096,900	73,127
	73,800	70,900	76,600		
	75,100	71,400	73,500		
	72,800	71,700	73,800		
	72,800	71,000	73,300		
<b>Total</b>	1074,800	1038,200	1055,300	<b>3168,300</b>	
<b>Promedios</b>	71,653	69,213	70,353		<b>70,407</b>

Elaborado por: Gallegos, O (2022)

Los valores que se muestran en la Tabla 11 corresponde a los parámetros de la matriz de datos para el análisis ANOVA. Por otro lado, la Tabla 12 detalla las sumatorias del factor A y B con los respectivos promedios y totales de cada uno de ellos

En la Tabla 13 se indica la sumatoria de las 5 réplicas en cada uno de sus niveles para ANOVA de dos factores dando como resultado un solo valor numérico correspondiente al total de la adición de los niveles de ruido en cada grupo.

**Tabla 13:** Sumatoria de las réplicas ANOVA de dos factores

Velocidad [rpm]	Tensión de la Banda [LbF]		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
<b>V<sub>1</sub></b>	352,500	330,800	333,300
<b>V<sub>2</sub></b>	355,400	351,700	347,700
<b>V<sub>3</sub></b>	366,900	355,700	374,300

Elaborado por: Gallegos, O (2022)

En la Tabla 14 se detalla el promedio de la sumatoria de las réplicas en cada grupo que se obtiene dividiendo cada uno de los valores de Tabla 13 para el número de la muestra.

**Tabla 14:** Promedio de la sumatoria de las réplicas ANOVA de dos factores

Velocidad [RPM]	Tensión de la banda [LbF]		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
V <sub>1</sub>	70,500	66,160	66,660
V <sub>2</sub>	71,080	70,340	69,540
V <sub>3</sub>	73,380	71,140	74,860

Elaborado por: Gallegos, O (2022)

La Tabla 15 (Análisis de varianza de dos factores) detalla los resultados que se obtiene del análisis de varianza donde se resalta valores como: el F crítica,  $F_0$  (calculada) y P – Value datos necesarios para rechazar o aceptar la hipótesis nula planteada anteriormente en conformidad con el nivel de confianza que generalmente se emplea en estadística y corresponde al 95 %. El contraste de la hipótesis se puede hacer mediante el estadístico de prueba  $F_0$  y el F critico obtenido a partir de la Tabla de la distribución F de Fisher o bien haciendo uso del nivel de significancia o probabilidad.

**Tabla 15:** Análisis de varianza de dos factores

	Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_0$	F critica	P - Value
<b>Factor A</b>	<b>Tensión de la banda</b>	44,716	2,000	22,358	9,119	3,259	0,001
<b>Factor B</b>	<b>Velocidad</b>	215,105	2,000	107,553	43,865	3,259	0,000
<b>Interacción AXB</b>	<b>Tensión de la banda vs Velocidad</b>	52,679	4,000	13,170	5,371	2,634	0,002
<b>Error</b>	<b>Error</b>	88,268	36,000	2,452			
<b>Total</b>	<b>Total</b>	400,768	44,000				

Elaborado por: Gallegos, O (2022)

### 3.9.Recolección de datos para ANOVA de un factor

En el presente análisis se va a emplear un solo factor que es la vibración propia del mecanismo de transmisión de movimiento, para ello se propone 3 niveles o grupos con 5 réplicas o muestras cada uno. El nivel de ruido o presión sonora se propone como la variable de respuesta o dependiente medida en unidades de decibeles (dB)

**Tabla 16:** Valores para el análisis ANOVA de un factor

<b>Vibraciones del sistema mecánico</b>			
<b>0,5 - 1,2 [m/s<sup>2</sup>]</b>	<b>6 - 7,7 [m/s<sup>2</sup>]</b>	<b>7,7 - 9,9 [m/s<sup>2</sup>]</b>	
69,600	69,000	73,300	
64,600	69,600	71,900	
68,600	67,200	70,800	
68,300	67,700	71,500	
66,800	71,900	71,300	

Elaborado por: Gallegos, O (2022)

### 3.9.1. Hipótesis de normalidad ANOVA de un factor

Para proceder con el ANOVA los datos obtenidos deben cumplir el supuesto de normalidad, para ello se aplica la prueba de Shapiro – Wilk en donde el valor de significancia debe ser mayor a 0,05 para aceptar la hipótesis nula caso contrario se rechaza con una confianza del 95%.

$H_0$ = Los datos se ajustan a una distribución normal

$H_1$ = Los datos no se ajustan a una distribución normal

**Tabla 17:** Prueba de Shapiro - Wilk ANOVA de un factor

<b>Vibración del Sistema [m/s<sup>2</sup>]</b>			<b>Shapiro-Wilk</b>			
			<b>W<sub>C</sub></b>	<b>W<sub>T</sub></b>	<b>gl</b>	<b>Sig.</b>
A	0,5 – 1,2	Ruido del Sistema [dB]	0,923	0,762	5	0,619
B	6 - 7,7		0,939	0,762	5	0,659
C	7,7 - 9,9		0,908	0,762	5	0,458

Elaborado por: Gallegos, O (2022)

Los valores de significancia o P-Value y el estadístico de prueba  $W_C$  se obtienen de a partir de la herramienta Rstats de la librería de Excel, mientras que el valor de crítico  $W_T$  proviene de la tabla De Shapiro – Wilk para un nivel de confianza del 95 % y 5 réplicas.

### 3.9.2. Hipótesis de homogeneidad ANOVA de un factor

Otro supuesto que se debe cumplir para proceder con el ANOVA es que la varianza de los datos de los tres grupos debe ser en lo posible constantes, este criterio se comprueba mediante la prueba de Levene obtenida en conjunto con el análisis de varianza.

$H_0$ = Las varianzas de los grupos son homogéneas

$H_1$ = Las varianzas de los grupos no son homogéneas

**Tabla 18:** Prueba de Levene ANOVA de un factor

<b>F</b>	<b>gl1</b>	<b>gl2</b>	<b>Alpha</b>	<b>Sig</b>
1,174	2	12	0,05	0,342

Elaborado por: Gallegos, O (2022)

El nivel de significancia que se indica en la Tabla 18 se obtiene empleando la herramienta Rstats de la librería de Excel que arroja este valor en conjunto con la tabla ANOVA.

### 3.9.3. Hipótesis ANOVA de un factor

La hipótesis se plantea considerando el factor que son las vibraciones del sistema y la variable dependiente o de respuesta (ruido), en este caso en específico se busca generalmente rechazar la hipótesis nula en tal caso el valor de significancia debe ser menor o igual al valor a 0,05 considerando un nivel de confianza del 95%.

$H_0$  = La Vibraciones del sistema mecánico no tiene efecto significativo sobre el nivel de ruido producido.

$H_1$  = La Vibraciones del sistema mecánico tiene efecto significativo sobre el nivel de ruido producido.

Al indicar que el factor no tiene efecto significativo refiere a que las medias de los grupos son iguales, caso contrario al menos una de las medias es diferente.

La Tabla 19 detalla los parámetros de la matriz de datos en concordancia con el número de réplicas o muestras y los grupos.

**Tabla 19:** Parámetros de la matriz de datos ANOVA de un factor

<b>Parámetros de la matriz de datos</b>		
<b>a</b>	Niveles del factor	3
<b>n</b>	Número de replicas	5
<b>N</b>	Total, de datos	15

Elaborado por: Gallegos, O (2022)

En la Tabla 20 se indica la sumatoria de cada grupo y la total, además se muestra el promedio en cada nivel, mismos que son parámetros iniciales para la posterior obtención de la Tabla ANOVA.

**Tabla 20:** Sumas promedios y total ANOVA de un factor

<b>CONDICIONES DEL SISTEMA</b>			
N°	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
	<b>0,5 - 1,2 [m/s<sup>2</sup>]</b>	<b>6 - 7,7 [m/s<sup>2</sup>]</b>	<b>7,7 - 9,9 [m/s<sup>2</sup>]</b>
1	66,600	69,000	73,300
2	64,600	69,600	71,900
3	68,600	67,200	70,800
4	68,300	67,700	71,500
5	66,800	71,900	71,300
Suma	334,900	345,400	358,800
Media	66,980	69,080	71,760
Suma total	1039,100		

Elaborado por: Gallegos, O (2022)

Tabla 21 detalla el análisis de varianza donde se subraya valores como el estadístico de prueba ( $F_0$ ), el F crítico y la significancia, datos necesarios para poder rechazar o aceptar la hipótesis nula planteada previamente.

La hipótesis nula se puede rechazar solo si el valor de significancia obtenido es inferior a 0,05 siempre y cuando se considere un nivel de confianza correspondiente al 95%.

**Tabla 21:** Análisis de varianza de un factor

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b><math>F_0</math></b>	<b>Sig</b>	<b>F crítica</b>
<b>Vibración (entre las muestras)</b>	44,841	2	22,420	8,307	0,0054	3,885
<b>Error (dentro de las muestras)</b>	32,388	12	2,699			
<b>Total</b>	77,229	14				

Elaborado por: Gallegos, O (2022)

### 3.10. Niveles de ruido

A nivel industrial inevitablemente produce sonido a los que los trabajadores están expuestos mismo que al considerarse indeseado se le considera como ruido que es una sensación desagradable para el oído humano y que puede ocasionar serias complicaciones

de salud como la hipoacusia por tal razón vale revisar los niveles de presión sonora permitidos por el reglamento ecuatoriano vigente.

### ***3.10.1. Niveles de ruido permitidos de acuerdo con el reglamento Ecuatoriano***

El presente reglamento fija en 85 decibeles (dB) máximo el nivel de presión sonora tomado en el lugar donde el trabajador normalmente realiza sus actividades, sin embargo, para actividades específicas en donde el colaborador requiera de concentración se establece un máximo de 70 decibeles (dB).

Por otro lado, los niveles de presión sonora en caso de ruidos continuos se establecen en conformidad con el tiempo de exposición de los trabajadores

**Tabla 22:** *Niveles de presión sonora permitidos por jornada laboral*

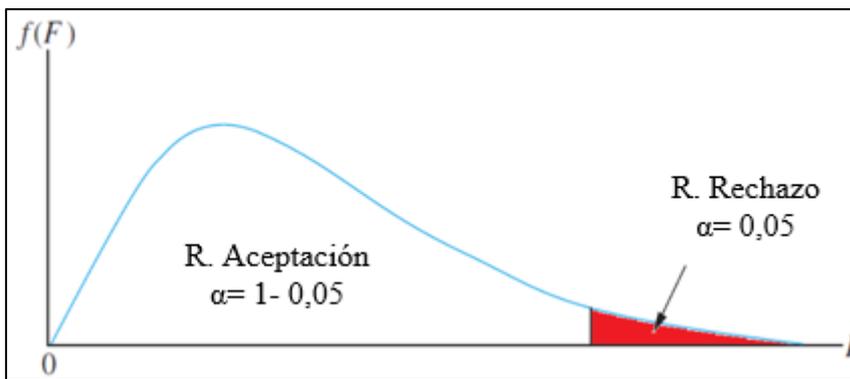
<b>Nivel sonoro/ dB</b>	<b>Tiempo de exposición por jornada/ hora</b>
85	8
90	4
95	2
100	1
110	0,25
115	1,25

**Fuente:** *Decreto Ejecutivo 2393 (2015)*

## 4.CAPITULO IV: RESULTADOS

En el presente capítulo se procede a realizar el análisis e interpretación de los resultados alcanzados del ANOVA de dos factores y el Unifactorial tomando en consideración las hipótesis planteadas previamente. Los criterios de aceptación o rechazo de la hipótesis nula estarán en función a los valores de significancia o P- Value, los estadísticos de prueba y los valores críticos obtenidos en cada método.

