



ESTUDIO DE PROCESOS DE MECANIZADO EN EL PIÑÓN DE CADENA UTILIZANDO  
COMO HERRAMIENTAS EL TORNO Y LA FRESADORA MEDIANTE EL DISEÑO DE  
EXPERIMENTOS TAGUCHI

**AUTORES**

ANDRES FELIPE APARICIO MUÑOZ	1098795811
JORGE IVAN NIGRINIS CARDENAS	1098775185

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS**  
**Tecnología en operación y Mantenimiento Electromecánico**  
**BUCARAMANGA**  
**FECHA DE PRESENTACIÓN: 23-08-2019**



**ESTUDIO DE PROCESOS DE MECANIZADO EN EL PIÑÓN DE CADENA UTILIZANDO  
COMO HERRAMIENTAS EL TORNO Y LA FRESADORA MEDIANTE EL DISEÑO DE  
EXPERIMENTOS TAGUCHI**

**AUTORES**

ANDRES FELIPE APARICIO MUÑOZ	1098795811
JORGE IVAN NIGRINIS CARDENAS	1098775185

**Trabajo de Grado para optar al título de  
TECNOLOGO EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO**

**DIRECTOR**

M.Sc. Eng DIANA CAROLINA DULCEY DIAZ

Grupo de investigación en Diseño y Materiales – DIMAT

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS  
**Tecnología en operación y Mantenimiento Electromecánico**  
**BUCARAMANGA**

**FECHA DE PRESENTACIÓN: 23-08-2019**

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del Jurado

**DEDICATORIA**

Primero a Dios, quien es mi guía en cada una de las metas que me he propuesto alcanzar y me ha brindado la salud, la fuerza y la vida para realizar cada uno de mis proyectos.

A mis padres, mis abuelos y a los demás familiares que estuvieron apoyándome para formarme en el ámbito profesional, sentaron en mi la base de responsabilidad y deseos de superación. Sin ellos no sería quien soy. A mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y dificultades.

**ANDRES FELIPE APARICIO MUÑOZ**

Dedico este proyecto a las personas que depositaron su confianza en mí, a toda manifestación del amor de Dios: en mis padres, familiares, amigos y profesores que fueron de gran motivación en este proceso de aprendizaje que sin ellos no hubiera podido salir adelante con mis objetivos.

Principalmente al Dios creador y hacedor de todas las cosas pues me enseñó a ser libre y amar lo que hago a disfrutar de las pequeñas cosas y el querer aprender más cada día.

**JORGE IVÁN NIGRINIS CÁRDENAS**

## AGRADECIMIENTOS

Por la oportunidad que me ha brindado las unidades tecnológicas de Santander de elaborar un proyecto de innovación, que podría llegar a ser implementado en nuevos proyectos del sector electromecánico permitiendo buenos resultados.

A Jorge Iván Nigrinis Cárdenas quien ha sido mi compañero en el proyecto de grado, con el cual nos esforzamos para terminar con este logro más en nuestras vidas. A mi madre **Yaneth Muñoz Almeyda** que siempre me ha apoyado en los momentos de dificultad que se me han presentado en la carrera, por confiar en mis decisiones y por ser un ejemplo a seguir como persona que es. A mi padre **Leonardo Aparicio Ardila** por haberme enseñado que con esfuerzo y constancia todo se puede lograr. A mi abuela Nubia Almeyda y abuelo Gilberto Muñoz por aconsejarme, cuidarme e inculcar valores en mí para ser una mejor persona. A mi abuelo Álvaro Aparicio y a mi primo William Díaz por asesorarnos y ayudarnos en realización de este proyecto. A la **ING. Diana Dulcey** por el acompañamiento recibido siendo de gran ayuda para realizar este proyecto. Agradezco por los conocimientos adquiridos por cada uno de mis maestros en las unidades tecnológicas de Santander.

**ANDRES FELIPE APARICIO MUÑOZ**

Quiero expresar mis grandes agradecimientos a mis padres, en especial a mi madre **Myriam Cárdenas** pues he contado indispensablemente en los procesos educativos que con gran esfuerzo me dio una buena educación, a mi padre **Jorge Francisco Nigrinis Londoño** el cual fue de gran apoyo emocional y financiero en él estudio. A mis hermanas por servir de ejemplo de dedicación y excelencia como profesional y enfatizarme en hacer las cosas bien.

Agradezco a mi director de proyecto la **ING. Diana Dulcey** por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, a todos los profesores de las Unidades Tecnológicas de Santander que me brindaron sus conocimientos, por su buena pedagogía e inspiración al ser concisos en su forma explicar y que ponían todo de ellos para que no quedaran dudas.

**JORGE IVÁN NIGRINIS CÁRDENAS**

## TABLA DE CONTENIDO

<b><u>RESUMEN EJECUTIVO.....</u></b>	<b><u>10</u></b>
<b><u>INTRODUCCIÓN.....</u></b>	<b><u>11</u></b>
<b><u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....</u></b>	<b><u>12</u></b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	14
1.3. OBJETIVOS .....	14
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	14
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES .....	15
<b><u>2. MARCOS REFERENCIALES .....</u></b>	<b><u>18</u></b>
2.1. CONCEPTOS .....	18
2.2. TEORÍAS .....	22
<b><u>3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO .....</u></b>	<b><u>26</u></b>
3.1. SELECCIÓN TECNOLÓGICA DEL PIÑÓN DE ESTUDIO .....	26
3.2. DISEÑO Y CÁLCULOS DEL PIÑÓN .....	27
3.3. MODELADO DEL PIÑÓN .....	28
3.4. IMPLEMENTACIÓN METODOLÓGICA TAGUCHI .....	32
3.4.1. SELECCIÓN DE PARÁMETROS INICIALES .....	33
3.4.2. EXPERIMENTO DE MATRIZ ORTOGONAL .....	34
3.4.3. ANÁLISIS DE RATIO S/N .....	39
3.5. FABRICACIÓN DE LOS PIÑONES .....	39
3.6. PRUEBA DE RUGOSIDAD .....	46
3.7. ANÁLISIS COMPARATIVO .....	60
<b><u>4. RESULTADOS .....</u></b>	<b><u>62</u></b>
<b><u>5. CONCLUSIONES .....</u></b>	<b><u>67</u></b>
<b><u>6. RECOMENDACIONES .....</u></b>	<b><u>68</u></b>
<b><u>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</u></b>	<b><u>69</u></b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Piñón de cadena .....	12
Figura 2. Torno .....	19
Figura 3. Elementos mecánicos .....	19
Figura 4. Fresadora .....	20
Figura 5. Herramientas .....	21
Figura 6. Gráfica de rugosidad.....	22
Figura 7. Piñón de cadena de paso 428 17 dientes .....	26
Figura 8. Diámetros piñón.....	27
Figura 9. Fórmulas Generales .....	27
Figura 10. Aplicación Onshape .....	29
Figura 11. Modelado paso 1 .....	29
Figura 12. Modelado paso 2 .....	30
Figura 13. Modelado paso 3 .....	30
Figura 14. Modelado paso 4 .....	31
Figura 15. Plano piñón.....	31
Figura 16. Torno empleado.....	32
Figura 17. Fresadora empleada.....	33
Figura 18. Implementación paso 1 .....	35
Figura 19. Implementación paso 2 .....	35
Figura 20. Implementación paso 3 .....	36
Figura 21. Implementación paso 4 .....	36
Figura 22. Ordenaciones ortogonales de Taguchi.....	37
Figura 23. Implementación paso 5 .....	37
Figura 24. Implementación paso 6 .....	38
Figura 25. Implementación paso 7 .....	38
Figura 26. Gráfico de radio S/N .....	39
Figura 27. Torneado de piñón 1 .....	40
Figura 28. Torneado de piñón 2.....	40
Figura 29. Torneado de piñón 3.....	41
Figura 30. Torneado de piñón 4.....	41
Figura 31. Torneado de piñón 5.....	42
Figura 32. Torneado piñón 6.....	42
Figura 33. Fresado piñón 1 .....	43
Figura 34. Fresado piñón 2 .....	43
Figura 35. Fresado piñón 3.....	44
Figura 36. Fresado Piñón 4.....	44
Figura 37. Fresado piñón 5.....	45
Figura 38. Fresado piñón 6.....	45
Figura 39. Piñones terminados .....	46
Figura 40. Rugosímetro .....	46
Figura 41. Configuración rugosímetro.....	48
Figura 42. Calibración rugosímetro .....	48
Figura 43. Gráfica de RA .....	49

Figura 44. Gráfica de RZ .....	49
Figura 45. Gráfica de RP .....	50
Figura 46. Gráfica de RV .....	50
Figura 47. Toma valores de la prueba .....	50
Figura 48. Gráfica de rugosidad piñón 1 .....	51
Figura 49. Gráfica de rugosidad piñón 2 .....	52
Figura 50. Gráfica de rugosidad piñón 3 .....	53
Figura 51. Gráfica de rugosidad piñón 4 .....	54
Figura 52. Gráfica de rugosidad piñón 5 .....	55
Figura 53. Gráfica de rugosidad piñón 6 .....	56
Figura 54. Gráfica de rugosidad piñón 7 .....	57
Figura 55. Gráfica de rugosidad piñón 8 .....	58
Figura 56. Gráfica de rugosidad piñón 9 .....	59
Figura 57. Valores de rugosidad en MiniTab.....	60
Figura 58. Análisis de diseño de Taguchi.....	60
Figura 59. Selección dato de respuesta.....	61
Figura 60. Elección de la opción “más pequeño es mejor”.....	61
Figura 61. Gráfica de efectos principales para Medias.....	63
Figura 62. Gráfica de efectos principales para relaciones SN .....	63
Figura 63. Predicción del resultado paso 1 .....	64
Figura 64. Predicción del resultado paso 2 .....	64
Figura 65. Predicción del resultado paso 3 .....	65
Figura 66. Gráfica explicativa de reducción de costos .....	66

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Cálculos realizados .....	28
Tabla 2. Ecuaciones fresadora .....	34
Tabla 3. Parámetros iniciales .....	34
Tabla 4. Características rugosímetro .....	47
Tabla 5. Datos prueba rugosidad piñón 1 .....	51
Tabla 6. Datos prueba rugosidad piñón 2 .....	52
Tabla 7. Datos prueba rugosidad piñón 3 .....	53
Tabla 8. Datos prueba rugosidad piñón 4 .....	54
Tabla 9. Datos prueba rugosidad piñón 5 .....	55
Tabla 10. Datos prueba rugosidad piñón 6 .....	56
Tabla 11. Datos prueba rugosidad piñón 7 .....	57
Tabla 12. Datos prueba rugosidad piñón 8 .....	58
Tabla 13. Datos prueba rugosidad piñón 9 .....	59
Tabla 14. Respuesta para relaciones de señal a ruido.....	62
Tabla 15. Respuesta para medias .....	62

## RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto se centra en el análisis de un diseño de experimentos para el piñón de cadena de 17 dientes el cual se seleccionó por su fácil fabricación, su economía y porque es normalmente usado en motos de dos y cuatro tiempos de marcas reconocidas como Yamaha, Suzuki, Honda y Sigma, utilizando la metodología de Taguchi, la cual expone los aspectos relacionados con los procesos de mecanizado involucrando equipos, herramientas, materiales y procedimientos.

Mediante la metodología de Taguchi se seleccionan los mejores parámetros para maquinar un elemento mecánico y de esta manera lograr una calidad superior, y realizar una respectiva revisión de las técnicas de análisis y modelos de predicción de calidad en la superficie de materiales mecanizados.

Los métodos empleados son el descriptivo y el experimental, es decir, se recopiló toda la información sobre la metodología de Taguchi para tener más claro en que se basa su filosofía, se seleccionaron 3 parámetros de mecanizado (fresado) que serán comparados en un arreglo ortogonal 3x3, que arroja múltiples resultados para así saber con cuales se obtuvieron una mayor calidad y se realizó un plano del piñón gracias al software de diseño OnShape, que sirvió a la hora de fabricar la pieza; son nueve piñones de los cuales uno se seleccionó después de realizar el arreglo ortogonal en el programa MiniTab tomando como resultado de comparación la rugosidad y de esta manera se comprobó una mejora en el acabado superficial.

Basado en este estudio, se entregó un documento final producto del estudio realizado y un artículo en formato IEEE.

**PALABRAS CLAVE:** Diseño de experimentos, Arreglo Ortogonal, Mecanizado, Taguchi

## INTRODUCCIÓN

El objetivo en la implementación de la metodología de experimentos Taguchi en la elaboración de los piñones de cadena es realizar un estudio en el acabado superficial, en la profundidad de los dientes y los parámetros de mecanizado de la fresadora por medio de los arreglos ortogonales; de esta forma lograr una optimización en su fabricación valiéndose de la “filosofía de la calidad de Taguchi” la cual menciona que la pérdida total generada por un producto es un aspecto importante de la calidad, que la reducción de los costos y la optimización continua de la calidad son necesarias para subsistir en la industria y que la variación de los parámetros (en este caso) de mecanizado en la fresadora afectarían de alguna forma la calidad del elemento realizado.

El presente proyecto aplica el estudio de procesos de mecanizado en el piñón de cadena, utilizando como herramientas el torno y la fresadora mediante el diseño de experimentos Taguchi, cuya finalidad es el de obtener un buen acabado superficial, aminorar los costos, disminuir el porcentaje de error en la elaboración y sobre todo seleccionar los parámetros de mecanizado apropiados.

Para cumplir con esta filosofía se optó por elegir un elemento mecánico (piñón) que por medio de un software especializado en la metodología estadística de Taguchi llamado MiniTab, se seleccionó un arreglo ortogonal 3x3 L9 tomando como datos las diferentes posibles velocidades de corte (3 velocidades) con las que se deben aplicar al material seleccionado (acero 1045), las distintas profundidades de corte (3 profundidades) que pueden favorecer en la funcionalidad de un piñón y los diferentes avances (3 avances) que afectan en el acabado superficial de él. Por consiguiente, se realizó una comparación de los datos ya mencionados con los resultados obtenidos en la prueba de rugosidad de cada Piñón, todo ello con el apoyo del programa MiniTab y así obtener los resultados descritos en este documento.

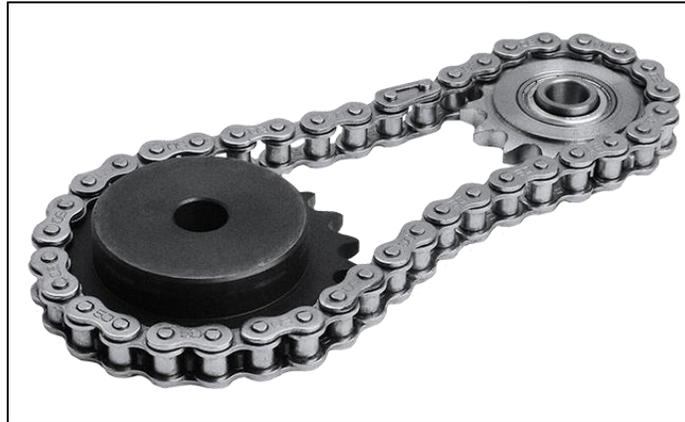
Así mismo se espera incentivar a los estudiantes de la tecnología en Operación y Mantenimiento Electromecánico de las Unidades Tecnológicas de Santander a emplear esta nueva metodología que ha logrado grandes resultados en diferentes partes del mundo en cuanto al mejoramiento de la calidad de un producto y a realizar proyectos investigativos que aporten ideas innovadoras en el sector de la industria electromecánica.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existen en el mercado diferentes tipos de elementos mecánicos como los transmisores de movimiento, las máquinas simples y compuestas, los engranajes, entre otros, que ayudan y facilitan el uso de diferentes artefactos. Uno de estos elementos mecánicos es el piñón, el cual es una rueda dentada que ayuda a transmitir un movimiento giratorio por medio de una cadena de transmisión que nos entregara como resultado una velocidad.

Figura 1. Piñón de cadena



Fuente: (Piñón de cadena, Hivimar, 2016)

Este mecanismo puede ser de dos clases, de transmisión simple o de transmisión compuesta. En la simple se le aplica una fuerza al piñón conductor generando una velocidad; en contra parte, la compuesta funciona a partir de un sistema de cambios con diferentes piñones que engranan en la cadena obteniendo diferentes velocidades como en la bicicleta.

Para la elaboración del piñón de cadena es necesario establecer diferentes criterios como el material a usar (acero, cobre-latón, cobre-silicio, etc.), el número de dientes, el diámetro del rodillo; los cuales son sustentados mediante cálculos matemáticos preestablecidos. Según el Ing. Guillermo Bavaresco “un proceso de mecanizado es un conjunto de operaciones necesarias para modificar las características de la materia prima. Estas características pueden ser de naturaleza muy variada tales como la forma, el tamaño o la estética” (Bavaresco). A través de estas determinaciones se pueden fabricar mediante procesos mecanizados realizados en el torno y la fresa. Durante estos procesos se puede lograr grandes cambios como la modificación de la revolución del cabezal del torno, el

avance, la profundidad, la velocidad de corte, los esfuerzos, el diámetro de la pinza, los ángulos de la bancada, entre otros, los cuales pueden determinar el nivel de la calidad y costo del piñón.

Por otro lado, durante estos procesos de mecanizado se pueden generar problemas de rugosidad, fatiga, desgaste y rotura de dientes, ya sea por una elección errónea de material, una equivocación en los cálculos o mala implementación de los parámetros de mecanizado; los cuales conllevan a producir daños en los artefactos, ruidos no deseados, descarrilamientos de la cadena y hasta pérdidas en costos.

Por eso, es necesario optimizar los criterios de medida en la elaboración del piñón generando una mejoría sustancial en la calidad. Para poder lograr esta mejoría en la fabricación se puede implementar la metodología de diseño de experimentos del ingeniero y estadístico japonés Gen'ichi Taguchi, la cual consiste en 3 etapas, la primera es una identificación de los factores que afectan la calidad, la segunda es la definición de los valores óptimos en los parámetros y la tercera es la identificación de los factores que no afectan sustancialmente en la calidad al producto, todo esto expuesto mediante gráficas y arreglos ortogonales.

¿Cómo se puede implementar el diseño de experimentos Taguchi para la optimización del piñón de cadena?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

La calidad en un producto es uno de los factores más importantes a la hora de su elaboración para dar a conocer si se cumple con los resultados esperados, para ello no solo basta con realizar inspecciones o pruebas finales, también se debe optar por técnicas y herramientas que nos permitan identificar, medir, controlar y reducir la variación en los procesos, para el mejoramiento y calidad de la fabricación. Aunque en todo proceso hay factores que no pueden ser controlados generando productos de calidad variable; en el proyecto se pretende buscar los diferentes tipos de parámetros que pueden afectar en el proceso de calidad, permitiendo el cumplimiento con las especificaciones del producto y del cliente propuestas.

Con este proyecto se busca seguir la metodología de Taguchi basado en el control estadístico de la calidad mencionado anteriormente, “contribuyendo a la reducción en los costos, la mejora en el diseño de productos, aumentar la satisfacción del cliente y los parámetros de fabricación en los procesos de mecanizado los cuales se escogieron para la elaboración del producto final”. (Torcuato Castillo)

Para la realización de ello, se debe realizar diferentes tipos de prueba revelando los diferentes elementos mencionados por Taguchi como la pérdida de calidad, los arreglos ortogonales al diseño de experimentos y el índice de capacidad de procesos, donde se evidencia el cambio o no del producto sin alterar la relación de uso y función con los usuarios.

## 1.3. OBJETIVOS

### 1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar los procesos de mecanizado realizados en la elaboración de un piñón de cadena mediante la implementación de la metodología de Taguchi.

### 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros de mecanizado requeridos para la fabricación de los piñones en la fresadora.
- Fabricar los piñones de cadena variando los parámetros de operación de la máquina a través del diseño anteriormente realizado.
- Realizar un análisis comparativo a la calidad superficial de los piñones a través del ensayo de rugosidad.

## 1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

Según Hernández, A. Guillón, M. y García, L. (2014) en el artículo La Metodología de Taguchi en el Control Estadístico de la Calidad aporta que la filosofía de calidad de Taguchi se basa en tres conceptos fundamentales. En primer lugar, considera que el diseño en la fase inicial del producto es fundamental para lograr la calidad en el resultado final. Por otra parte, sostiene que la calidad de los productos mejora cuando se minimiza la variabilidad en torno al valor nominal u objetivo. Por último, entiende a los costos de la no calidad como resultado del accionar de toda la organización en su conjunto y, en particular, como función de la variabilidad en los procesos. La visión de Taguchi se manifiesta en sus contribuciones más reconocidas a la mejora de la calidad, entre las que se destacan: la Función Pérdida de Calidad, la incorporación de los Arreglos Ortogonales en la implementación del Diseño de Experimentos, el índice de Señal / Ruido y el índice de Capacidad de Procesos Constituyen herramientas valiosas del Control Estadístico de la Calidad para la identificación, medición, control y reducción de la variación de los procesos. (Hernandez , Guillon , & Garcia, 2014)

La calidad de productos y servicios es en la actualidad un factor de interés en la mayor parte de las organizaciones. Para lograr la calidad deseada en un producto o servicio no basta con realizar inspecciones o pruebas finales; por el contrario, se debe actuar apropiadamente desde el diseño y a lo largo de los procesos de producción o de prestación, de manera tal que los resultados resulten de acuerdo con lo esperado. Pero en la realidad todo proceso es afectado por factores que no pueden ser controlados, generando así un producto o servicio de calidad variable. Es por ello que controlar la calidad en un producto o servicio es, en realidad, controlar la variabilidad del proceso que lo origina. Las organizaciones deben valerse de técnicas y herramientas que les permitan identificar, medir, controlar y reducir la variación en los procesos, para concretar así las acciones de mejora de la calidad apropiadas.

Según Valverde, J (2006) en su tesis de grado de Utilización de Métodos Sistemáticos para el Diseño de Productos: Caso de un Porta bebidas para Automóviles para optar el título de Ingeniero Industrial dice: Puede argumentarse que no es muy diferente de los métodos convencionales de sensibilidad estadística, y existen ciertas controversias sobre la validez estadística de los razonamientos y los análisis de Taguchi. Realmente, toda la base estadística en la que se apoya Taguchi era bien conocida y aplicada antes de que planteara su método. Lo novedoso del mismo es el concepto de emplear como trasfondo del diseño la calidad y el optimizar el producto y proceso para conseguir mayor precisión al tratar de alcanzar las especificaciones. Una vez más, la integración del diseño de producto y la ingeniería de procesos se revela como fundamental para garantizar la calidad del conjunto. (Valverde Islas, 2006)

El ciclo de vida de cualquier producto parte de una necesidad detectada (mediante encuestas, estudios de mercado, etc.). Identificar los clientes, organizar sus necesidades de una forma estructurada y conocer su opinión sobre la empresa y la competencia es la misión de las dos primeras fases del QFD (despliegue de la función de calidad). Esta técnica, aunque está presente en todas las etapas de diseño, irá proporcionando resultados parciales que servirán de punto de partida al resto de técnicas de diseño sistemático aquí presentadas. Por ejemplo, la lista de necesidades es la base del Análisis Funcional, cuyo cometido es convertir las necesidades en funciones concretas, y éstas, en cada uno de los subsistemas que componen un producto. A su vez, los resultados del Análisis Funcional constituyen la entrada para las técnicas del Análisis de Valor e Ingeniería del Valor, mediante las que se decidirá qué alternativa de solución es más adecuada (mayor valor a menor costo) para materializar (diseño de detalle) los subsistemas identificados.

Según González G. C, domingo, N. R y Sebastián, P. M. (1997) en su libro Métodos estadísticos: control y mejora de la calidad. Las primeras ideas para conseguir el aseguramiento de la calidad de un producto centrandolo los esfuerzos especialmente en su fase de diseño, se deben al ingeniero Genichi Taguchi, quien comenzó a aplicar las técnicas de diseño de productos robustos a comienzos de los años 80. Divide la etapa de diseño del producto en tres fases claramente diferenciadas: Diseño primario: consiste en el diseño conceptual o funcional del producto para responder a una necesidad del mercado. En esta fase utilizan conocimientos especializados del dominio. Diseño secundario, o diseño de los parámetros: consiste en la obtención de los valores nominales óptimos de los factores, para minimizar la variabilidad de las características de calidad del producto. En esta fase se necesita de la colaboración de los técnicos del producto y de personal conocedor de las técnicas estadísticas de diseño y análisis de experimentos. Diseño terciario: diseño de tolerancias, para garantizar la mínima variabilidad requerida, cuando la variabilidad final del diseño secundario es todavía excesiva. En este capítulo presentaremos las técnicas estadísticas que ayudan a la consecución del diseño secundario o diseño de parámetros. Estas técnicas comprenden la selección de una matriz de diseño adecuada y el análisis e interpretación de los resultados. (González , Domingo, & P. M., 1997)

Según Heredia, J. A (2001) en su libro: Sistema de indicadores para la mejora y el control integrado de la calidad de los procesos. La concepción de la calidad de Taguchi entendida como las pérdidas mínimas que ocasiona un producto enlaza con la idea de la protección medioambiental y de la seguridad del producto referida al consumidor final y a los trabajadores. Parece coherente, dentro de este concepto, la inclusión de las pérdidas de energía o de materia prima. Esta técnica ha sido empleada por numerosas empresas japonesas y de ellas se ha extendido su uso a Occidente, fundamentalmente en el sector de automoción. (Heredia, 2001)

Según Hernández G. L, Roberto P. R, Zambrano R. P, Guerrero M. M, Dumitrescu L. (2012) en el Artículo sobre Análisis experimental del torneado de alta velocidad del acero AISI 1045. La capacidad de predecir la vida útil de la herramienta de corte es necesaria para el diseño y la estrategia de cambio de las mismas, así como para la determinación de las condiciones de corte. Algunos de los problemas que se presentan son la complejidad del proceso de maquinado y la carencia de datos apropiados. La situación es agravada adicionalmente por el desarrollo continuo e introducción de nuevos materiales de herramientas de corte, materiales de trabajo y por los cambios en las condiciones de maquinado. (Hernandez Gonzalez, Perez Rodriguez , Zambrado Robledo, Guerrero Mata, & Dumitrescu, 2012)

Por lo tanto, el desgaste de la herramienta de corte se convierte en un factor importante durante el proceso de maquinado. Además, si una herramienta desgastada no es identificada con la suficiente prontitud, puede ocurrir una degradación significativa de la calidad superficial, de la exactitud de elaboración y, por ende, un incremento de los costos de fabricación. Es necesario medir el desgaste, así como la comprensión de los mecanismos de desgaste en la herramienta de corte. Este último es clasificado como desgaste del flanco, caracterización de la superficie de ataque, desgaste de la nariz y astillado. En la práctica, el desgaste del flanco es el más utilizado en la determinación de la vida útil de la herramienta. El desgaste del flanco se debe al desgaste adhesivo o abrasivo causado por las fases endurecidas del material de la pieza.

Hastings y Oxley (1976), Opitz y Konig (1967) han planteado que los mecanismos de desgaste predominantes (con su correspondiente velocidad y temperatura) a bajas velocidades y temperaturas de corte es el de abrasión, seguido por la adhesión para moderadas velocidades y temperaturas, y la difusión a elevadas velocidades y temperaturas. Para atenuar los efectos del desgaste de las herramientas en el maquinado se utilizan los fluidos de corte, que influyen esencialmente en la disminución de la temperatura del proceso de corte de metales. El impacto de los fluidos de corte en la salud del operario y en el medio ambiente ha sido ampliamente investigado y en las últimas décadas ha crecido el interés de encontrar alternativas para disminuir o eliminar estos inconvenientes.

Con lo anterior se puede decir que la calidad en cada uno de los productos que se requieren dentro de cualquier proceso, debe de presentarse y diseñarse en forma óptima para obtener resultados duraderos y confiables.

## 2. MARCOS REFERENCIALES

### 2.1. CONCEPTOS

- **Calidad:** La Calidad es aquella cualidad de las cosas que son de excelente creación, fabricación o procedencia, Calidad describe lo que es bueno, por definición, todo lo que es de calidad supone un buen desempeño. (ConceptoDefinición, 2019)
- **Torno:** Tornear es quitar parte de una pieza mediante una cuchilla u otra herramienta de corte para darle forma (moldear).

El torno es una máquina-herramienta que realiza el torneado rápido de piezas de revolución de metal, madera y plástico. También se utiliza en muchas ocasiones para pulir piezas. Piezas de revolución: cilindros, conos y hélices. Pulir: Alisar una pieza para dejarla suave y brillante.