**Figura 10:** Función de densidad de probabilidad para una distribución F



*Nota:* El gráfico que se muestra refiere a la función de densidad de probabilidad para una distribución F, se puede observar la zona de aceptación y rechazo para la hipótesis nula, considerando una confianza del 95 %. Tomado de *RPubs by RStudio por Amat* (2016)

### 4.1.Análisis e interpretación ANOVA de dos factores

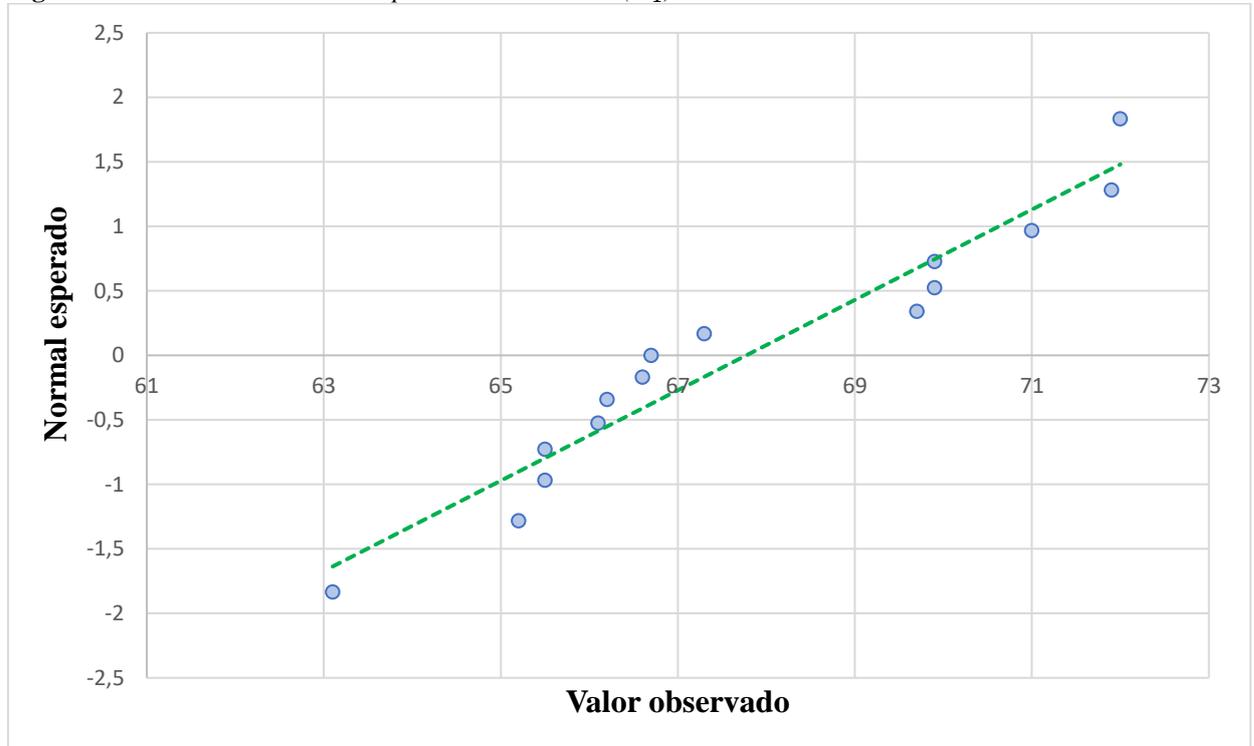
En este análisis se consideró 2 variables independientes o factores como son: la velocidad del sistema mecánico (Se puede modificar variando la velocidad de giro del motor eléctrico mediante un variador de frecuencia) y las condiciones de trabajo que refieren específicamente a la tensión de la banda considerada en tres niveles que son: templada, sobre templada y destemplada. Mientras que la variable de respuesta o dependiente es el ruido que produce la unidad mecánica.

#### 4.1.1.Supuesto de normalidad

En este criterio de acuerdo con la Tabla 9 (Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para ANOVA de dos factores) se obtuvieron valores de significancia mayores a 0,05 en la totalidad de los grupos siendo el más bajo 0,066 que es ligeramente mayor al valor Alpha, por otro lado, el  $W_C$  (Estadístico de prueba) en cada grupo es mayor a  $W_T$  (Valor crítico de

tabla), en tal virtud se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, se puede afirmar que los datos para el análisis se ajustan a una distribución normal con un nivel de confianza del 95 %.

**Figura 11:** Normalidad de datos esperada vs observada ( $V_1$ )



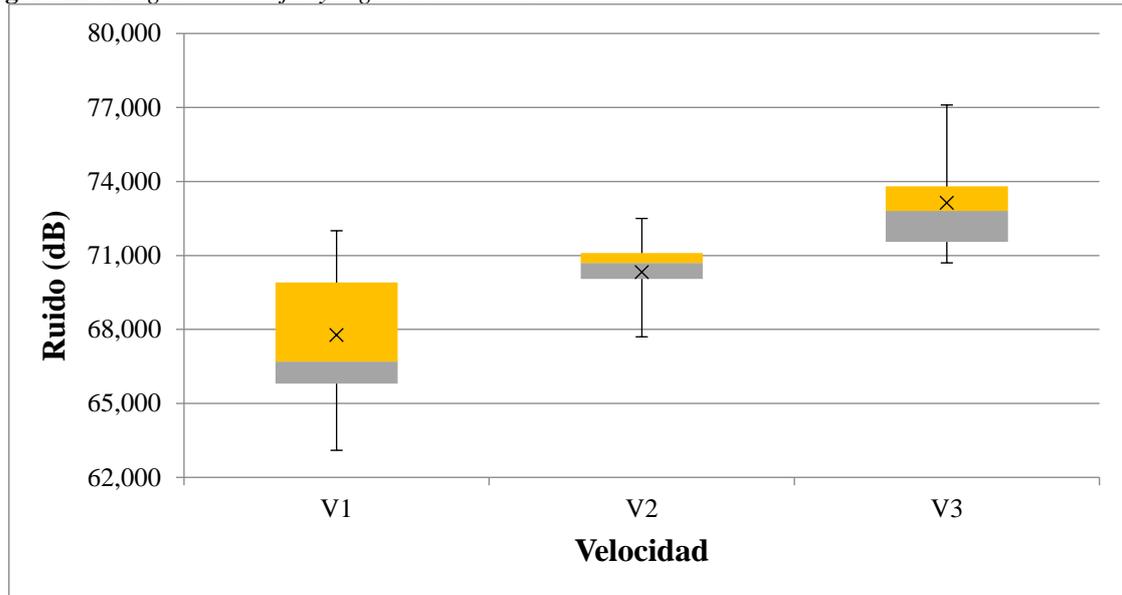
**Nota:** La gráfica realiza una comparación de los datos del grupo perteneciente a la velocidad 1 vs la normalidad esperada representada por una línea de tendencia entrecortada de color verde, los valores que figuran con puntos redondeados de color azul no se alejan significativamente de la tendencia que se esperaría de una distribución normal.

La Figura 11 (Normalidad de datos esperada vs observada) muestra la distribución de los datos de con respecto a una línea de tendencia que representa la normalidad esperada. Las gráficas correspondientes a los demás grupos se detallan en el apartado de Anexos.

#### 4.1.2. Supuesto de homogeneidad de varianzas

De acuerdo con la Tabla N° 10 (Prueba de Levene ANOVA de dos factores) se tiene un valor de significancia de 0,072 que es ligeramente mayor al valor crítico de 0,05, en tal caso se acepta la hipótesis nula o de trabajo y se rechaza la hipótesis alternativa, entonces se puede afirmar que las varianzas de los grupos son homogéneas con un nivel de confianza del 95 %.

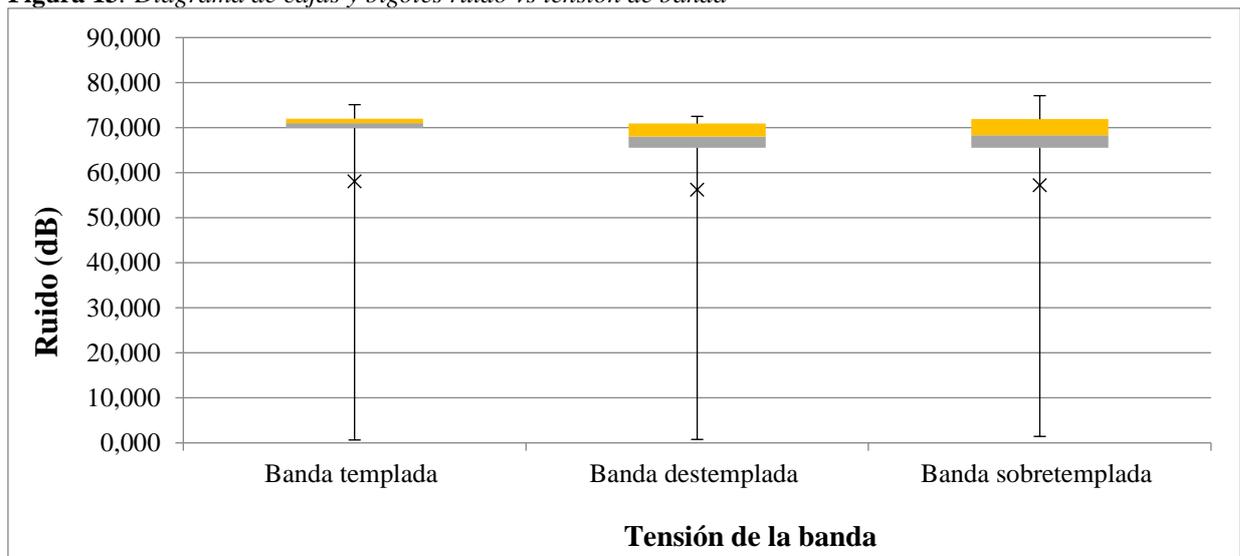
**Figura 12:** Diagrama de cajas y bigotes ruido vs velocidad



*Nota:* A través de la gráfica se puede observar la dispersión de los datos de los grupos correspondientes a la velocidad, el grupo 1 correspondiente a la velocidad 1 (600 rpm) presenta mayor dispersión puesto que la longitud de las cajas y bigotes es mayor en comparación con las demás, por otra parte el valor de las medias o promedios entre los grupos no varía significativamente.

Es de notar que la dispersión de los grupos de datos en la variable independiente velocidad (Figura 12) es mayor en comparación con el factor tensión la banda o correa (Figura 13), sin embargo esta dispersión no llega a ser determinante para aseverar la no homogeneidad de las varianzas puesto que el análisis estadístico establece la homogeneidad de las mismas de acuerdo a la prueba de Levene con una confiabilidad del 95 %.