El torneado es, posiblemente la primera operación de mecanizado (dar forma a una pieza) que dio lugar a una máquina-herramienta. A parte de tornear el torno se puede utilizar para el ranurado (hacer ranuras en piezas), para cortar, lijar y pulir. Luego veremos los trabajos más comunes con el torno. (Garavito, 2007)

#### ¿Cómo da Forma un Torno?

Partiendo de una pieza llamada "base", se va eliminando las partes con la cuchilla a la pieza base hasta dejarla con la forma que queramos.

El movimiento principal en el torneado es el de rotación y lo lleva la pieza a la que vamos a dar forma. Los movimientos de avance de la cuchilla y de penetración (meter la cuchilla sobre la pieza para cortarla) son generalmente rectilíneos y son los movimientos que lleva la herramienta de corte.

En resumen, tenemos 3 movimientos básicos:

Movimiento de rotación: La pieza se coloca sobre un eje que la hace girar sobre sí misma.

Movimiento de Avance: La cuchilla avanza paralela a la pieza en un movimiento recto.

Movimiento de Penetración: La cuchilla penetra contra la pieza cortando parte de ella formándose virutas.

Figura 2. Torno



Fuente: (Revista educativa Tiposde.com, 2015).

- **Elemento mecánico:** son las piezas de metal o de otros materiales que constituyen los elementos de una máquina.

Figura 3. Elementos mecánicos



Fuente: (proveedores.com)

- Fresadora:** Una fresadora es una máquina-herramienta con un eje horizontal o vertical sobre el que gira una herramienta de corte llamada "fresa" y que tiene una mesa horizontal en la que se coloca o fija una pieza de trabajo a la que daremos forma (mecanizar) con la fresa. Al llevar la fresa hacia la pieza de trabajo situada en la mesa, la fresa la corta y le da forma. (Area Tecnologia )

Figura 4. Fresadora



Fuente: (Tomada de como-funciona.co, enero 14 de 2018)

- Diseño Mecánico:** hace referencia al diseño de objetos o sistemas de naturaleza mecánica, es decir, piezas, estructuras, mecanismos, dispositivos, máquinas e instrumentos con fines diversos. (Blog ingeniería)
- Proceso:** Un proceso es una secuencia de pasos dispuesta con algún tipo de lógica que se enfoca en lograr algún resultado específico.
- Mecanizado de piezas:** se refiere a procesos de fabricación, un conjunto de operaciones donde se forman las piezas a través de la separación de material.
- Experimentos:** Es un proceso complejo en el que se emplean medidas y se realizan pruebas para comprobar y estudiar algún proceso antes de ejecutarlo por completo.
- Herramienta:** es aquel elemento elaborado con el objetivo de hacer más sencilla una determinada actividad o labor mecánica.

Figura 5. Herramientas



Fuente: (¿Cómo alargar la vida útil de las herramientas manuales?, 2018)

- **Materiales:** se hace referencia por lo general al conjunto de elementos que son necesarios para actividades o tareas específicas.
- **Arreglo ortogonal:** es una herramienta ingenieril que simplifica y en algunos casos elimina gran parte de los esfuerzos de diseño estadístico.
- **Calidad Superficial:** Una superficie perfecta es una abstracción matemática, ya que cualquier superficie real por perfecta que parezca, presentará irregularidades que se originan durante el proceso de fabricación. El aspecto o calidad superficial de una pieza depende del material empleado en su fabricación y del proceso seguido para su terminación. Obviamente la función a realizar por la pieza será la que nos indique su grado de acabado superficial, que debe especificarse en el diseño previo.
- **Mecanizado:** es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante la eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión.
- **Rugosidad:** es el conjunto de irregularidades que posee una superficie. La mayor o menor rugosidad de una superficie depende de su acabado superficial. Éste, permite definir la micro geometría de las superficies para hacerlas válidas para la función para la que hayan sido realizadas. Es un proceso que, en general, habrá que realizar para corregir los errores de forma y las ondulaciones que pudiesen presentar las distintas superficies durante su proceso de fabricación. (Rodríguez)



Muchos de los que practican los métodos de Taguchi en Estados Unidos piensan que las prácticas de control de calidad descritas más adelante a la larga suplantarán al control estadístico de la calidad, como ha sucedido en gran medida en Japón.

A continuación, se expone una visión general de la filosofía de la calidad sostenida por Taguchi. (Giugni, 2009)

### **La filosofía de la calidad de Taguchi:**

1. Un aspecto importante de la calidad de un producto manufacturado es la pérdida total generada por ese producto a la sociedad.
2. En una economía competitiva, el mejoramiento continuo de la calidad y la reducción de los costes son imprescindibles para subsistir en la industria.
3. Un programa de mejoramiento continuo de la calidad incluye una incesante reducción en la variación de las características de performance del producto con respecto a sus valores objetivo.
4. La pérdida del consumidor originada en una variación de la performance del producto es casi siempre proporcional al cuadrado de la desviación de las características de performance con respecto a su valor objetivo. Por eso, la medida de la calidad se reduce rápidamente con una gran desviación del objetivo.
5. La calidad y el coste final de un producto manufacturado están determinados en gran medida por el diseño industrial del producto y su proceso de fabricación.
6. Una variación de la performance se puede reducir aprovechando los efectos no lineales/conjuntos de los parámetros del producto (o proceso) sobre las características de performance.
7. Los experimentos estadísticamente planificados se pueden utilizar para determinar los parámetros del producto (o proceso) que reducen la variación de la performance.

### **• PARÁMETROS DE MECANIZADO**

En el torneado hay cuatro parámetros importantes:

#### ✓ Velocidad de corte (Vc):

Se define como la velocidad lineal en la zona que se está mecanizando. Una velocidad alta de corte permite realizar el mecanizado en menos tiempo, pero acelera el desgaste de la herramienta. La velocidad de corte se expresa en metros/minuto o pies/minuto.

Por medio de investigaciones de laboratorio ya se han determinado velocidades de corte para los materiales más usados (Ver Anexo 1). Los factores que influyen en la velocidad de corte son:

- Calidad del material de los buriles y sus dimensiones.
- Calidad del material que se va a trabajar.
- Avance y profundidad de corte de la herramienta.
- Uso del fluido de corte (aceite soluble en agua).
- Tipo de montaje del material.
- Tipo de montaje de la herramienta

✓ Velocidad de rotación de la pieza (N):

Normalmente expresada en revoluciones/minuto (rpm). Se calcula a partir de la velocidad de corte y del diámetro mayor de la pasada que se está mecanizando. Como las velocidades de corte de los materiales ya están calculadas y establecidas en tablas, solo es necesario que la persona encargada calcule las RPM a que debe girar la copa, para trabajar los distintos materiales. Las revoluciones en el torno se pueden.

✓ Avance (f):

Definido como la velocidad en la que la herramienta avanza sobre la superficie de la pieza de trabajo, de acuerdo al material. Se puede expresar como milímetros de avance/revolución de la pieza, o como -pulgadas-revolución.

✓ Profundidad de pasada:

Es la distancia radial que abarca una herramienta en cada fase de trabajo, es decir que tanto material remueve en cada pasada que se hace. Depende del material de la pieza y de la potencia del torno.

• **MEDIDA DE LA RUGOSIDAD**

➤ Comparadores viso táctiles:

Elementos para evaluar el acabado superficial de piezas por comparación visual y táctil con superficies de diferentes acabados obtenidas por el mismo proceso de fabricación.

➤ Rugosímetro de palpador mecánico:

Instrumento para la medida de la calidad superficial basado en la amplificación eléctrica de la señal generada por un palpador que traduce las irregularidades del perfil de la sección de la pieza. Sus elementos principales son el palpador, el mecanismo de soporte y arrastre de éste, el amplificador electrónico, un calculador y un registrador.

➤ Rugosímetro de Palpador inductivo:

El desplazamiento de la aguja al describir las irregularidades del perfil modifica la longitud del entrehierro del circuito magnético, y con ello el flujo de campo magnético que lo atraviesa, generando una señal eléctrica.

➤ Rugosímetro de Patín mecánico:

El patín describirá las ondulaciones de la superficie mientras la aguja recorra los picos y valles del perfil. Así se separan mecánicamente ondulación y rugosidad que son simplemente desviaciones respecto de la superficie geométrica con distinta longitud de onda.

➤ Rugosímetro: Filtrado eléctrico:

La señal eléctrica procedente del palpador puede pasar a un filtro para eliminar las ondulaciones, esto es, disminuir la amplitud de sus componentes a partir de una longitud de onda  $\lambda$ , (longitud de onda de corte).

➤ Rugosímetro de palpador mecánico:

Actualmente los rugosímetros permiten calcular y tratar numerosos parámetros de rugosidad, compensar la forma de la pieza o programar la medida.

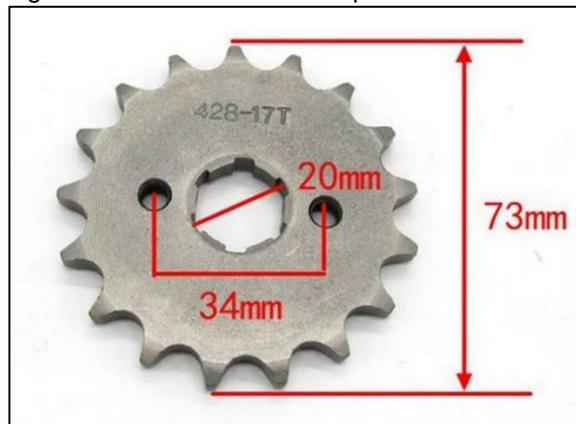
### 3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

El piñón es una pieza fundamental que hace parte de un mecanismo, su función es transmitir movimiento y potencia de manera efectiva ya sea en motocicletas, bicicletas, máquinas, etc., en cuanto al piñón elaborado gracias a la colaboración de un experto en mecánica industrial enfocado en la reparación de autopartes para motocicletas de bajo, medio y alto cilindraje ubicado en el centro de la ciudad de Bucaramanga se obtuvieron los conocimientos necesarios para la realización de este tipo de elemento mecánico. Además de esto, se dio a conocer que es de fácil fabricación y de un costo asequible para el desarrollo de este proyecto.

#### 3.1. SELECCIÓN TECNOLÓGICA DEL PIÑÓN DE ESTUDIO

Se determina realizar un piñón de cadena de paso 428 con 17 dientes en acero 1045, usado normalmente en motos de dos y cuatro tiempos; ya sea de 110 CC. hasta 150 CC., tomando como referencia marcas reconocidas en el mercado como Yamaha, Suzuki, Honda, AKT, Sigma; las cuales utilizan este tipo de piñón que es seleccionado dependiendo del paso de la cadena y el diámetro del eje. Desde el semillero de investigación de Ingeniería y Mecánica Automotriz se estudia los diferentes procesos que afectan la calidad de los elementos mecánicos de uso en la Industria Automotriz. Los piñones son elementos que permiten la transmisión de fuerza y velocidad, y es de gran importancia definir todos los parámetros que afecten la calidad superficial, ya que en la seguridad del diseño de cualquier motocicleta influyen estos factores. De esta manera se logró determinar que este piñón es con el cual se realizará y se empleará la metodología Taguchi y el ensayo de rugosidad. A continuación, se ilustrará el piñón con sus respectivas medidas.

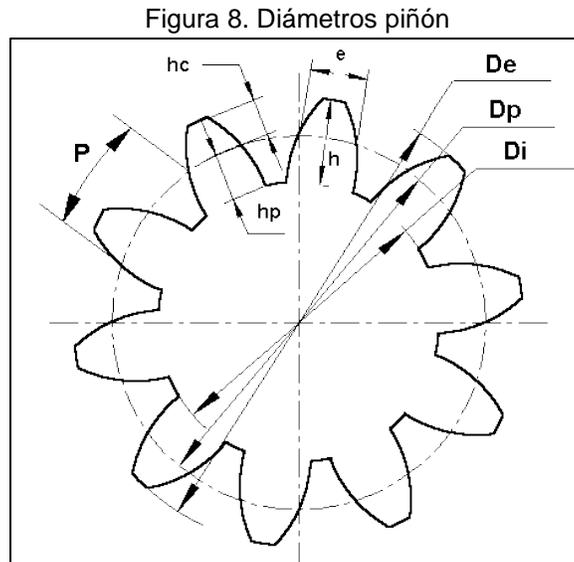
Figura 7. Piñón de cadena de paso 428 17 dientes



Fuente: (<https://i.ebayimg.com/images/g/tb8AAOSwsGpcAAJT/s-l1600.jpg>)

### 3.2. DISEÑO Y CALCULOS DEL PIÑÓN

Para este tipo de piñón es necesario 3 in/ 76.2 mm de diámetro exterior, se procede a calcular el módulo, el diámetro primitivo, diámetro interior, el paso del diente, espesor del diente, la altura total del diente y radio del pie del diente, por medio de las fórmulas generales expuestas en el libro Máquinas Cálculos de Taller. (Casillas, pág. 177).



Fuente: ("Engranajes, fórmulas")

Figura 9. Fórmulas Generales

P = Paso.	h = Altura total del diente.
M = Módulo.	L = Altura de la cabeza del diente.
Dp = Diámetro primitivo.	f = Altura del pie del diente.
De = Diámetro exterior.	R = Radio del pie del diente.
Di = Diámetro interior.	A = Distancia entre ejes o centros.
c = Espacio entre dientes.	
e = Espesor del diente.	
$M = \frac{P}{\pi} = \frac{Dp}{N} = \frac{De}{N+2}$	$e = \frac{P}{2} = M \times 1,5708.$
$P = M \times \pi.$	$h = M \times 2,167.$
$Dp = M \times N.$	$A = \frac{Dp + dp}{2} = \frac{N + n}{2} \times M.$
$De = M \times (N + 2).$	$L = M.$
$Di = Dp - (2M \times 1,167).$	$f = M \times 1,167$
$c = \frac{P}{2} = M \times 1,5708.$	$R = 0,3 \times M = \frac{c}{6}.$
	(Máximo.) (Mínimo.)