**Figura 13:** Diagrama de cajas y bigotes ruido vs tensión de banda



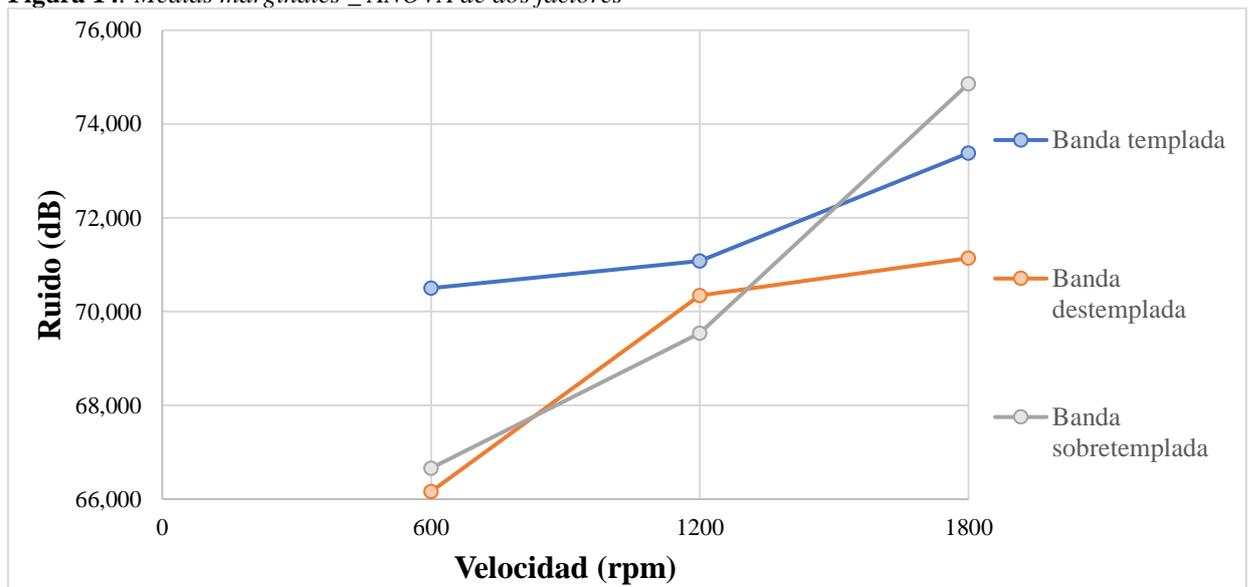
*Nota:* La gráfica muestra la dispersión de los datos en los tres grupos perteneciente a la condición de trabajo (Tensión de banda) en donde se puede apreciar una similitud entre sí ya que la longitud de las cajas y bigotes es análoga, además la media o promedio es equivalente en los 3 grupos y se encuentra en un rango de 56 a 58.

### 4.1.3. Análisis de la tabla ANOVA

En la Tabla 15 (Análisis de varianza de dos factores) se puede observar que el valor de significancia o P-Value es inferior al valor crítico de 0,05 tanto para el factor A (tensión de banda), factor B (velocidad) y la interacción A\*B (tensión de banda \* velocidad), por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa o del investigador con una confianza del 95 %, entonces se puede aseverar que:

- La condición de trabajo (tensión de banda) tiene efecto significativo sobre el nivel de ruido producido.
- La velocidad del sistema tiene efecto significativo sobre el nivel de ruido producido.
- La velocidad del sistema y la condición de trabajo (tensión de banda) tiene efecto significativo sobre el nivel de ruido producido.

Figura 14: Medias marginales \_ ANOVA de dos factores



*Nota:* En la gráfica se observa las medias de las muestras o réplicas de cada grupo, los promedios en condiciones de banda destemplada y sobretemplada varían significativamente entre los grupos de datos al incrementar la velocidad, en comparación con la banda templada que lo hace en menor proporción.

En condiciones de banda templada los niveles de ruido tienden a variar en menor proporción entre los grupos de datos con el aumento de velocidad del sistema en comparación cuando la banda esta sobretemplada y destemplada respectivamente.

Los valores mas altos de ruido se alcanzan a altas velocidades y con la banda sobretemplada, los valores intermedios se logra con un temple adecuado de la correa y bajas

velocidades, mientras que los valores mas pequeños se consigue con una banda destemplada y velocidades bajas.

Si bien cierto mediante el análisis de varianza se pudo demostrar que existen diferencias significativas en los dos factores y la interacción, sin embargo, para conocer que grupos se diferencian es necesario realizar un análisis empleando el método de Tukey mismo que realiza comparaciones múltiples entre todas las combinaciones posibles entre los distintos niveles o grupos de cada factor o variable independiente.

El criterio que a considerar para determinar si el promedio de un grupo difiere significativamente con respecto a otro estará dado cuando la diferencia de medias sea superior al valor de Tukey calculado caso contrario se consideran similares o iguales. Por otro lado, aquellas combinaciones iguales se agruparán en un mismo subconjunto con los respectivos promedios. Los factores considerados para el análisis tienen 3 niveles por lo tanto existe 3 combinaciones posibles tanto para la velocidad del sistema y las condiciones de trabajo respectivamente.

**Tabla 23:** Comparaciones múltiples\_ velocidad

Velocidad del Sistema [ rpm]				Diferencia de medias	Valor de Tukey	Comparación valor de Tukey vs diferencia de medias
V <sub>1</sub>	600	1200	V <sub>2</sub>	2,546	2,423	2,546 > 2,423
		1800	V <sub>3</sub>	5,353	2,423	5,353 > 2,423
V <sub>2</sub>	1200	1800	V <sub>3</sub>	2,806	2,423	2,806 > 2,423

Elaborado por: Gallegos, O (2022)

**Tabla 24:** Sub- conjuntos homogéneos \_velocidad

Velocidad del Sistema	N	Subconjunto		
		1	2	3
V <sub>1</sub>	600	15	67,7733	
V <sub>2</sub>	1200	15	70,3133	
V <sub>3</sub>	1800	15	73,1267	

Elaborado por: Gallegos, O (2022)

En la Tabla 23 (Comparaciones múltiples \_ velocidad) se puede observar que todos los valores correspondientes a la diferencia de medias son superiores al valor de Tukey en tal virtud se puede afirmar lo siguiente:

- La media de  $V_1$  (600 rpm) es diferente a  $V_2$ (1200 rpm)
- La media de  $V_1$  (600 rpm) es diferente a  $V_3$ (1800 rpm)
- La media de  $V_2$  (1200 rpm) es diferente a  $V_3$ (1800 rpm)

Estos enunciados se pueden contrastar en la Tabla 24 (Subconjuntos homogéneos\_ velocidad) que hace la clasificación de las medias de los grupos en tres subconjuntos diferentes puesto que son disimiles.

**Tabla 25:** Comparaciones múltiples\_ condiciones de trabajo - tensión de la banda

Condiciones de trabajo del sistema (Tensión de la Banda)				Diferencia de medias	Valor de Tukey	Comparación valor de Tukey vs diferencia de medias
<b>T<sub>1</sub></b>	Templada	Destemplada	<b>T<sub>2</sub></b>	2,433	2,423	2, 433 > 2,423
		Sobre templada	<b>T<sub>3</sub></b>	1,293	2,423	1,293 < 2,423
<b>T<sub>2</sub></b>	Destemplada	Sobre templada	<b>T<sub>3</sub></b>	1,140	2,423	1,140 < 2,423

*Elaborado por: Gallegos, O (2022)*

**Tabla 26:** Subconjuntos homogéneos \_ condiciones de trabajo\_ tensión de banda

Condiciones del Sistema	N	Subconjunto	
		1	2
Destemplada	15	69,2133	
Sobre templada	15	70,3533	70,3533
Templada	15		71,6467

*Elaborado por: Gallegos, O (2022)*

De acuerdo con la Tabla 25 (Comparaciones múltiples\_ condiciones de trabajo \_ tensión de banda) se observa que existe un solo valor de las diferencias de medias es superior al valor de Tukey por lo tanto se puede asegurar lo siguiente:

- La media de  $T_1$  (Banda Templada) es diferente a  $T_2$ (banda destemplada)
- La media de  $T_1$  (Banda Templada) es igual a  $T_3$ (banda Sobre templada)

- La media de  $T_2$  (Banda Destemplada) es igual a  $T_3$  (banda Sobre templada)

En la Tabla 26 (Subconjuntos homogéneos\_ condiciones de trabajo-tensión de banda) se observa la clasificación de las medias de los grupos,  $T_1$  y  $T_2$  se agrupan en diferentes subconjuntos ya que difieren entre sí, mientras que ( $T_1$  y  $T_3$ ) y ( $T_2$  y  $T_3$ ) se encuentran en un mismo subconjunto puesto que los promedios son semejantes.

#### **4.2. Análisis e Interpretación ANOVA de un factor**

Para el presente análisis se consideró un solo factor que corresponde a la variable independiente vibraciones del sistema mecánico mientras que la respuesta (ruido) es la misma considera en el ANOVA de dos factores.

Para las vibraciones del sistema mecánico se analizó tres grupos de medias o promedios con un intervalo de vibraciones en cada uno de ellos. A fin de diferenciar se clasificó cada intervalo con una letra como se detalla a continuación:

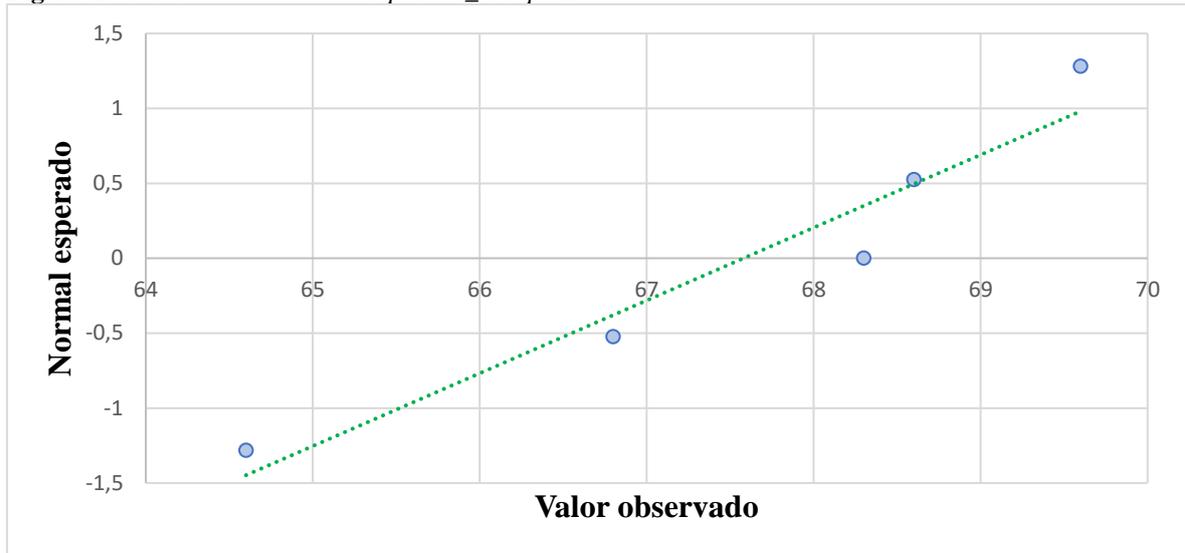
- A: 0,5 - 1,2 [m/s<sup>2</sup>]
- B: 6 - 7,7 [m/s<sup>2</sup>]
- C: 7,7 - 9,9 [m/s<sup>2</sup>]

##### **4.2.1. Supuesto de Normalidad**

De acuerdo con la Tabla 17 (Prueba de Shapiro – Wilk ANOVA de un factor) se observa valores de significancia superiores a 0,05 en los 3 grupos de datos, por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula, la cual establece que los datos se ajustan a una distribución normal considerando una confianza del 95 %.

De acuerdo con la Figura 15 (Normalidad de datos esperada \_ Grupo A) se puede notar que los valores obtenidos del grupo A no se distancian significativamente de la línea de tendencia por el contrario tienden a alinearse con la misma.

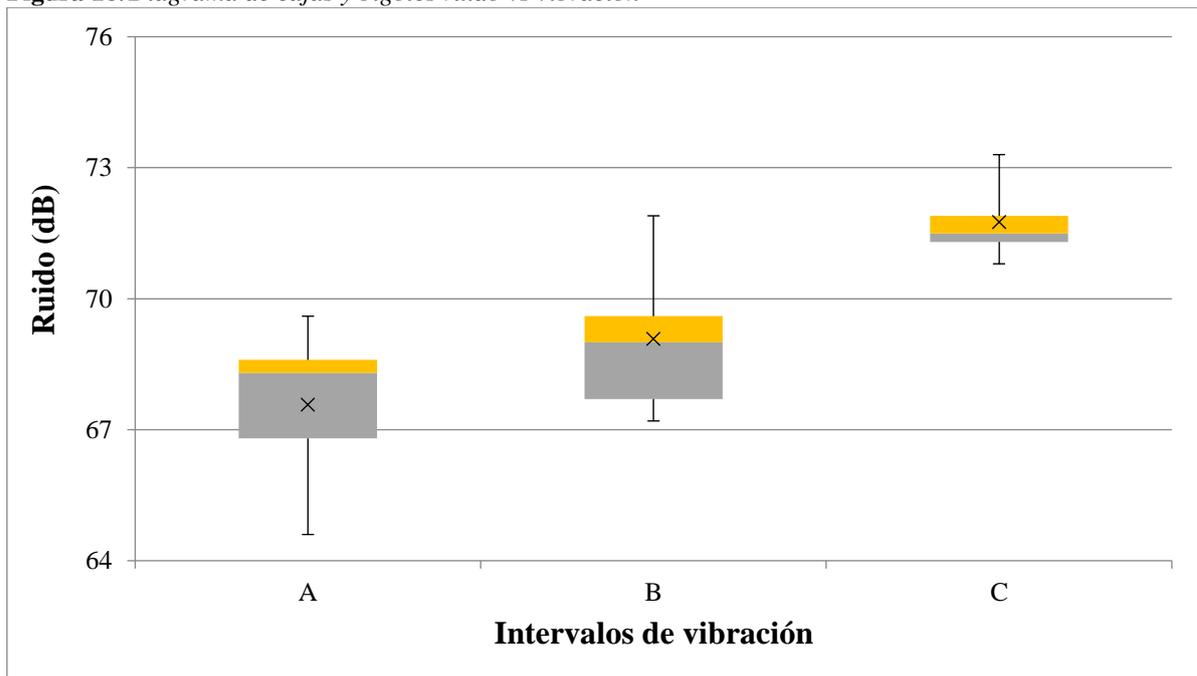
**Figura 15:** Normalidad de datos esperada\_ Grupo A



*Nota:* La gráfica realiza una comparación del primer intervalo de vibraciones representada por la línea entrecortada de color verde vs la normalidad esperada que figura con puntos redondeados de color azul, los valores observados no se alejan significativamente de la tendencia propia de una distribución normal.

#### 4.2.2. Supuesto de Homogeneidad

**Figura 16:** Diagrama de cajas y bigotes ruido vs vibración



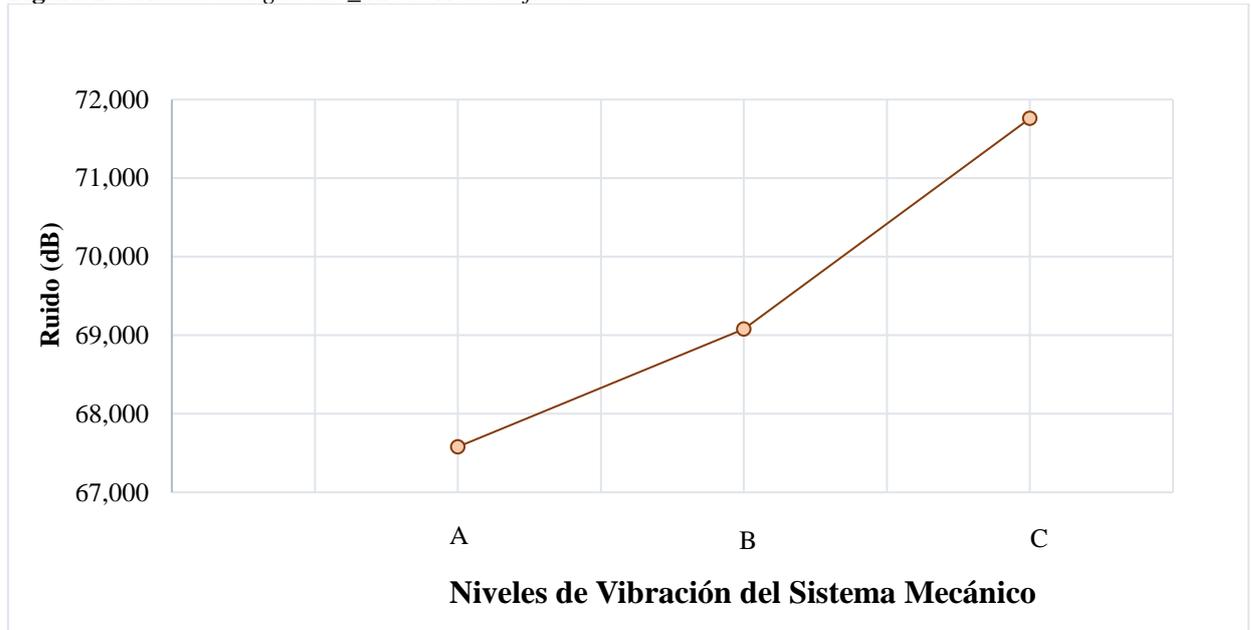
*Nota:* La gráfica muestra la dispersión de los datos en los 3 grupos, A y B tienen promedios similares, mientras que la dispersión es mayor en comparación con C.

La Tabla 18 (Prueba de Levene ANOVA de un factor) establece el valor de significancia o P-Value en 0,352 que es mayor a 0,05 por lo tanto se acepta la hipótesis nula la cual establece que las varianzas de los grupos son homogéneas.

### 4.2.3. Análisis de la tabla ANOVA

De acuerdo con la Tabla 21 (Análisis de varianza de un factor) se obtuvo un valor de significancia inferior a 0,05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador que refiere lo siguiente: Las vibraciones del sistema mecánico tienen efecto significativo sobre el nivel de ruido producido.

Figura 17: Medias marginales \_ ANOVA de un factor



*Nota:* En la gráfica se observa las medias de las muestras o réplicas de cada grupo, a medida que aumenta la vibración del sistema mecánico el ruido tiende a de forma proporcional, siendo A el intervalo mas bajo de vibraciones y C el mas alto.

En la Figura 17 (Medias marginales\_ ANOVA de un factor) se puede apreciar niveles de presión sonora con diferentes valores en cada nivel, siendo A el que menor ruido produce considerando que este contiene el intervalo más bajo de vibraciones. Entonces se puede aseverar lo siguiente: al aumentar el nivel de vibraciones producido por un sistema mecánico el ruido también tiende a incrementar.

Si bien es cierto el análisis ANOVA indica que hay diferencias en las medias de cada grupo sin embargo no especifica cual/es difieren, para ello se aplica una prueba de Tukey que realiza todas las comparaciones posibles entre los promedios de los grupos.

Se considera que un grupo difiere respecto a otro siempre y cuando el valor obtenido de la diferencia de medias sea superior al valor de Tukey calculado.

**Tabla 27:** Comparaciones múltiples \_ ANOVA de un factor \_ vibraciones

Vibración del Sistema [m/s <sup>2</sup> ]			Diferencia de medias	Valor de Tukey	Comparación valor de Tukey vs diferencia de medias	
A	0,5 - 1,2	B	6 - 7,7	1,500	2,770	1,500 < 2,770
		C	7,7 - 9,9	4,180	2,770	4,180 > 2,770
B	6 - 7,7	C	7,7 - 9,9	2,680	2,770	2,680 < 2,770

Elaborado por: Gallegos, O (2022)

**Tabla 28:** Subconjuntos homogéneos \_ vibraciones

Vibración del Sistema	N	Subconjunto	
		1	2
A	5	67,580	
B	5	69,080	69,080
C	5		71,760

Elaborado por: Gallegos, O (2022)

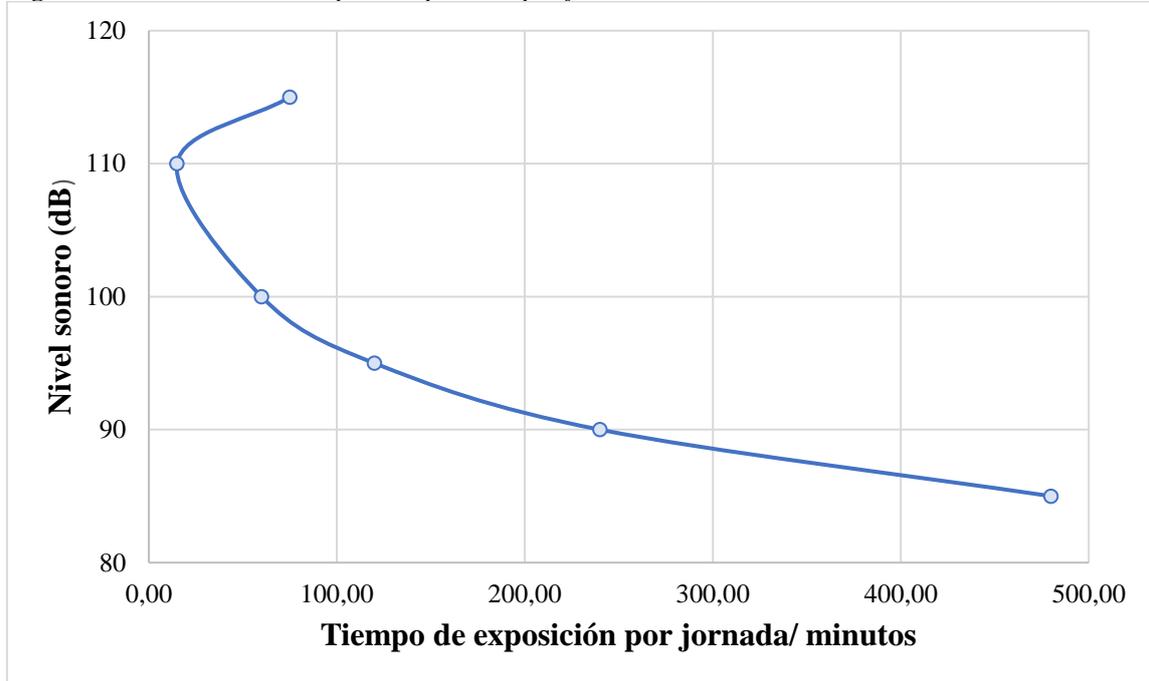
En la Tabla 27 (Comparaciones múltiples \_ ANOVA de un factor -vibración del sistema mecánico) se indica un solo valor superior al valor de Tukey en tal virtud se puede aseverar lo siguiente:

- La media de A (0,5 - 1,2) m/s<sup>2</sup> es igual a B (6 - 7,7) m/s<sup>2</sup>
- La media de A (0,5 - 1,2) m/s<sup>2</sup> es diferente a C (7,7 - 9,9) m/s<sup>2</sup>
- La media de C (7,7 - 9,9) m/s<sup>2</sup> es igual a B (6 - 7,7) m/s<sup>2</sup>

Estas aseveraciones se contrastan con la Tabla 28 (Subconjuntos homogéneos \_ vibraciones) que clasifica las medias de los grupos, el grupo (A, B) y (B, C) se encuentran en un mismo subconjunto puesto que son iguales, mientras que (A, C) se encuentran en diferentes subconjuntos puesto que los promedios no son semejantes.