Fuente: (Casillas, pág. 177)

Tabla 1. Cálculos realizados

$\text{Modulo} = \frac{\text{Diametro exterior}(De)}{\text{Numero de dientes} + 2} = \frac{76.2 \text{ mm}}{17 + 2} = 4.0105 \text{ mm}$
$\text{Diametro primitivo}(Dp) = \text{Modulo} \times \text{numero de dientes}$ $Dp = 4.0105 \text{ mm} \times 17 = 68.1789 \text{ mm}$
$\text{Diametro interior}(Di) = \text{Diametro Primitivo}(Dp) - (2 \times \text{Modulo} \times 1.167)$ $Di = 68.1789 \text{ mm} - (2(4.0105) \times 1.167) = 58.8184 \text{ mm}$
$\text{Paso del diente} (P) = \text{Modulo} \times \pi = 4.0105 \text{ mm} \times \pi = 12.5993 \text{ mm}$
$\text{Espesor del diente}(e) = \frac{\text{Paso}}{2} = \frac{12.5993 \text{ mm}}{2} = 6.2996 \text{ mm}$ $\text{Altura total del diente}(h) = \text{Modulo} \times 2.167 = 4.0105 \text{ mm} \times 2.167 = 8.6907 \text{ mm}$
$\text{Radio maximo pie del diente} (Rmax) = 0.3 \times \text{Modulo}$ $Rmax = 0.3 \times 4.0105 \text{ mm} = 1.2031 \text{ mm}$
$\text{Radio minimo pie del diente} (Rmin) = \frac{\text{Espesor del diente}(e)}{6}$ $Rmin = \frac{6.2996 \text{ mm}}{6} = 1.0499 \text{ mm}$

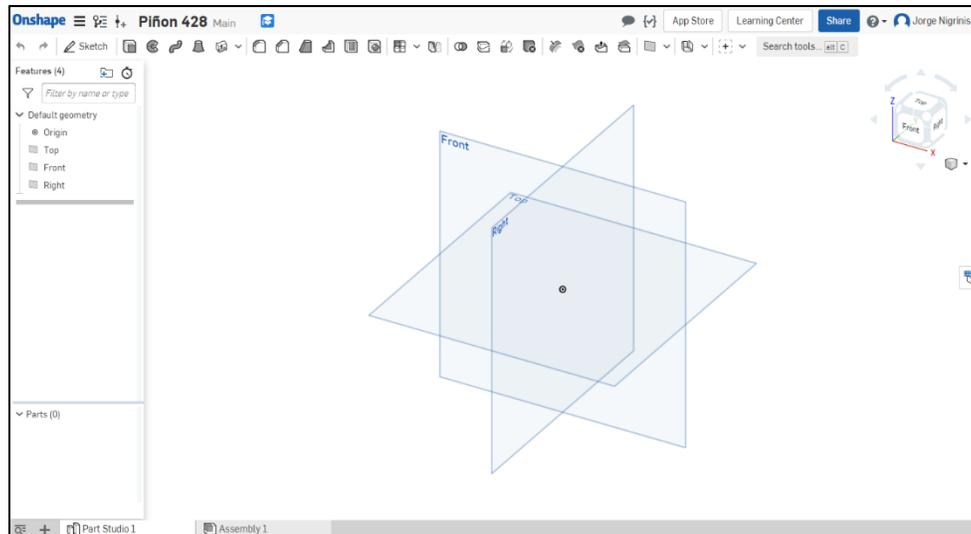
Fuente: Autor

### 3.3. MODELADO DEL PIÑÓN

El modelado del piñón de cadena de paso 428 con 17 dientes se realiza por medio de una plataforma virtual llamada OnShape, la cual es una herramienta similar a SolidWorks que permitió realizar el modelado del piñón fácilmente.

- En primer lugar, se da ingreso a la aplicación por medio de la página web [www.Onshape.com](http://www.Onshape.com) y se realiza el registro pertinente, de esta manera se puede iniciar el modelado del elemento deseado.

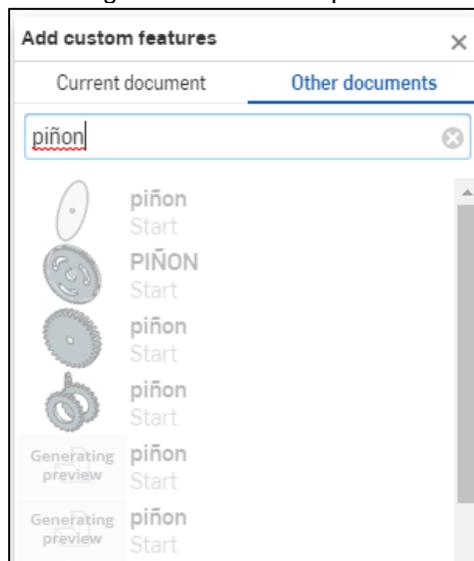
Figura 10. Aplicación Onshape



Fuente: Autor

- Luego, con la ayuda de esta plataforma se usa la herramienta “add custom features” la cual contiene figuras ya prediseñadas y se realiza la búsqueda de un piñón, seleccionando el indicado.

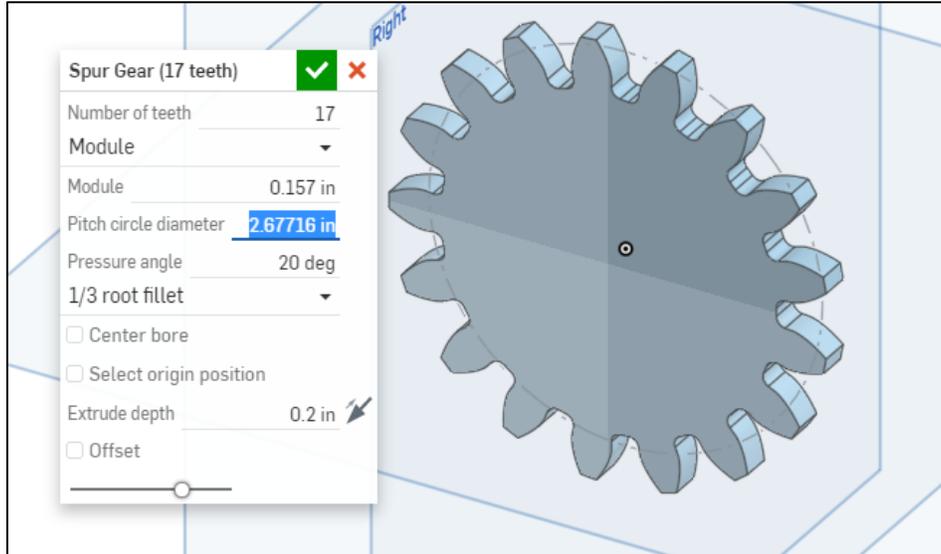
Figura 11. Modelado paso 1



Fuente: Autor

- Después, se modifica el prediseño del piñón de acuerdo a los cálculos y parámetros iniciales de fabricación ya descritos anteriormente.

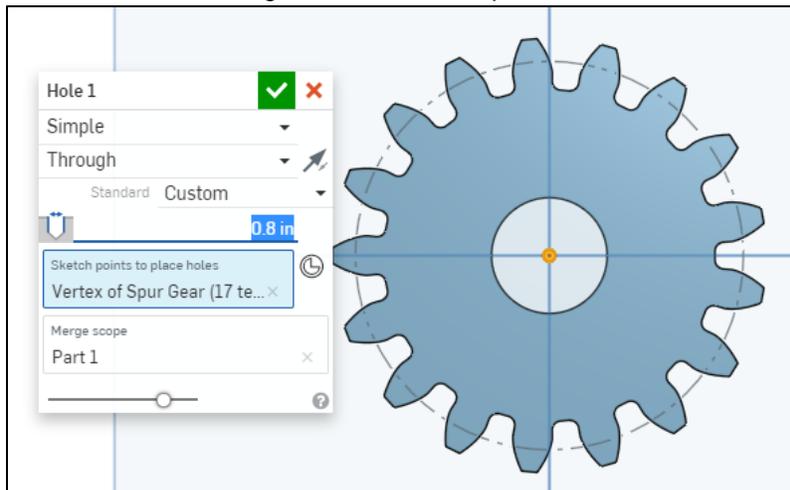
Figura 12. Modelado paso 2



Fuente: Autor

- A continuación, se realiza una abertura en el centro del piñón por medio de la herramienta Hole de 0.8 pulgadas.

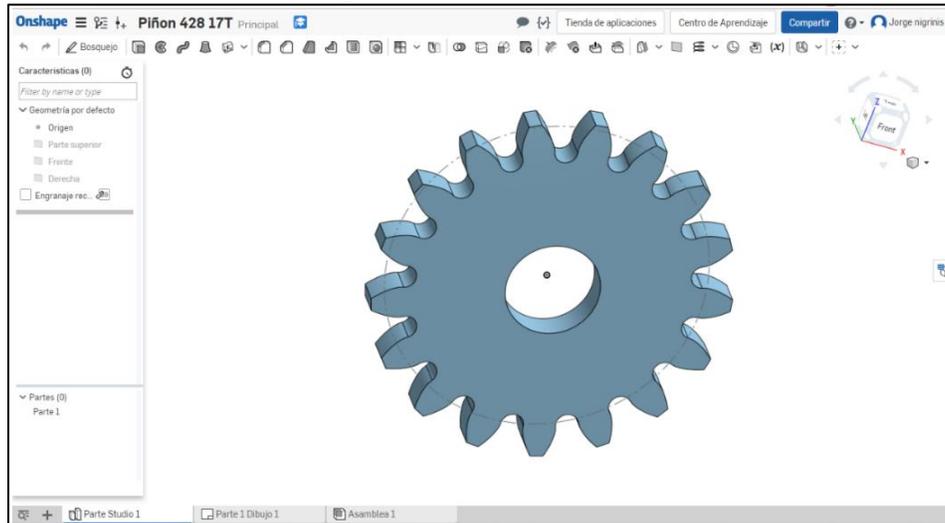
Figura 13. Modelado paso 3



Fuente: Autor

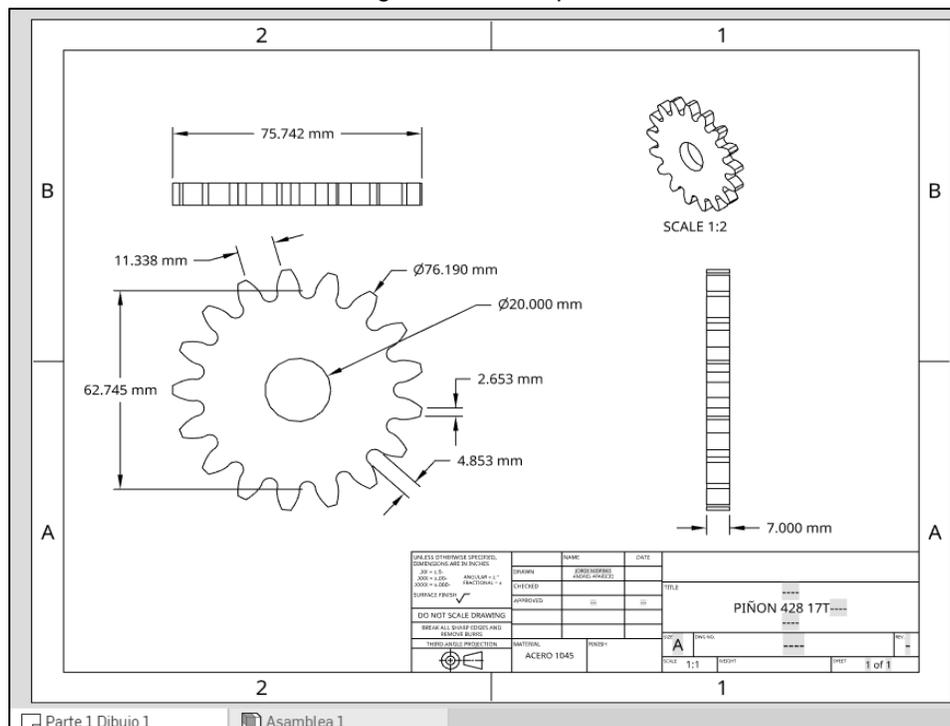
- Por último, se realizan los planos y el modelado final del piñón con sus medidas correspondientes.

Figura 14. Modelado paso 4



Fuente: Autor

Figura 15. Plano piñón



Fuente: Autor

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

### 3.4. IMPLEMENTACIÓN METODOLOGÍA TAGUCHI

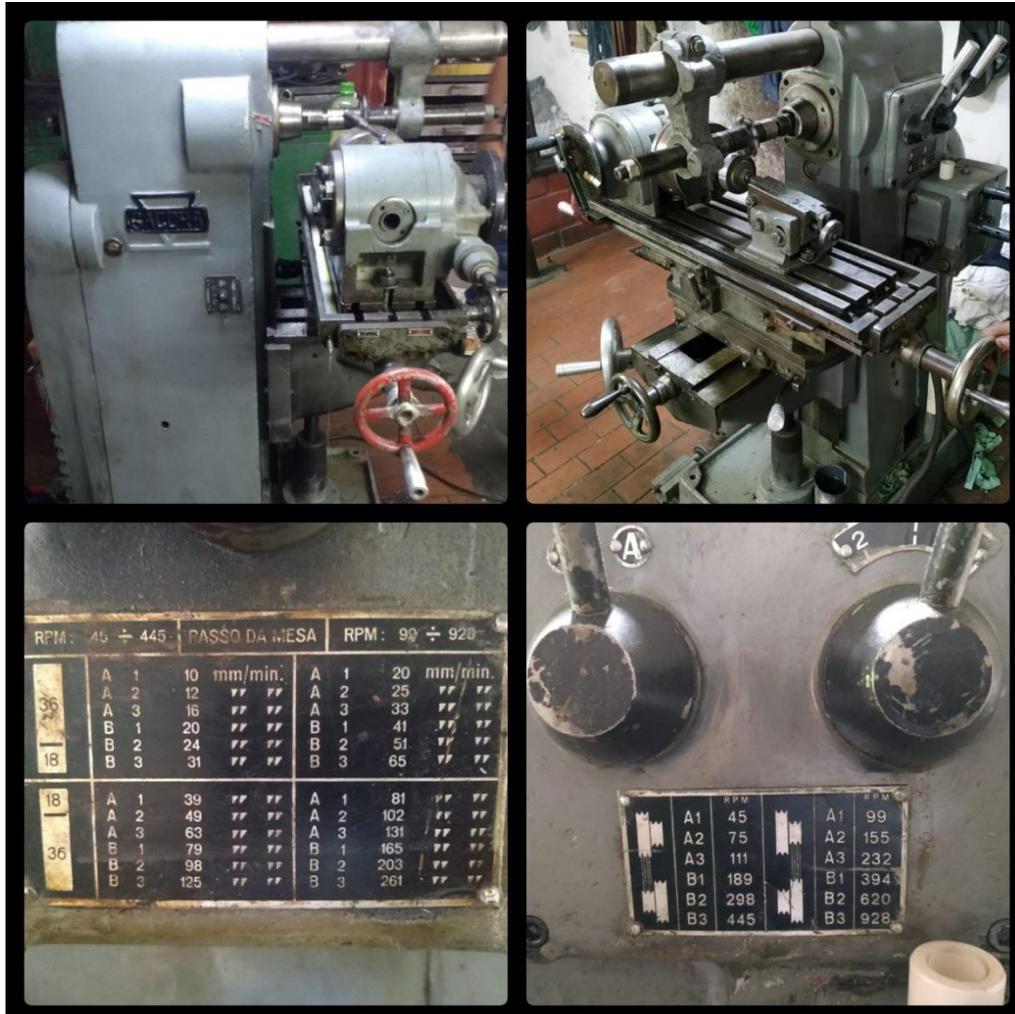
En esta fase se establecen los parámetros iniciales, los cuales dependen de las máquinas (Torno y fresadora), en este caso se centró en la fresadora ya que da el acabado de la pieza y de ella depende el cambio en la calidad de los piñones. No obstante, cabe mencionar que las piezas se tornearon en un torno de marca Imaturn Super Lathe (Fig. 16) y se fresaron en una fresadora de marca Gacora (Fig. 17) con la ayuda de una persona especializada en los procesos de mecanizado en un taller ubicado en el centro de la ciudad.

Figura 16. Torno empleado



Fuente: Autor

Figura 17. Fresadora empleada



Fuente: Autor

### 3.4.1. SELECCIÓN DE PARAMETROS INICIALES

Como se puede observar en la Figura 16, esta fresadora maneja dos niveles con 3 diferentes velocidades, por lo tanto, se empleó el nivel A ya que el tipo de corte y el tipo de material no requiere de una velocidad de rotación muy superior a la de 111 rpm. De acuerdo a lo anterior y ya conociendo el diseño y el material del piñón se procede a realizar y determinar los cálculos de los parámetros de operación de la fresadora, expuestos en las siguientes tablas:

Tabla 2. Ecuaciones fresadora

$\text{Velocidad de corte (Vc)} = \frac{\text{RPM} \times \pi \times \text{Diametro material}}{1000}$
$Vc1 = \frac{45 \text{ Rpm} \times \pi \times 76.2 \text{ mm}}{1000} = 10.7725 \frac{\text{m}}{\text{min}}$
$Vc2 = \frac{75 \text{ Rpm} \times \pi \times 76.2 \text{ mm}}{1000} = 17.9542 \frac{\text{m}}{\text{min}}$
$Vc3 = \frac{99 \text{ Rpm} \times \pi \times 76.2 \text{ mm}}{1000} = 23.6995 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

Fuente: Autor

Tabla 3. Parámetros iniciales

	Velocidad de corte ( $\frac{\text{m}}{\text{min}}$ )	Profundidad de corte (mm)	Avance ( $\frac{\text{mm}}{\text{sg}}$ )
<b>A</b>	10.7725	4	10
<b>B</b>	17.9542	6	12
<b>C</b>	23.6995	8	16

Fuente: Autor

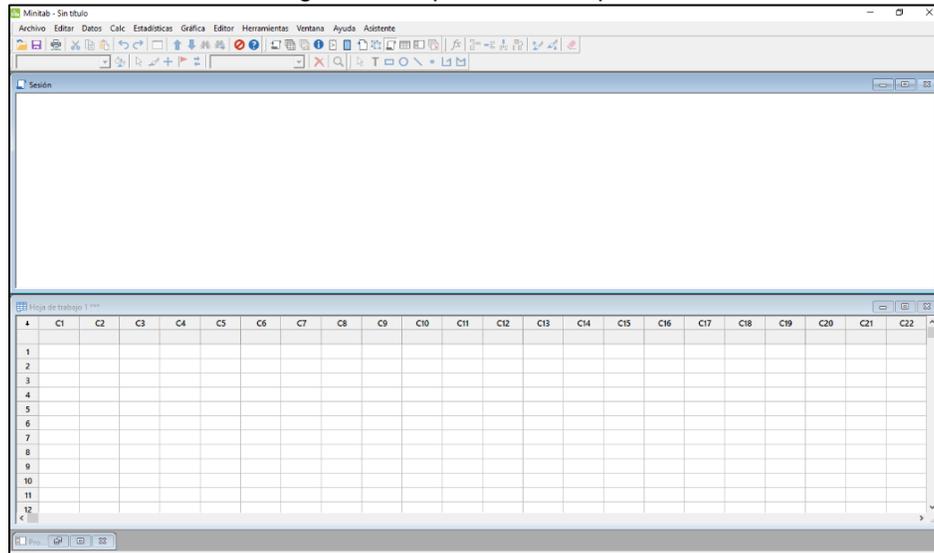
En la Tabla 3 se pueden observar los parámetros seleccionados que se tendrán en cuenta a la hora de realizar la implementación de la metodología, cabe resaltar que la velocidad de rotación(N) hace parte del cálculo de la velocidad de corte (Vc) con lo cual se evidencia que son tres y no cuatro parámetros como está estipulado en el marco teórico.

### 3.4.2. EXPERIMENTO DE MATRIZ ORTAGONAL

Ya con los parámetros de operación iniciales de la fresadora establecidos, se procede a realizar la implementación de la metodología de diseños de experimentos Taguchi, por medio de un programa estadístico llamado MiniTab el cual facilitó el proceso en la elaboración del piñón. A continuación, se describe el paso a paso llevado a cabo en el programa:

- Paso 1: se da apertura al programa MiniTab.

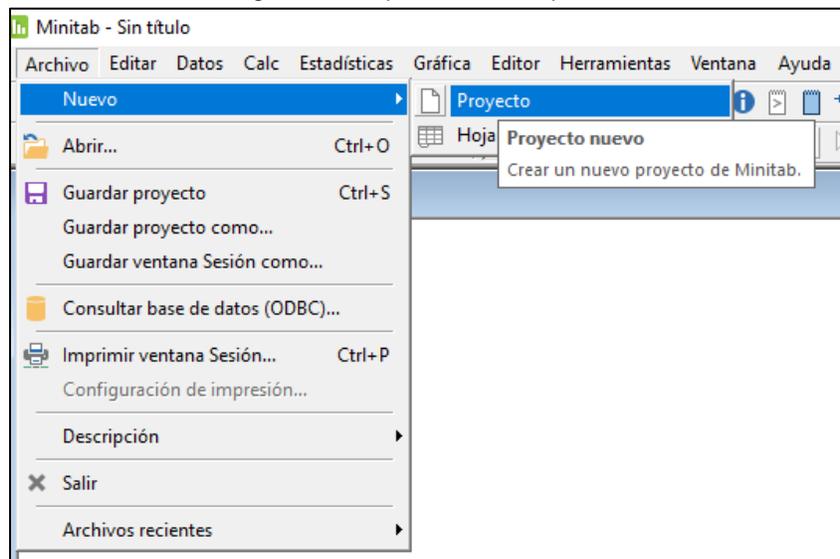
Figura 18. Implementación paso 1



Fuente: Autor

- Paso 2: Creación nuevo proyecto.

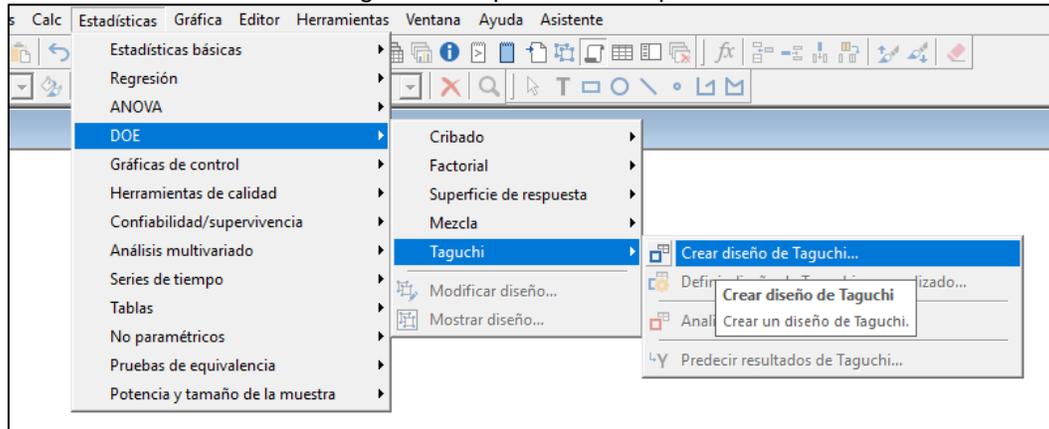
Figura 19. Implementación paso 2



Fuente: Autor

- Paso 3: crear diseño de Taguchi.

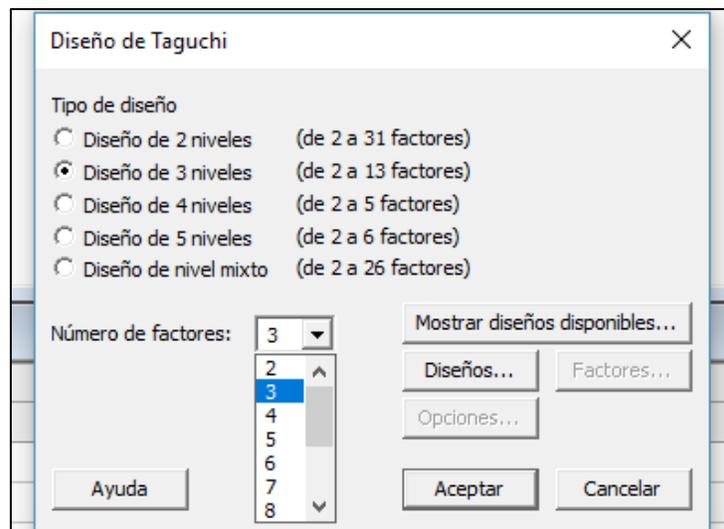
Figura 20. Implementación paso 3



Fuente: Autor

- Paso 4: Se escogen 3 niveles (Valores dados en la tabla 3) y 3 factores (Vel. De corte, Prof. De corte y avance dados en la tabla 3)

Figura 21. Implementación paso 4



Fuente: Autor

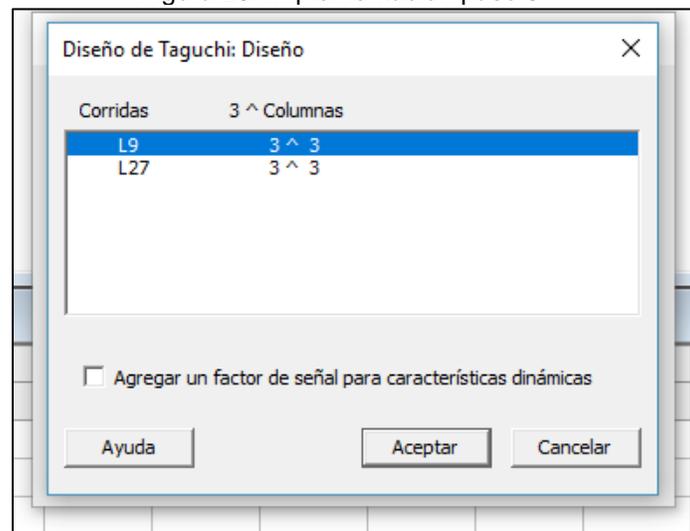
- Paso 5: se le da clic en la pestaña diseños y se selecciona la corrida L9 ya que está destinada a comprender el efecto hasta de 4 factores independientes, cada uno con 3 valores de nivel de factor, tal y como se observa en la tabla expuesta en el libro “Técnicas de mejora de la calidad”.

Figura 22. Ordenaciones ortogonales de Taguchi

Número de factores y niveles	Ordenación ortogonal
3 factores + 2 niveles	L4
7 factores + 2 niveles	L8
4 factores + 3 niveles	L9
11 factores + 2 niveles	L12
15 factores + 2 niveles	L16
8 factores + 3 niveles	L18
6 factores + 5 niveles	L25
13 factores + 3 niveles	L27

Fuente: (Gonzalez Gaya, Domingo Navas, & Sebastian Perez, 2013)

Figura 23. Implementación paso 5



Fuente: Autor

- Paso 6: se le da clic en la pestaña factores y se ingresan los valores dados en la tabla 3.

Figura 24. Implementación paso 6

Diseño de Taguchi: Factores

Asignar factores

A columnas del arreglo, tal como se especifica más adelante

Para permitir estimación de interacciones seleccionadas

Factor	Nombre	Valores de nivel	Columna	Niveles
A	Velocidad de co	10,7725 17,9542 23,6995	1	3
B	Profundidad de c	4 6 8	2	3
C	Avance (mm/sg)	10 12 16	3	3

Ayuda      Aceptar      Cancelar

Fuente: Autor

- Paso 7: Se le da clic en aceptar y se obtiene la tabla de pruebas L9 con la metodología Taguchi.