### 4.3.Comparación de los niveles de ruido obtenidos del módulo de ensayos con el reglamento vigente

Figura 18: Nivel sonoro\_ tiempo de exposición por jornada



Nota: En la gráfica se observa el nivel sonoro permitido en función al tiempo de exposición por jornada laboral, a medida que aumenta el nivel de presión sonora disminuye el tiempo límite.

Es sabido que una exposición continua y prolongada a niveles sonoros altos produce enfermedades auditivas la más famosa de todas es la hipoacusia, de acuerdo al decreto Ejecutivo 2393 emitido en el año 2015 se establece en 115 decibeles (dB) el nivel máximo de sonido siempre y cuando se considere un tiempo de exposición no mayor a 75 minutos.

Los niveles de presión sonora que se obtuvieron del módulo de ensayos no sobrepasa en ninguna condición y/o parámetro los 80 decibeles (dB) aun cuando la unidad mecánica se encontraba en la máxima velocidad de giro del motor, tensión inadecuada de la banda y máxima vibración mecánica del sistema posible. Sin embargo el análisis ANOVA demuestra que las variaciones de estos factores influyen significativamente en el aumento o disminución del nivel sonoro.

### 4.4. Contraste de hipótesis de investigación

La hipótesis de investigación planteada refería a si las vibraciones y la velocidad del sistema mecánico influyen en la variación de los niveles de ruido producidos. De acuerdo

con los resultados obtenidos que se describen en el presente capítulo se puede comprobar esta aseveración.

Mediante el análisis del ANOVA de dos factores se pudo notar que al modificar la variable independiente velocidad los niveles de ruido sufren alteraciones siendo que a medida que aumenta este factor los niveles sonoros también tienden a incrementar significativamente.

A través del análisis ANOVA Unifactorial se demostró que al variar la variable independiente vibraciones mecánicas del sistema los niveles de ruido sufren cambios de manera tal que al aumentar este factor los niveles sonoros incrementan significativamente.

## **5.CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1.Conclusiones**

Se desarrolló el estudio bibliográfico referente al ruido producido por sistemas de transmisión banda y polea y su influencia en el ambiente laboral, en donde se resalta los efectos adversos a la salud de los operarios o trabajadores ocasionado por los niveles de presión sonora que sobrepasan los 85 decibeles (dB) llegando a provocar pérdida parcial de la audición y en el peor de los casos sordera, además se pudo notar que los mecanismos de transmisión banda- polea tienden a generar ruidos atípicos cuando estos presentan algún modo de fallo como la desalineación de las poleas o tensión inadecuada de la banda.

Se determinó el comportamiento del ruido bajo condiciones controladas de vibraciones, para tal efecto se consideró tres intervalos, se pudo apreciar que el nivel sonoro tiende a aumentar con el incremento de las vibraciones mecánicas del sistema llegando hasta 73,3 decibeles (dB) con el intervalo de vibraciones máximas posibles de acuerdo a la capacidad del módulo de pruebas.

Se analizó la dependencia del ruido en función del nivel de vibraciones y la velocidad del sistema de transmisión de movimiento mediante el análisis ANOVA que permitió determinar que los factores antes mencionados tienen gran influencia en el nivel de ruido producido, además se pudo notar que mientras más altas sean las velocidades de trabajo del mecanismo y por ende las vibraciones mecánicas originan mayores niveles de presión sonora.

Se realizó una comparación de los datos obtenidos del módulo de pruebas con el reglamento ecuatoriano vigente de exposición al ruido mismo que fija en 85 decibeles (dB) el nivel sonoro máximo para un tiempo no mayor a 8 horas por jornada laboral, por otro lado los valores obtenidos a partir de la unidad mecánica tienen su pico en 74 decibeles (dB) es decir se encuentran por debajo del límite permitido aun cuando el sistema trabaja a la máxima velocidad posible y por ende vibraciones.

## **5.2.Recomendaciones**

Realizar la investigación correspondiente a sistemas de transmisión con otros elementos como: piñón y cremallera, engranes, entre otros, con la finalidad de conocer los niveles de ruido que producen y estimar si son más o menos ruidosos en comparación con el mecanismo analizado en la presente investigación.

Determinar el comportamiento del ruido con mecanismos que sean capaces de producir mayores vibraciones al mecanismo construido para el presente trabajo.

Analizar la dependencia del ruido considerando el funcionamiento en simultaneo de 2 o más sistemas de similares características al de la presente investigación.

Se recomienda realizar mediciones de niveles de presión sonora en el lugar de trabajo a fin de verificar que este no sobrepase el nivel máximo permitido de acuerdo al reglamento ecuatoriano, en caso de superar los 85 decibles (dB) utilizar tapones auditivos a fin de minimizar los efectos negativos, además considerar el tiempo de exposición especificado en el Decreto Ejecutivo 2393.

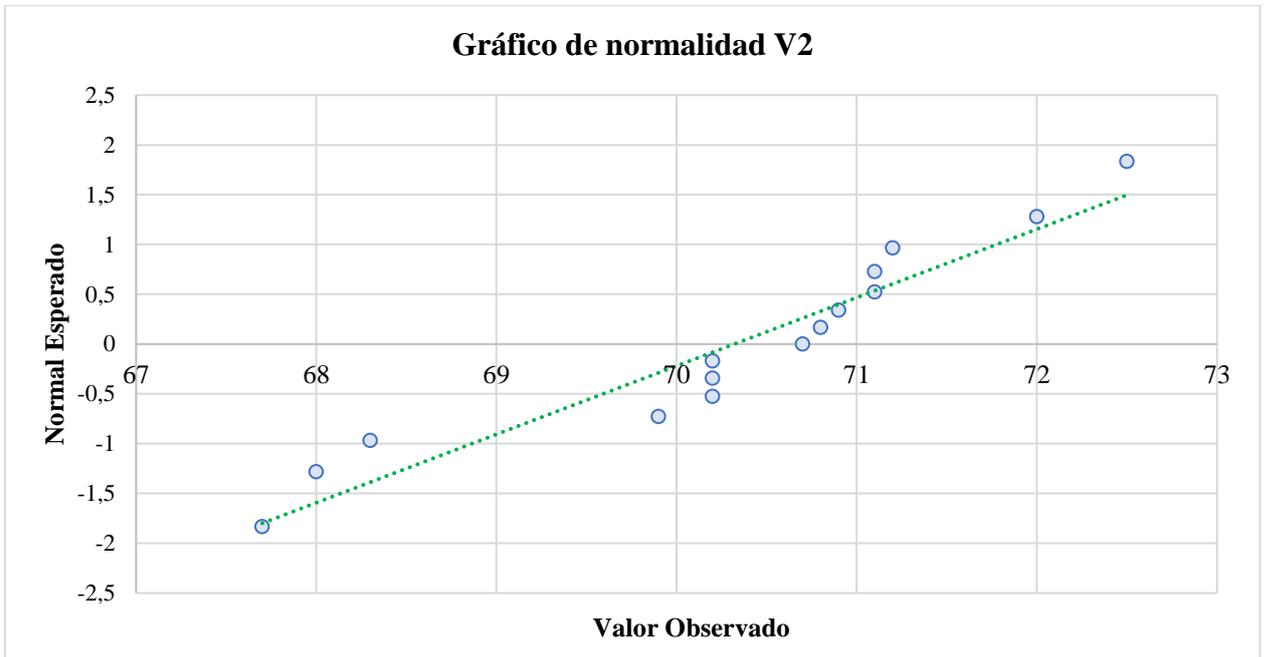
## REFERENCIAS

- Amat, R. (Enero de 2016). *ANOVA análisis de varianza para comparar múltiples medias*. RPubs. [https://rpubs.com/Joaquin\\_AR/219148](https://rpubs.com/Joaquin_AR/219148)
- Araya, T. y Medina, L. (2020). Determinación de la exposición ocupacional a vibraciones en cuerpo entero en conductores de autobús en una parte del Gran Área Metropolitana, Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 33 (1), 45-49. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i1.5024>
- Cabrera, G. (2015). Elementos de máquinas y sistemas mecánicos. *Tecnología Industrial I*.
- Cruz, V. (2019). *Diseño de una transmisión de potencia entre bomba y motor para bombeo de lodo*. [ Tesis de Ingeniería, Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1275>
- Escobedo, D. (2018). *Influencia de la vibración en la identificación de las fuentes de ruido elevado en una nave industrial*. [ Tesis de Ingeniería, Universidad nacional de san Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7515>
- Gilaberth, R., Cabrera, C. y Merino, C. (2018). Sonido: Sonómetro analógico y composición de movimientos armónicos para la demostración en el aula. *Revista Extensionismo, innovación y transferencia tecnológica* 5(1), 229-240. <http://dx.doi.org/10.30972/eitt.503757>
- Hernández, A. y González, B. (2007). Alteraciones auditivas en trabajadores expuestos al ruido industrial. *Medicina y Seguridad Del Trabajo*, 53(208), 214-245 <https://doi.org/10.4321/s0465-546x2007000300003>
- Hernández Dávila, E., Cajamarca Villa, J., Cacuango Eugenio, L. y López Pérez, V. (2018). Estimación empírica del pretensado de una banda trapecoidal mediante el deslizamiento de las poleas. *Ingenius*, 21(5). <https://doi.org/10.17163/ings.n21.2019.06>
- Magnatte, O. (2019). *Implementación del sistema de reducción de ruido mediante automatización mecánica del molino Polveador n°1 en el área de preparación mecánica de muestras en planta belén, chala – Arequipa*. [ Tesis de Ingeniería, Universidad Tecnológica del Perú]. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/2061>