Figura 25. Implementación paso 7

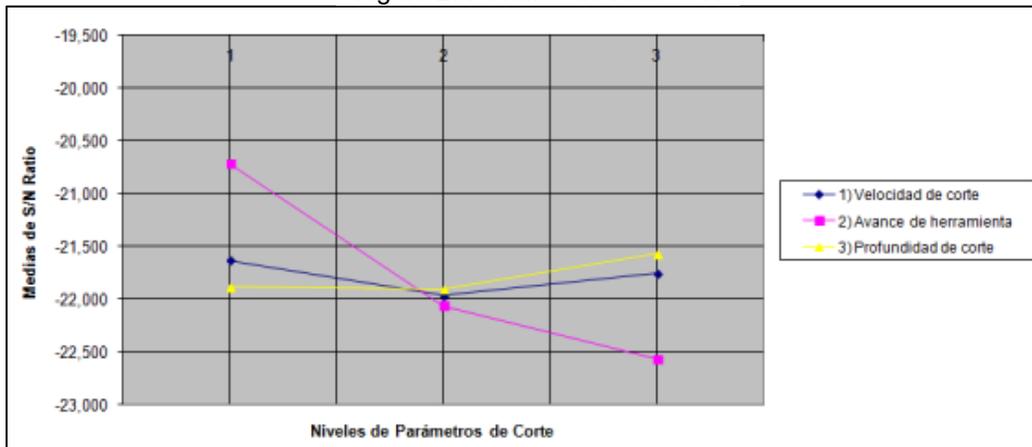
↓	C1	C2	C3
	Velocidad de corte (m/min)	Profundidad de corte (mm)	Avance (mm/sg)
1	10,7725	4	10
2	10,7725	6	12
3	10,7725	8	16
4	17,9542	4	12
5	17,9542	6	16
6	17,9542	8	10
7	23,6995	4	16
8	23,6995	6	10
9	23,6995	8	12

Fuente: Autor

### 3.4.3. ANALISIS DE RADIO S/N

Para la característica de la Rugosidad, se evalúa según la categoría: “Menor de la Mejor”. Independientemente de la categoría de la característica de calidad, una mayor relación de S/N corresponde a una mejor característica de calidad. Por lo tanto, el nivel óptimo de los parámetros del proceso es el nivel de mayor S/N. En el gráfico Fig. 24 podemos ver tres curvas correspondientes a cada parámetro y se observa que los mayores S/N de cada parámetro son:

Figura 26. Gráfico de radio S/N



Fuente: (Ibarrondo, Muravschik, & Garrera , pág. 8)

### 3.5. FABRICACIÓN DE LOS PIÑONES

En esta fase se fabricaron los nueve piñones de acuerdo a la tabla expuesta en la Figura 23 con cada uno de los valores establecidos en ella, se realiza el torneado y fresado de cada uno de los nueve elementos. En las siguientes figuras se ilustrará el procedimiento llevado a cabo en el taller, torneando y fresando los piñones que están enumerados tal cual como se observa en la figura anteriormente mencionada.

- **Torneado:**

Figura 27. Torneado de piñón 1



Fuente: Autor

Figura 28. Torneado de piñón 2



Fuente: Autor

Figura 29. Torneado de piñón 3



Fuente: Autor

Figura 30. Torneado de piñón 4



Fuente: Autor

Figura 31. Torneado de piñón 5



Fuente: Autor

Figura 32. Torneado piñón 6



Fuente: Autor

Este proceso se realiza 9 veces de la misma forma ya que son los 9 piñones a los cuales se le realizó el estudio.

- **Fresado:**

Figura 33. Fresado piñón 1



Fuente: Autor

Figura 34. Fresado piñón 2



Fuente: Autor

Figura 35. Fresado piñón 3



Fuente: Autor

Figura 36. Fresado Piñón 4



Fuente: Autor

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

Figura 37. Fresado piñón 5



Fuente: Autor

Figura 38. Fresado piñón 6



Fuente: Autor

Este proceso se realizó 9 veces variándole los parámetros iniciales de la fresadora de acuerdo a la tabla expuesta en la figura 39 y dando como resultado los 9 piñones ya establecidos en las siguientes imágenes:

Figura 39. Piñones terminados



Fuente: Autor

### 3.6. PRUEBA DE RUGOSIDAD

Ya con los 9 piñones terminados totalmente de acuerdo a lo descrito anteriormente, se procedió a realizar la prueba de rugosidad a través de un rugosímetro “Surface Roughness Tester JSR 210”, con las siguientes características:

Figura 40. Rugosímetro



Fuente: Autor

Tabla 4. Características rugosímetro

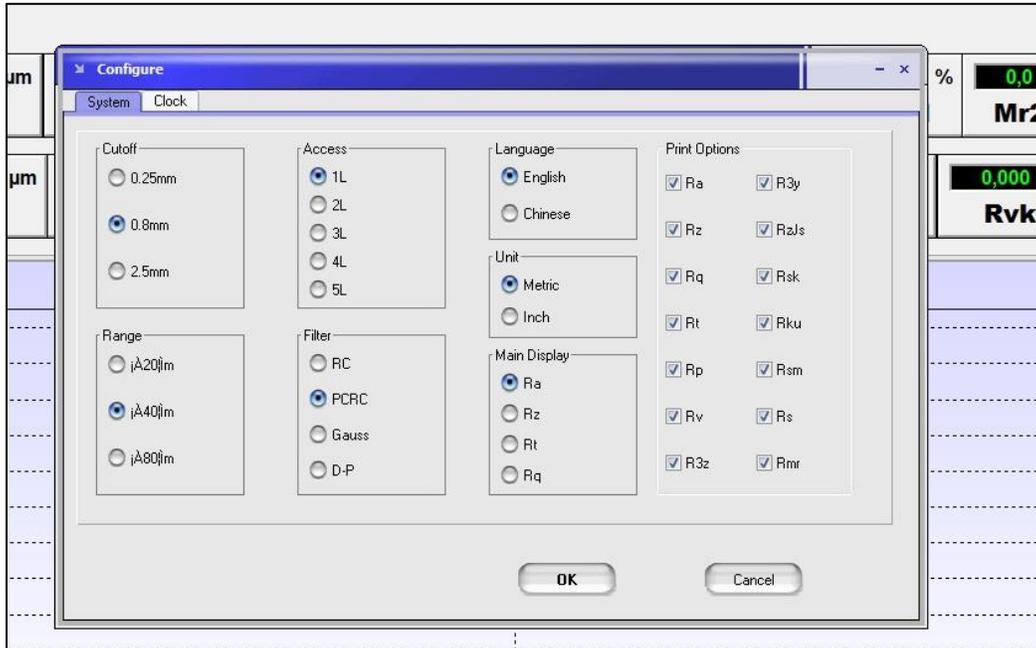
Testing parameters	Ra, Rz, Rq, Rt, Rp, Rv, R3z, R3y, RzJIS, Rsk, Rku, Rsm, Rmr, Rx.
Measuring Range (µm)	Ra: 0.005-16.000 Rz: 0.02-160.00.
Sample length (mm)	0.25, 0.80, 2.50.
Evaluation length (mm)	(1-5) L
Máximum drive stroke	17.5 mm/ 0.7 inch
Indication accuracy	0.001
Indication error	± (7-10) %
Variability	<6%
Data Storage	100 groups
Power	Rechargeable li-battery
Working temperature	-20°C – 40°C
Relative humidity	<90%
Size	158 mm X 63.5 mm X 46 mm
Weight of host	0.3 Kg

Fuente: Autor

Como se puede observar en la figura 47 el rugosímetro tiene un rango de 0.005 hasta de 16.000 micrómetros de medición en RA que es la media aritmética de los valores absolutos de los puntos de rugosidad, y de 0.02 hasta 160.00 de RZ que es la media aritmética de los valores de rugosidad parcial, también posee un porcentaje de error que oscila entre 7% y 10% lo que puede generar confiabilidad en los resultados. Teniendo en cuenta lo anterior se procede a realizar las pruebas de rugosidad en cada uno de los 9 piñones con su respectiva grafica ya que es el dato con el que se compara cada uno de ellos por medio del programa estadístico MiniTab, tomando el valor de RA.

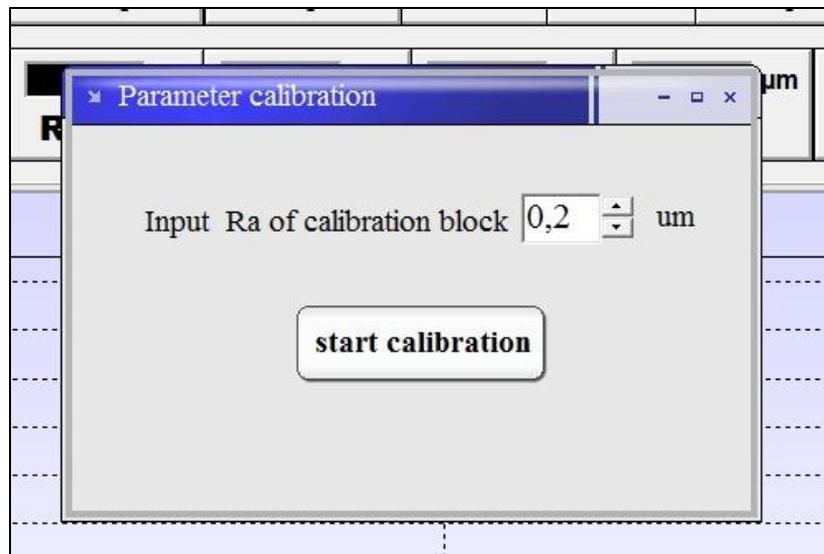
Para realizar la toma de estos valores se configuró el rugosímetro de la siguiente manera:

Figura 41. Configuración rugosímetro



Fuente: Autor

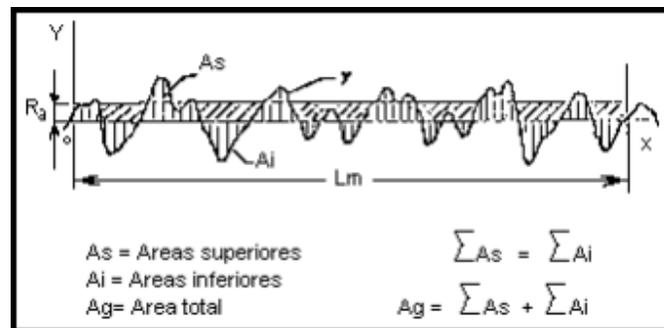
Figura 42. Calibración rugosímetro



Fuente: Autor

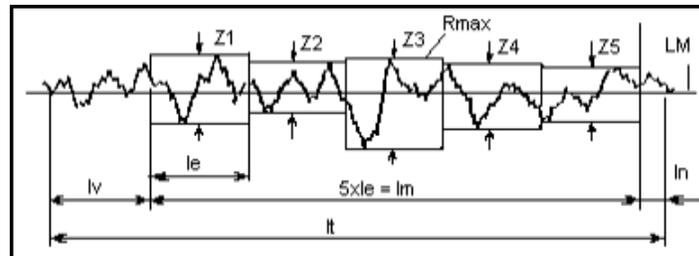
Después de lo anterior, se procede a realizar la toma de los valores de la prueba teniendo en cuenta que el rugosímetro arroja una gráfica y una tabla como resultados a esta prueba. Cabe resaltar que son 21 datos de los cuales solo se escogen 5 ya que son los más importantes o relevantes de esta prueba, siendo el RA que es “la media aritmética de los valores absolutos de las coordenadas de los puntos del perfil de rugosidad en relación a la línea media dentro de la longitud de medición” (GTM, pág. 6) cómo se observa en la Figura 49, el RZ que “es la media aritmética de los valores de rugosidad parcial  $Z_i$  correspondientes a cada uno de los cinco módulos integrantes de la longitud de medición” (GTM, pág. 9) como se muestra en la Figura 50, el RQ que “está definido como la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las ordenadas del perfil efectivo en relación a la línea media en un módulo de medición” (GTM, pág. 9), el RP es la “distancia entre el punto más alto del perfil y la línea media” (GTM, pág. 11) cómo se evidencia en la Figura 51 y el RV que es la “distancia entre el punto más bajo del perfil y la línea media” (GTM, pág. 11) cómo se observa en la Figura 51.

Figura 43. Gráfica de RA



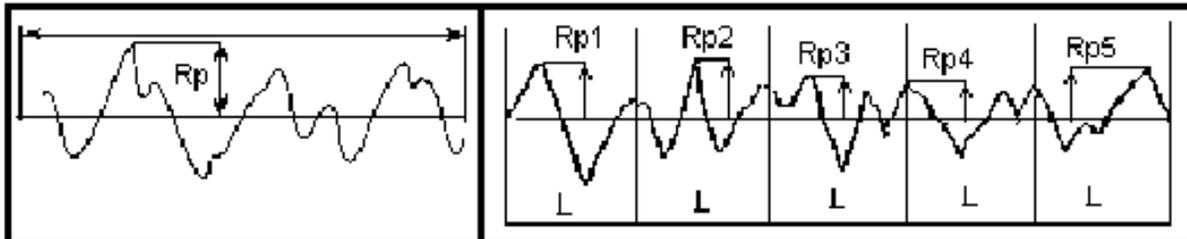
Fuente: (Tomada de Rugosidad superficial, GTM)

Figura 44. Gráfica de RZ



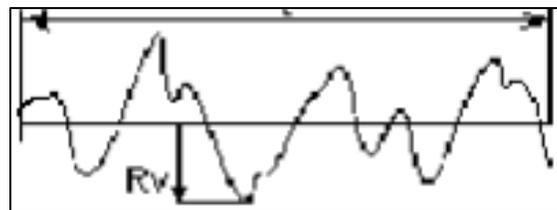
Fuente: (Tomada de Rugosidad superficial, GTM)

Figura 45. Gráfica de Rp



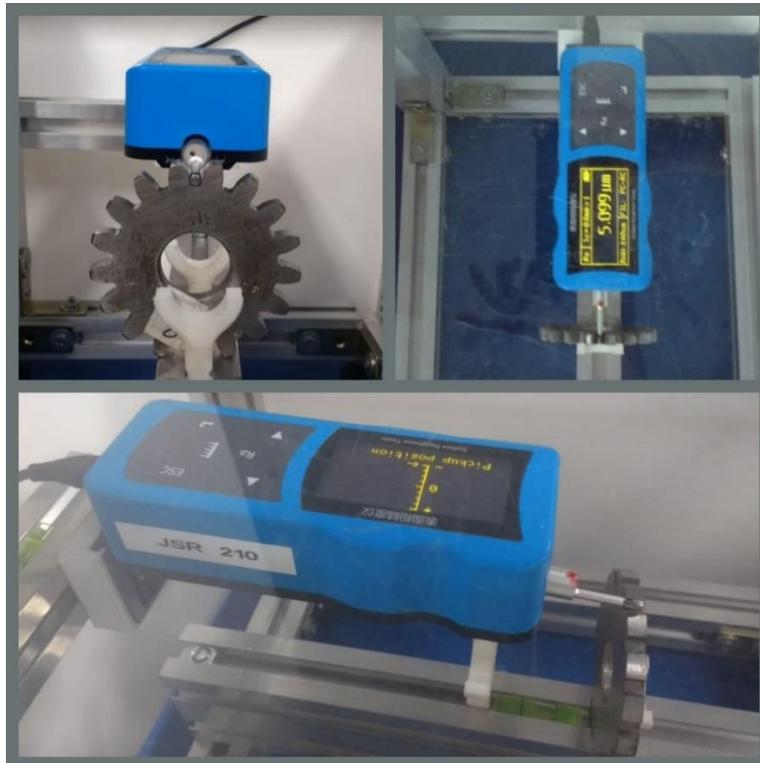
Fuente: (Tomada de Rugosidad superficial, GTM)

Figura 46. Gráfica de RV



Fuente: (Tomada de Rugosidad superficial, GTM)

Figura 47. Toma valores de la prueba



Fuente: Autor

Figura 48. Gráfica de rugosidad piñón 1



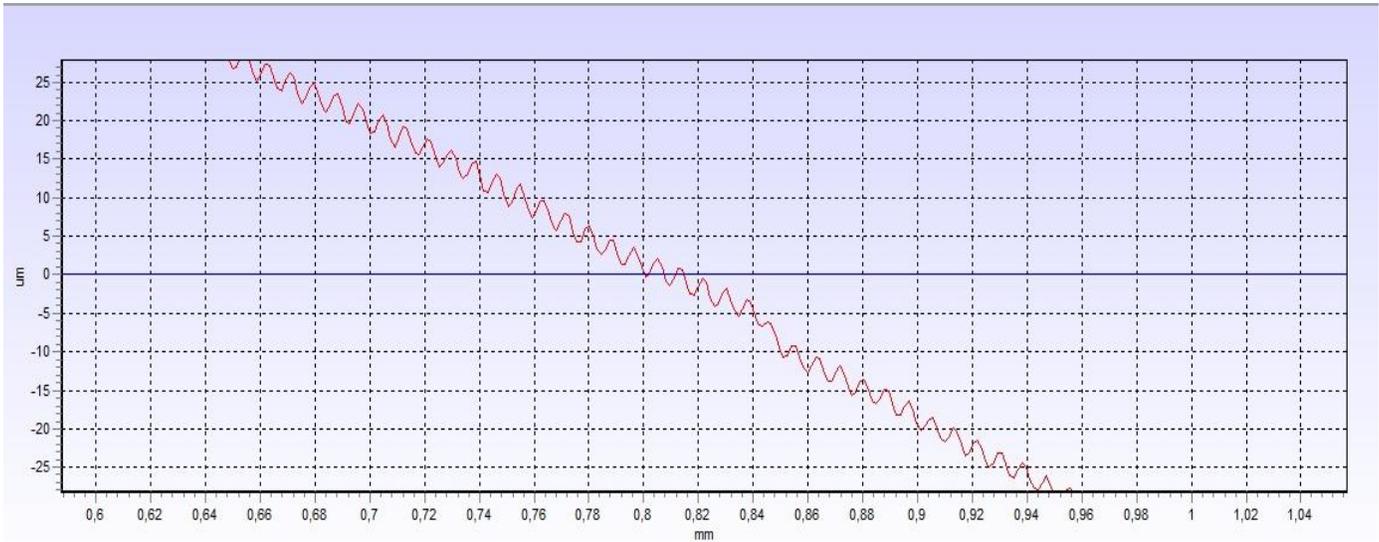
En la figura 47 se puede observar la gráfica de rugosidad del piñón 1 la cual describe los datos tomados (eje X=mm, eje Y=µm), en ella se evidencia el punto o el pico más alto como el RZ (23,400 µm), el RA no se puede observar ya que es una medida media de los valores absolutos en una línea media descritos anteriormente en la página 49.

Tabla 5. Datos prueba rugosidad piñón 1

RA	RZ	RQ	RP	RV
5,789 µm	23,400 µm	6,602 µm	10,600 µm	12,800 µm

Fuente: Autor

Figura 49. Gráfica de rugosidad piñón 2



Fuente: Autor

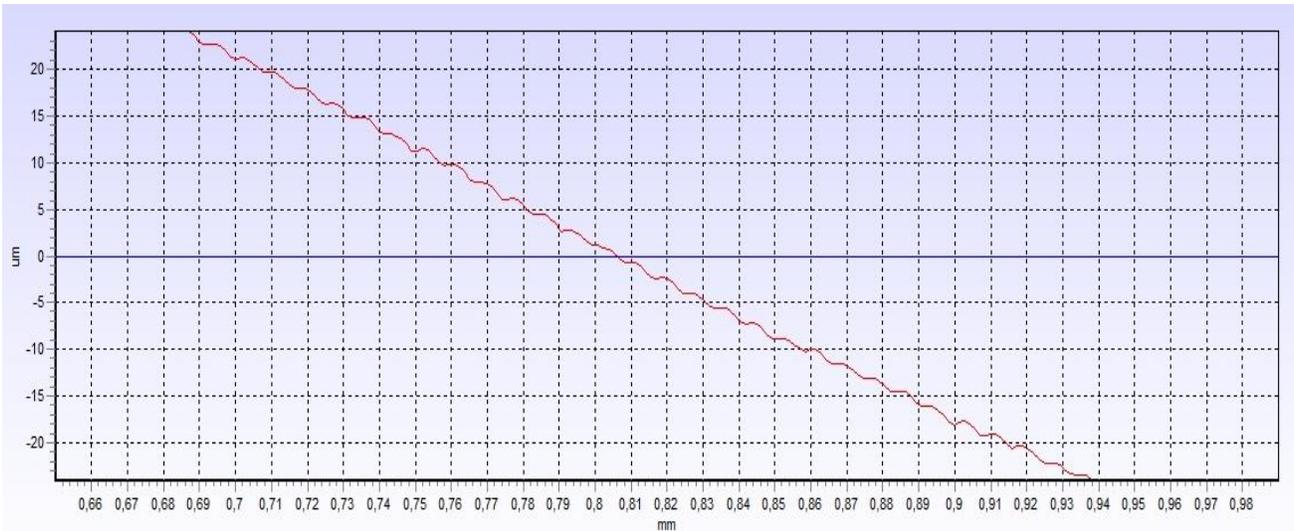
En la figura 48 se puede observar la gráfica de rugosidad del piñón 2 la cual describe los datos tomados (eje X=mm, eje Y=µm), en ella no se puede evidenciar el punto o el pico más alto (RZ) ya que se sale de la imagen del programa DataView pero se sabe que es de 28,600 µm, el RA, RQ, RP y RV no se pueden observar ya que son medidas de las cuales se toman como valores medios de una línea media, descritos anteriormente en la página 49.

Tabla 6. Datos prueba rugosidad piñón 2

RA	RZ	RQ	RP	RV
5,588 µm	28,600 µm	7,225 µm	18,600 µm	10,000 µm

Fuente: Autor

Figura 50. Gráfica de rugosidad piñón 3



Fuente: Autor

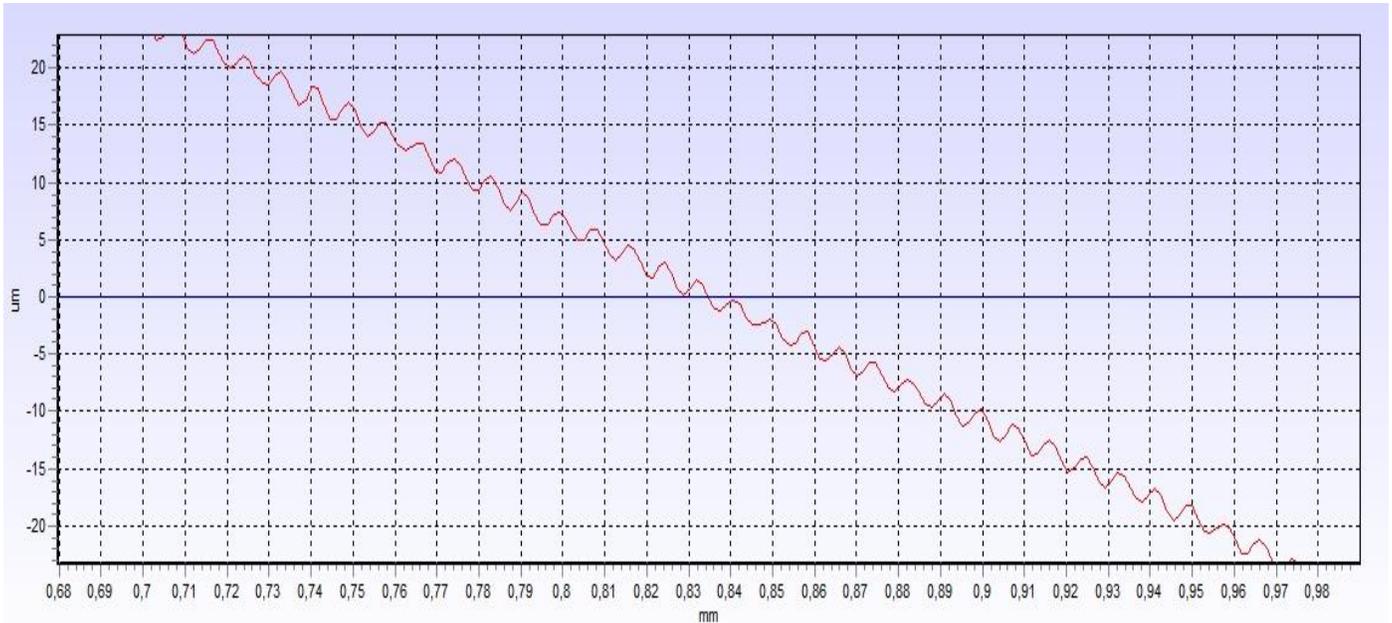
En la figura 49 se puede observar la gráfica de rugosidad del piñón 3 la cual describe los datos tomados (eje X=mm, eje Y= $\mu\text{m}$ ), en ella no se puede evidenciar el punto o el pico más alto (RZ) ya que se sale de la imagen del programa DataView pero se sabe que es de 24,400  $\mu\text{m}$ , el RA, RQ, RP y RV no se pueden observar ya que son medidas de las cuales se toman como valores medios de una línea media, descritos anteriormente en la página 49.

Tabla 7. Datos prueba rugosidad piñón 3

RA	RZ	RQ	RP	RV
5,099 $\mu\text{m}$	24,400 $\mu\text{m}$	6,944 $\mu\text{m}$	18,200 $\mu\text{m}$	6,200 $\mu\text{m}$

Fuente: Autor

Figura 51. Gráfica de rugosidad piñón 4



Fuente: Autor

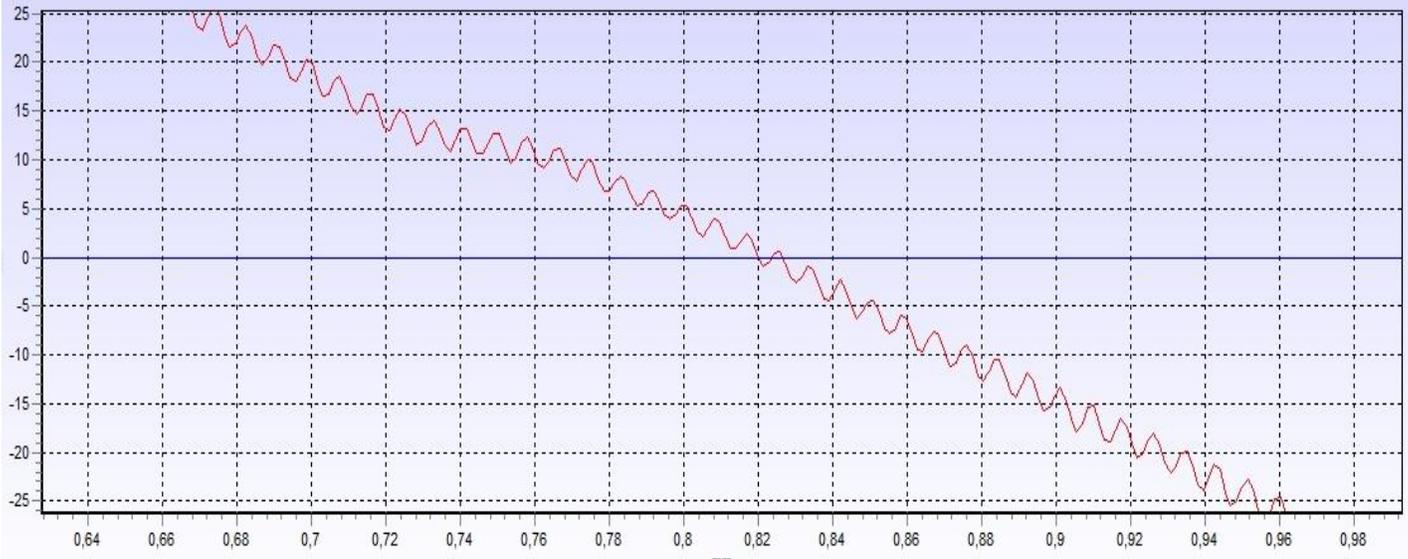
En la figura 50 se puede observar la gráfica de rugosidad del piñón 4 la cual describe los datos tomados (eje X=mm, eje Y=µm), en ella no se puede evidenciar el punto o el pico más alto (RZ) ya que se sale de la imagen del programa DataView pero se sabe que es de 23,200 µm, el RA, RQ, RP y RV no se pueden observar ya que son medidas de las cuales se toman como valores medios de una línea media, descritos anteriormente en la página 49.