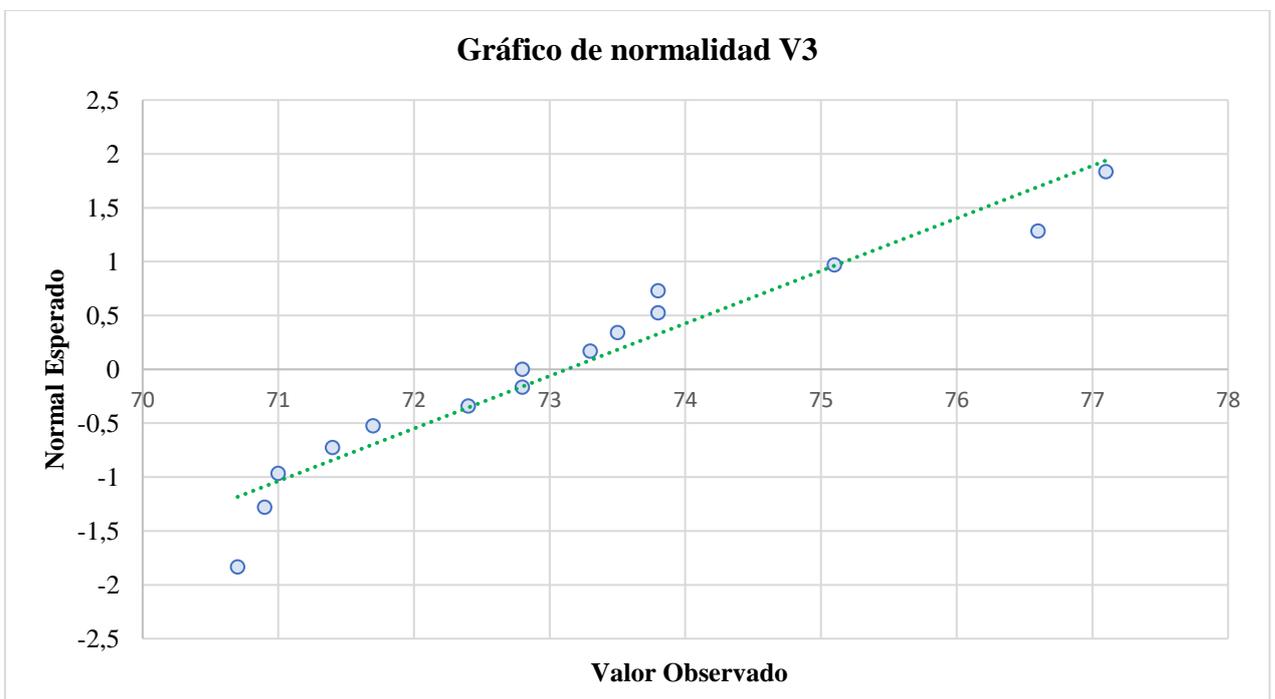
- Marin Mamani, G., Marí Paucara, E., Bolívar Espinoza, N., Enríquez-Mamani, V. y Curro-Pérez, F. (2021). Modelamiento kriging del comportamiento vertical de ruido ambiental mediante mapas temáticos durante festividades culturales en Puno y Juliaca, Perú. *Revista Tecnología En Marcha*, 12(5).  
<https://doi.org/10.18845/tm.v34i3.4989>
- Meza, I. y Sedano, P. (2021). *Evaluación de los niveles de presión sonora generados por el parque automotor en las plazas y parques de la ciudad de Huancavelica. Huancavelica*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica].  
<https://repositorio.unh.edu.pe/items/e198bdd1-e199-408c-b716-e92063f4ad8a>
- UNE-EN\_ISO 11690-2 (2021). Práctica recomendada para el diseño de lugares de trabajo con bajo nivel de ruido que contienen maquinaria. Parte 2: Medidas de control del ruido
- Patiño Duque, H., López Posada, L. y Mosquera Angulo, E. (2017). Metodología del diseño y modelado de un accionamiento mecánico. *Scientia et Technica*, 22(1).  
<https://doi.org/10.22517/23447214.12801>
- Palacios, A. (2019). *Evaluación de la exposición al ruido en el área de metal mecánica de la empresa Indurama mediante norma NTE INEN-ISO9612:2009*. [Tesis de Ingeniería, Universidad del Azuay].  
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9560/1/15194.pdf>
- Pazmiño, J. (2013). *Estudio de ruido y vibraciones en la empresa muebles león de la ciudad de Ambato para mejorar el ambiente laboral*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica de Ambato].  
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6507>
- Quintana, I. (2019). *Medida, análisis y control del ruido industrial*. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/65393/>
- Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo. 12 Enero del 2015. D.O N 15-59
- White, G. (2010). *Introducción al Análisis de Vibraciones*. Ázima DLI.  
<https://termogram.com/images/pdf/analisis-vibraciones/introduccion-al-analisis-de-vibraciones-azima-dli.pdf>

# **ANEXOS**

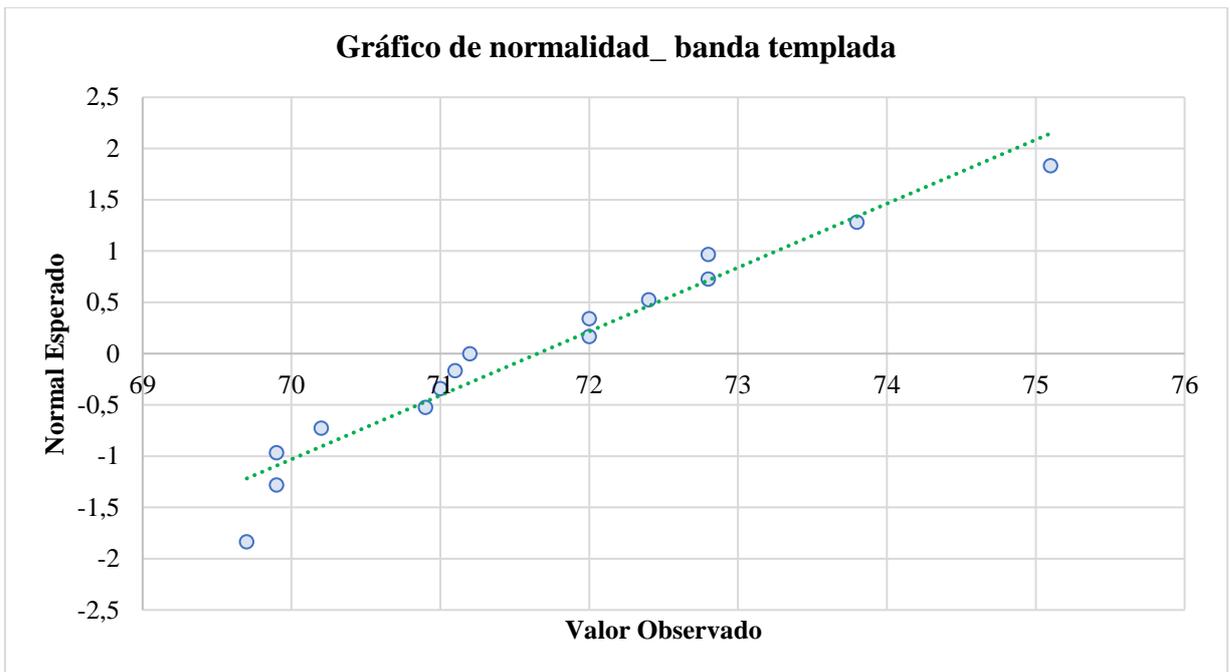
- Velocidad 2 (1200 rpm)



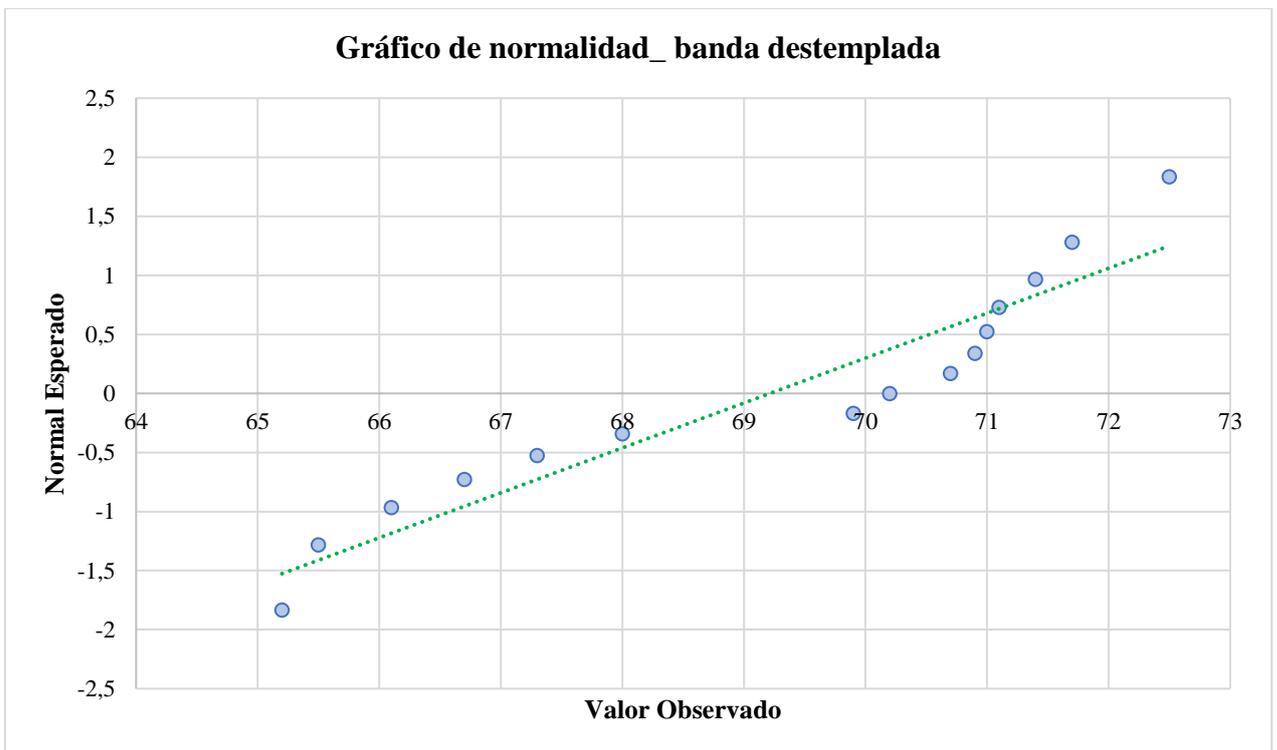
- Velocidad 3 (1800 rpm)



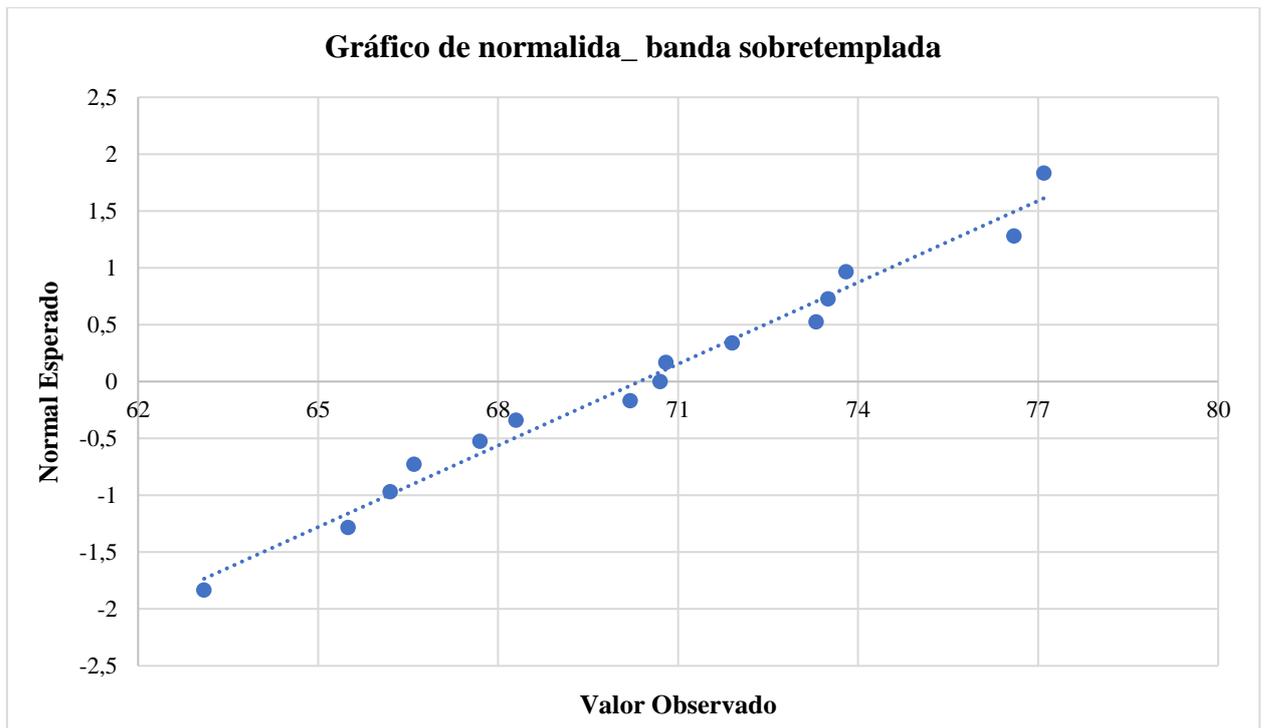
- Banda Templada (200 LbF)



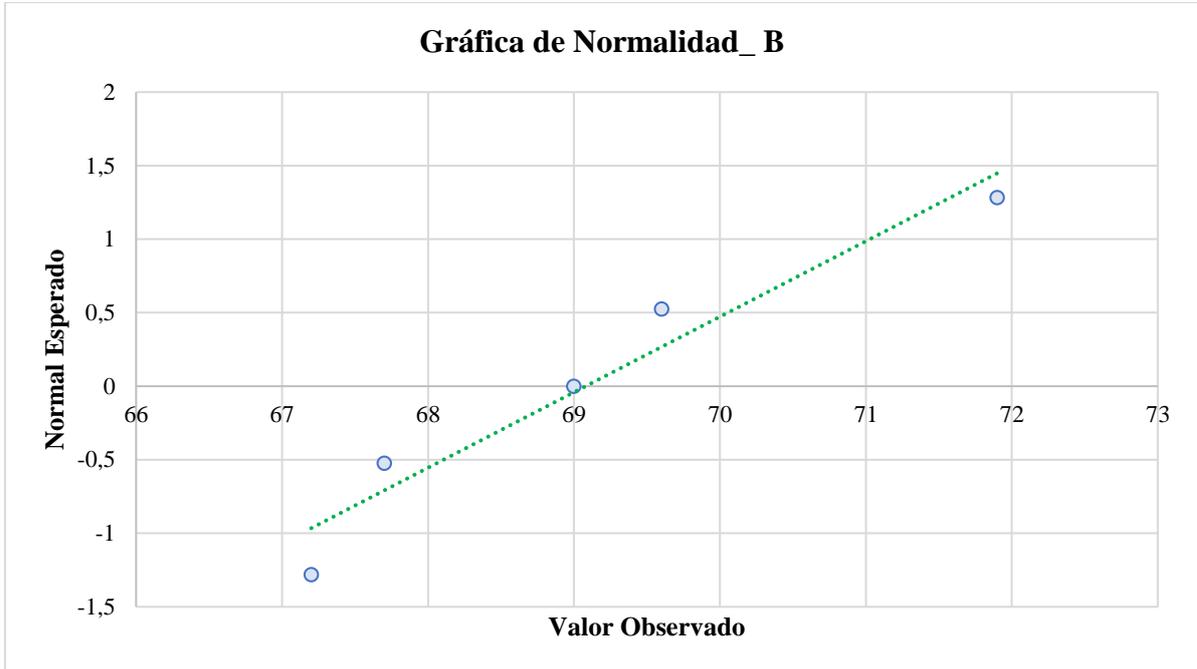
- Banda Destemplada (160 LbF)



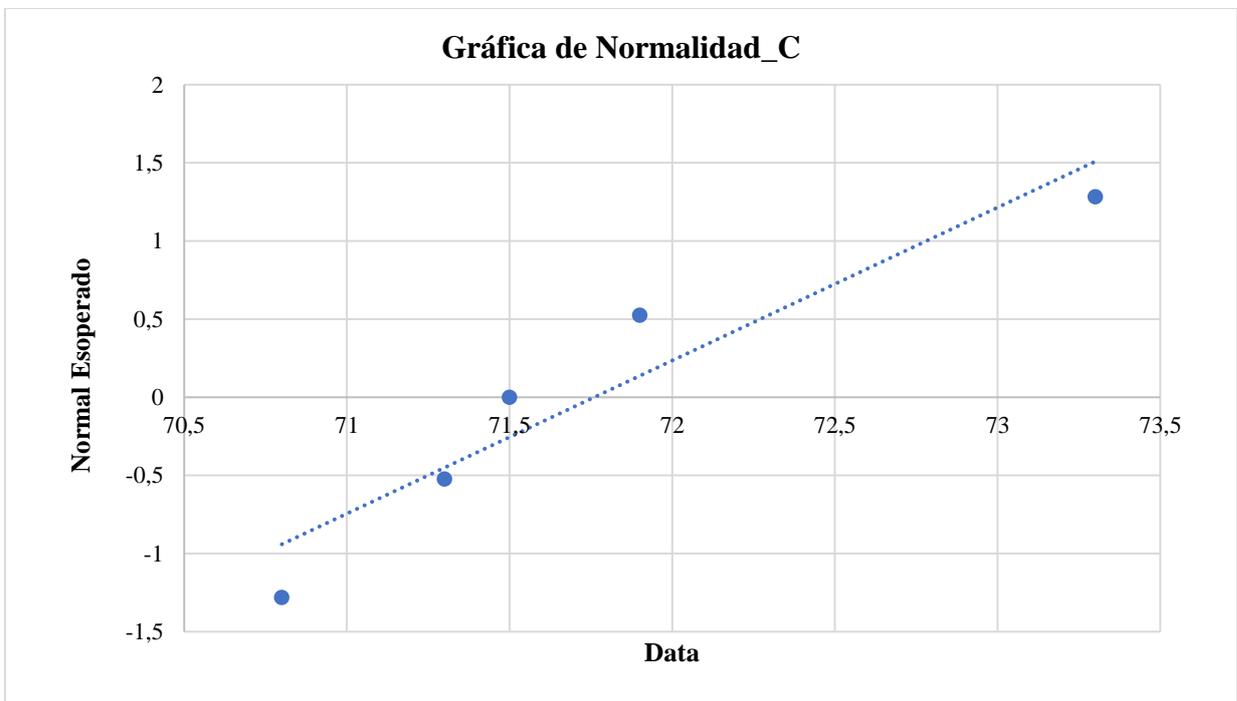
- Banda Sobre templada (160 LbF)



- B: 6 - 7,7 [m/s<sup>2</sup>]



- C: 7,7 - 9,9 [m/s<sup>2</sup>]



Anexo 3: Valores críticos de Tabla\_Sapiro-Wilk

n	0.01	0.02	0.05	0.1	0.5	0.9	0.95	0.98	0.99
3	0.753	0.756	0.767	0.789	0.959	0.998	0.999	1.000	1.000
4	0.687	0.707	0.748	0.792	0.935	0.987	0.992	0.996	0.997
5	0.686	0.715	0.762	0.806	0.927	0.979	0.986	0.991	0.993
6	0.713	0.743	0.788	0.826	0.927	0.974	0.981	0.986	0.989
7	0.730	0.760	0.803	0.838	0.928	0.972	0.979	0.985	0.988
8	0.749	0.778	0.818	0.851	0.932	0.972	0.978	0.984	0.987
9	0.764	0.791	0.829	0.859	0.935	0.972	0.978	0.984	0.986
10	0.781	0.806	0.842	0.869	0.938	0.972	0.978	0.983	0.986
11	0.792	0.817	0.850	0.876	0.940	0.973	0.979	0.984	0.986
12	0.805	0.828	0.859	0.883	0.943	0.973	0.979	0.984	0.986
13	0.814	0.837	0.866	0.889	0.945	0.974	0.979	0.984	0.986
14	0.825	0.846	0.874	0.895	0.947	0.975	0.980	0.984	0.986
15	0.835	0.855	0.881	0.901	0.950	0.975	0.980	0.984	0.987
16	0.844	0.863	0.887	0.906	0.952	0.976	0.981	0.985	0.987
17	0.851	0.869	0.892	0.910	0.954	0.977	0.981	0.985	0.987
18	0.858	0.874	0.897	0.914	0.956	0.978	0.982	0.986	0.988
19	0.863	0.879	0.901	0.917	0.957	0.978	0.982	0.986	0.988
20	0.868	0.884	0.905	0.920	0.959	0.979	0.983	0.986	0.988
21	0.873	0.888	0.908	0.923	0.960	0.980	0.983	0.987	0.989
22	0.878	0.892	0.911	0.926	0.961	0.980	0.984	0.987	0.989
23	0.881	0.895	0.914	0.928	0.962	0.981	0.984	0.987	0.989
24	0.884	0.898	0.916	0.930	0.963	0.981	0.984	0.987	0.989
25	0.888	0.901	0.918	0.931	0.964	0.981	0.985	0.988	0.989
26	0.891	0.904	0.920	0.933	0.965	0.982	0.985	0.988	0.989
27	0.894	0.906	0.923	0.935	0.965	0.982	0.985	0.988	0.990
28	0.896	0.908	0.924	0.936	0.966	0.982	0.985	0.988	0.990
29	0.898	0.910	0.926	0.937	0.966	0.982	0.985	0.988	0.990
30	0.900	0.912	0.927	0.939	0.967	0.983	0.985	0.988	0.990
31	0.902	0.914	0.929	0.940	0.967	0.983	0.986	0.988	0.990
32	0.904	0.915	0.930	0.941	0.968	0.983	0.986	0.988	0.990
33	0.906	0.917	0.931	0.942	0.968	0.983	0.986	0.989	0.990
34	0.908	0.919	0.933	0.943	0.969	0.983	0.986	0.989	0.990
35	0.910	0.920	0.934	0.944	0.969	0.984	0.986	0.989	0.990
36	0.912	0.922	0.935	0.945	0.970	0.984	0.986	0.989	0.990
37	0.914	0.924	0.936	0.946	0.970	0.984	0.987	0.989	0.990
38	0.916	0.925	0.938	0.947	0.971	0.984	0.987	0.989	0.990
39	0.917	0.927	0.939	0.948	0.971	0.984	0.987	0.989	0.991
40	0.919	0.928	0.940	0.949	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
41	0.920	0.929	0.941	0.950	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
42	0.922	0.930	0.942	0.951	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
43	0.923	0.932	0.943	0.951	0.973	0.985	0.987	0.990	0.991
44	0.924	0.933	0.944	0.952	0.973	0.985	0.987	0.990	0.991
45	0.926	0.934	0.945	0.953	0.973	0.985	0.988	0.990	0.991
46	0.927	0.935	0.945	0.953	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
47	0.928	0.936	0.946	0.954	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
48	0.929	0.937	0.947	0.954	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
49	0.929	0.937	0.947	0.955	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
50	0.930	0.938	0.947	0.955	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991

Tabla D.9: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05)

área a la derecha del valor crítico = 0,05

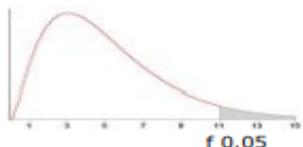


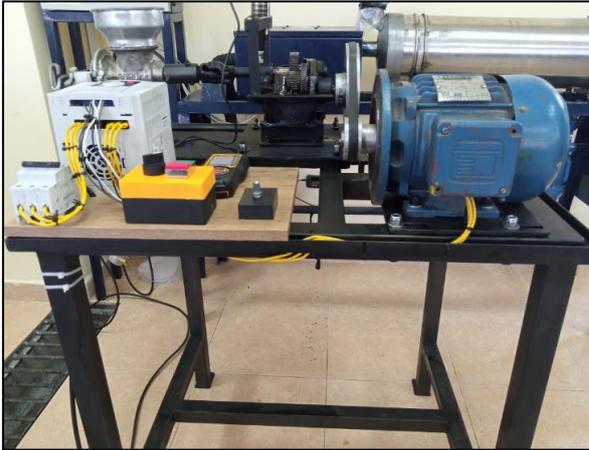
Tabla de valores críticos de la distribución F (0,05) con el área a la derecha sombreada en gris.

g.d.l.	Grados de libertad del Numerador															g.d.l.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,0	243,9	244,7	245,4	245,9	1
2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,330	19,353	19,371	19,385	19,396	19,405	19,413	19,419	19,424	19,429	2
3	10,128	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,763	8,745	8,729	8,715	8,703	3
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,936	5,912	5,891	5,873	5,858	4
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,772	4,735	4,704	4,678	4,655	4,636	4,619	5
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,027	4,000	3,976	3,956	3,938	6
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,603	3,575	3,550	3,529	3,511	7
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,313	3,284	3,259	3,237	3,218	8
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,102	3,073	3,048	3,025	3,006	9
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845	10
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,818	2,788	2,761	2,739	2,719	11
12	4,747	3,885	3,490	3,260	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,717	2,687	2,660	2,637	2,617	12
13	4,667	3,806	3,411	3,181	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533	13
14	4,600	3,739	3,344	3,114	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463	14
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641	2,588	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403	15
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352	16
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,412	2,381	2,353	2,329	2,308	17
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,374	2,342	2,314	2,290	2,269	18
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,340	2,308	2,280	2,256	2,234	19
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,310	2,278	2,250	2,225	2,203	20
21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,488	2,420	2,366	2,321	2,283	2,250	2,222	2,197	2,176	21
22	4,301	3,443	3,049	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,259	2,226	2,198	2,173	2,151	22
23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,236	2,204	2,176	2,150	2,128	23
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,620	2,508	2,423	2,355	2,300	2,255	2,216	2,183	2,155	2,130	2,108	24
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089	25
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,265	2,220	2,181	2,148	2,119	2,094	2,072	26
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,166	2,132	2,103	2,078	2,056	27
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,151	2,118	2,089	2,064	2,041	28
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,138	2,104	2,075	2,050	2,027	29
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015	30
31	4,160	3,305	2,911	2,679	2,523	2,409	2,323	2,255	2,199	2,153	2,114	2,080	2,051	2,026	2,003	31
32	4,149	3,295	2,901	2,668	2,512	2,399	2,313	2,244	2,189	2,142	2,103	2,070	2,040	2,015	1,992	32
33	4,139	3,285	2,892	2,659	2,503	2,389	2,303	2,235	2,179	2,133	2,093	2,060	2,030	2,004	1,982	33
34	4,130	3,276	2,883	2,649	2,493	2,380	2,294	2,225	2,170	2,123	2,084	2,050	2,021	1,995	1,972	34
35	4,121	3,267	2,874	2,641	2,485	2,372	2,285	2,217	2,161	2,114	2,075	2,041	2,012	1,986	1,963	35
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,449	2,336	2,249	2,180	2,124	2,077	2,038	2,003	1,974	1,948	1,924	40
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,167	2,098	2,042	1,995	1,956	1,921	1,892	1,866	1,842	60
80	3,960	3,111	2,719	2,486	2,329	2,214	2,127	2,058	1,999	1,952	1,913	1,878	1,849	1,823	1,799	80
90	3,947	3,098	2,706	2,473	2,316	2,201	2,114	2,045	1,986	1,939	1,899	1,864	1,835	1,809	1,785	90
100	3,936	3,087	2,696	2,463	2,305	2,190	2,103	2,034	1,975	1,928	1,888	1,853	1,824	1,798	1,774	100
120	3,920	3,072	2,680	2,447	2,290	2,174	2,087	2,018	1,959	1,912	1,872	1,837	1,808	1,782	1,758	120
inf.	3,841	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,012	1,943	1,884	1,837	1,797	1,762	1,733	1,707	1,683	inf.

TABLA 8: Cuantiles de la distribución de Tukey  $q(n, m)$

$\alpha = 0.05$	$n$													
$m$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	6.08	8.33	9.80	10.88	11.73	12.43	13.03	13.54	13.99	14.40	14.76	15.09	15.39	15.67
3	4.50	5.91	6.82	7.50	8.04	8.48	8.85	9.18	9.46	9.72	9.95	10.15	10.35	10.52
4	3.93	5.04	5.76	6.29	6.71	7.05	7.35	7.60	7.83	8.03	8.21	8.37	8.52	8.66
5	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	6.99	7.17	7.32	7.47	7.60	7.72
6	3.46	4.34	4.90	5.30	5.63	5.90	6.12	6.32	6.49	6.65	6.79	6.92	7.03	7.14
7	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16	6.30	6.43	6.55	6.66	6.76
8	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	6.05	6.18	6.29	6.39	6.48
9	3.20	3.95	4.41	4.76	5.02	5.24	5.43	5.59	5.74	5.87	5.98	6.09	6.19	6.28
10	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60	5.72	5.83	5.93	6.03	6.11
11	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49	5.61	5.71	5.81	5.90	5.98
12	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.39	5.51	5.61	5.71	5.80	5.88
13	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32	5.43	5.53	5.63	5.71	5.79
14	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25	5.36	5.46	5.55	5.64	5.71
15	3.01	3.67	4.08	4.37	4.59	4.78	4.94	5.08	5.20	5.31	5.40	5.49	5.57	5.65
16	3.00	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15	5.26	5.35	5.44	5.52	5.59
17	2.98	3.63	4.02	4.30	4.52	4.70	4.86	4.99	5.11	5.21	5.31	5.39	5.47	5.54
18	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07	5.17	5.27	5.35	5.43	5.50
19	2.96	3.59	3.98	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04	5.14	5.23	5.31	5.39	5.46
20	2.95	3.58	3.96	4.23	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01	5.11	5.20	5.28	5.36	5.43
21	2.94	3.56	3.94	4.21	4.42	4.60	4.74	4.87	4.98	5.08	5.17	5.25	5.33	5.40
22	2.93	3.55	3.93	4.20	4.41	4.58	4.72	4.85	4.96	5.06	5.14	5.23	5.30	5.37
23	2.93	3.54	3.91	4.18	4.39	4.56	4.70	4.83	4.94	5.03	5.12	5.20	5.27	5.34
24	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01	5.10	5.18	5.25	5.32
25	2.91	3.52	3.89	4.15	4.36	4.53	4.67	4.79	4.90	4.99	5.08	5.16	5.23	5.30
26	2.91	3.51	3.88	4.14	4.35	4.51	4.65	4.77	4.88	4.98	5.06	5.14	5.21	5.28
27	2.90	3.51	3.87	4.13	4.33	4.50	4.64	4.76	4.86	4.96	5.04	5.12	5.19	5.26
28	2.90	3.50	3.86	4.12	4.32	4.49	4.62	4.74	4.85	4.94	5.03	5.11	5.18	5.24
29	2.89	3.49	3.85	4.11	4.31	4.47	4.61	4.73	4.84	4.93	5.01	5.09	5.16	5.23
30	2.89	3.49	3.85	4.10	4.30	4.46	4.60	4.72	4.82	4.92	5.00	5.08	5.15	5.21
31	2.88	3.48	3.84	4.09	4.29	4.45	4.59	4.71	4.81	4.90	4.99	5.06	5.13	5.20
32	2.88	3.48	3.83	4.09	4.28	4.45	4.58	4.70	4.80	4.89	4.98	5.05	5.12	5.18
33	2.88	3.47	3.83	4.08	4.28	4.44	4.57	4.69	4.79	4.88	4.97	5.04	5.11	5.17
34	2.87	3.47	3.82	4.07	4.27	4.43	4.56	4.68	4.78	4.87	4.96	5.03	5.10	5.16
35	2.87	3.46	3.81	4.07	4.26	4.42	4.56	4.67	4.77	4.86	4.95	5.02	5.09	5.15
36	2.87	3.46	3.81	4.06	4.25	4.41	4.55	4.66	4.76	4.85	4.94	5.01	5.08	5.14
37	2.87	3.45	3.80	4.05	4.25	4.41	4.54	4.66	4.76	4.85	4.93	5.00	5.07	5.13
38	2.86	3.45	3.80	4.05	4.24	4.40	4.53	4.65	4.75	4.84	4.92	4.99	5.06	5.12
39	2.86	3.45	3.79	4.04	4.24	4.39	4.53	4.64	4.74	4.83	4.91	4.98	5.05	5.11
40	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.73	4.82	4.90	4.98	5.04	5.11
41	2.86	3.44	3.79	4.03	4.23	4.38	4.51	4.63	4.73	4.82	4.90	4.97	5.04	5.10
42	2.85	3.44	3.78	4.03	4.22	4.38	4.51	4.62	4.72	4.81	4.89	4.96	5.03	5.09
43	2.85	3.43	3.78	4.03	4.22	4.37	4.50	4.62	4.72	4.80	4.88	4.96	5.02	5.08
44	2.85	3.43	3.78	4.02	4.21	4.37	4.50	4.61	4.71	4.80	4.88	4.95	5.02	5.08
45	2.85	3.43	3.77	4.02	4.21	4.36	4.49	4.61	4.70	4.79	4.87	4.94	5.01	5.07
46	2.85	3.42	3.77	4.01	4.20	4.36	4.49	4.60	4.70	4.79	4.87	4.94	5.00	5.06
47	2.85	3.42	3.77	4.01	4.20	4.36	4.48	4.60	4.69	4.78	4.86	4.93	5.00	5.06
48	2.84	3.42	3.76	4.01	4.20	4.35	4.48	4.59	4.69	4.78	4.86	4.93	4.99	5.05
49	2.84	3.42	3.76	4.00	4.19	4.35	4.48	4.59	4.69	4.77	4.85	4.92	4.99	5.05
50	2.84	3.42	3.76	4.00	4.19	4.34	4.47	4.58	4.68	4.77	4.85	4.92	4.98	5.04

Anexo 6: Módulo de pruebas



- Descripción y codificación de elementos del módulo de pruebas

Item	Elemento	Código
1	Motor	MT01
2	Banda	BD01
3	Polea conductora	PL01
4	Polea conducida	PL02
5	Variador de frecuencia	VF01
6	Selector	SL01
7	Breaker	BR01
8	Potenciómetro	PT01
9	Botonera ON-OFF	BT01
10	Caja de engranes	CE01
11	Molino de granos	ML01
12	Base	BS01

Anexo 7: Instrumentos de medida

- Sonómetro



- Medidor de vibraciones



- Medidor de tensión



Anexo 8: Toma de Datos

- Medición de ruido



- Medición de vibraciones