Tabla 8. Datos prueba rugosidad piñón 4

RA	RZ	RQ	RP	RV
5,705 µm	23,200 µm	7,094 µm	16,800 µm	6,400 µm

Fuente: Autor

Figura 52. Gráfica de rugosidad piñón 5



Fuente: Autor

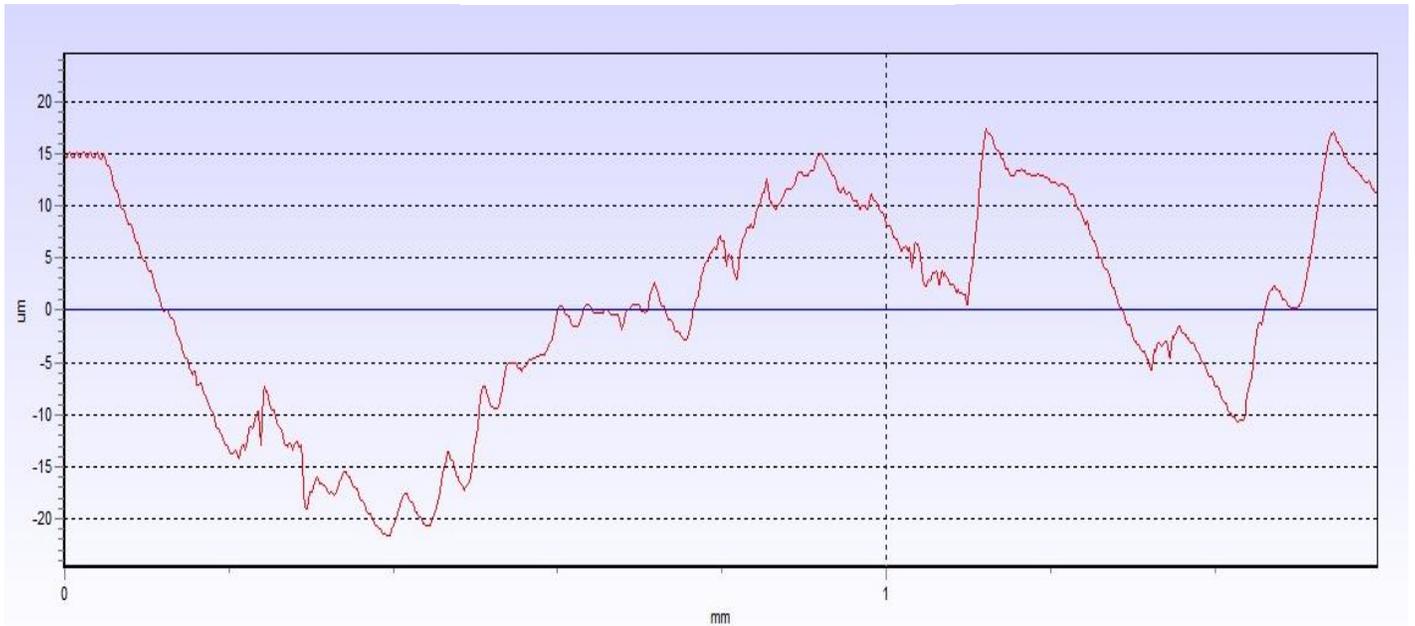
En la figura 51 se puede observar la gráfica de rugosidad del piñón 5 la cual describe los datos tomados (eje X=mm, eje Y=µm), en ella no se puede evidenciar el punto o el pico más alto (RZ) ya que se sale de la imagen del programa DataView pero se sabe que es de 25,600 µm, el RA, RQ, RP y RV no se pueden observar ya que son medidas de las cuales se toman como valores medios de una línea media, descritos anteriormente en la página 49.

Tabla 9. Datos prueba rugosidad piñón 5

RA	RZ	RQ	RP	RV
4,867 µm	25,600 µm	6,748 µm	19,400 µm	6,200 µm

Fuente: Autor

Figura 53. Gráfica de rugosidad piñón 6



Fuente: Autor

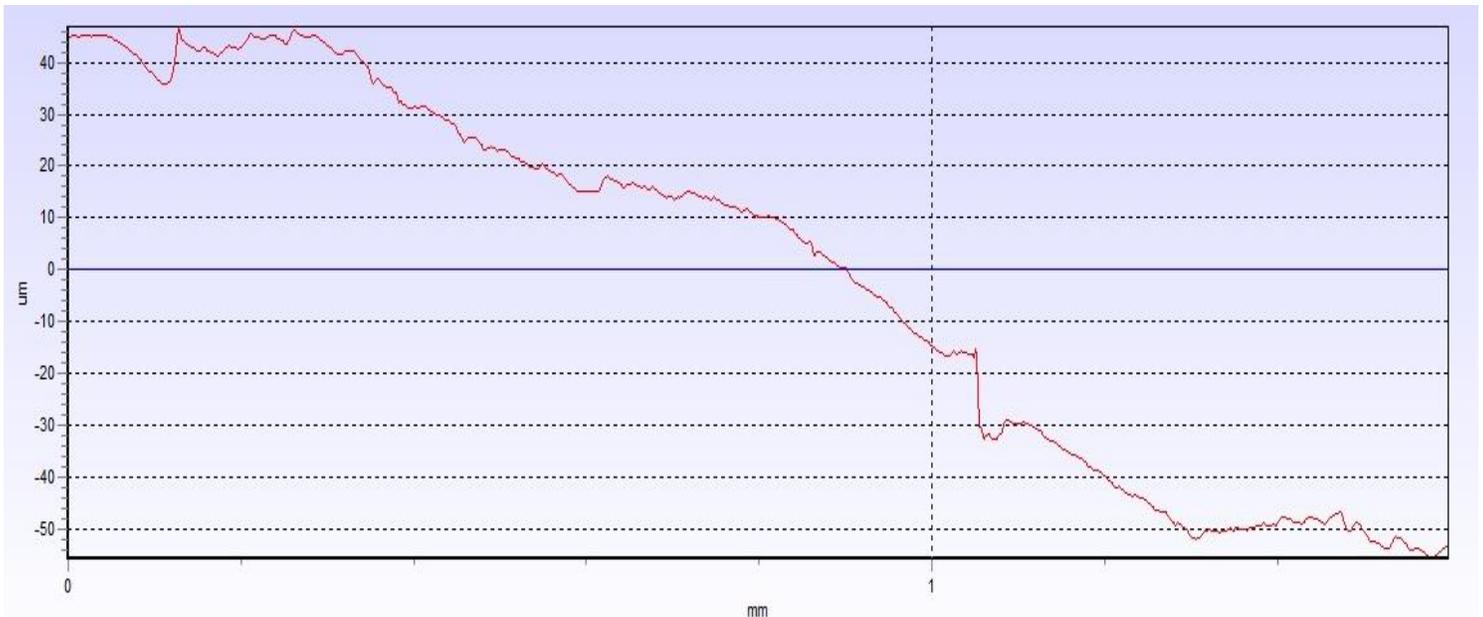
En la figura 52 se puede observar la gráfica de rugosidad del piñón 6 la cual describe los datos tomados (eje X=mm, eje Y=µm), en ella puede evidenciar el punto o el pico más alto (RZ) que es de 18,200 µm, el RA, RQ, RP y RV no se pueden observar ya que son medidas de las cuales se toman como valores medios de una línea media, descritos anteriormente en la página 49.

Tabla 10. Datos prueba rugosidad piñón 6

RA	RZ	RQ	RP	RV
4,636 µm	18,200 µm	5,872 µm	11,600 µm	13,000 µm

Fuente: Autor

Figura 54. Gráfica de rugosidad piñón 7



Fuente: Autor

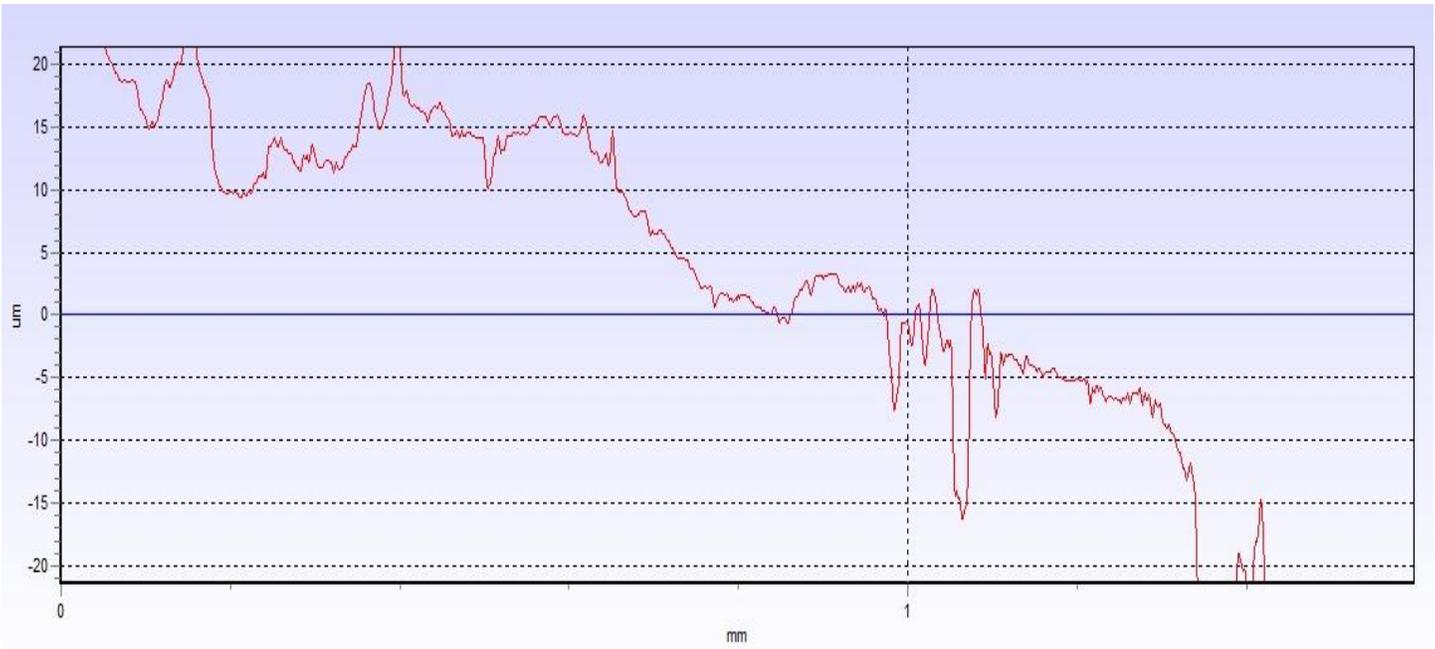
En la figura 53 se puede observar la gráfica de rugosidad del piñón 7 la cual describe los datos tomados (eje X=mm, eje Y=µm), en ella puede evidenciar el punto o el pico más alto (RZ) que es de 18,200 µm, el RA, RQ, RP y RV no se pueden observar ya que son medidas de las cuales se toman como valores medios de una línea media, descritos anteriormente en la página 49.

Tabla 11. Datos prueba rugosidad piñón 7

RA	RZ	RQ	RP	RV
4,695 µm	43,400 µm	5,402 µm	8,600 µm	12,600 µm

Fuente: Autor

Figura 55. Gráfica de rugosidad piñón 8



Fuente: Autor

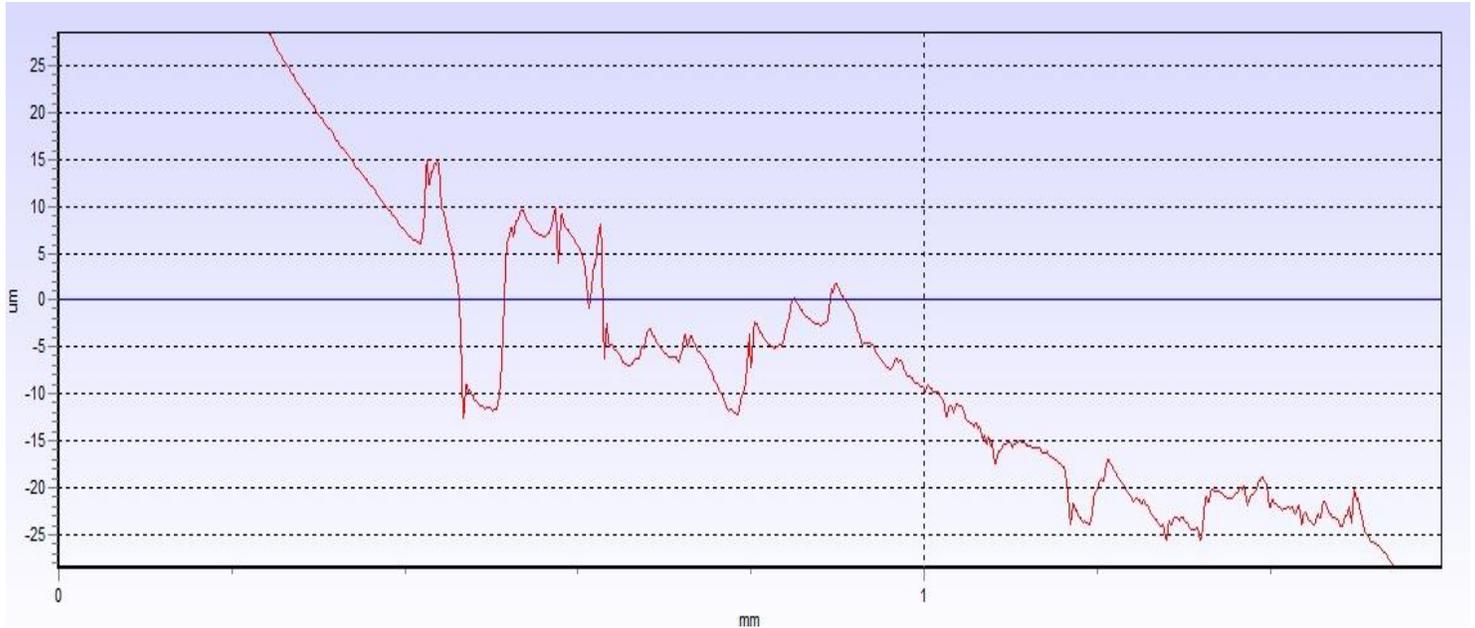
En la figura 54 se puede observar la gráfica de rugosidad del piñón 8 la cual describe los datos tomados (eje X=mm, eje Y=µm), en ella no se puede evidenciar el punto o el pico más alto (RZ) ya que se sale de la imagen del programa DataView pero se sabe que es de 21,400 µm, el RA, RQ, RP y RV no se pueden observar ya que son medidas de las cuales se toman como valores medios de una línea media, descritos anteriormente en la página 49.

Tabla 12. Datos prueba rugosidad piñón 8

RA	RZ	RQ	RP	RV
3,305 µm	21,400 µm	3,913 µm	10,200 µm	11,200 µm

Fuente: autor

Figura 56. Gráfica de rugosidad piñón 9



Fuente: Autor

En la figura 55 se puede observar la gráfica de rugosidad del piñón 9 la cual describe los datos tomados (eje X=mm, eje Y= $\mu\text{m}$ ), en ella no se puede evidenciar el punto o el pico más alto (RZ) ya que se sale de la imagen del programa DataView pero se sabe que es de 28,600  $\mu\text{m}$ , el RA, RQ, RP y RV no se pueden observar ya que son medidas de las cuales se toman como valores medios de una línea media, descritos anteriormente en la página 49.

Tabla 13. Datos prueba rugosidad piñón 9

RA	RZ	RQ	RP	RV
4,152 $\mu\text{m}$	28,600 $\mu\text{m}$	5,679 $\mu\text{m}$	8,600 $\mu\text{m}$	20,000 $\mu\text{m}$

Fuente: Autor

### 3.7. ANÁLISIS COMPARATIVO

Se ingresan los valores de RA en el programa MiniTab en la columna C4 para realizar los análisis comparativos con respecto a la rugosidad de la calidad superficial de cada piñón.

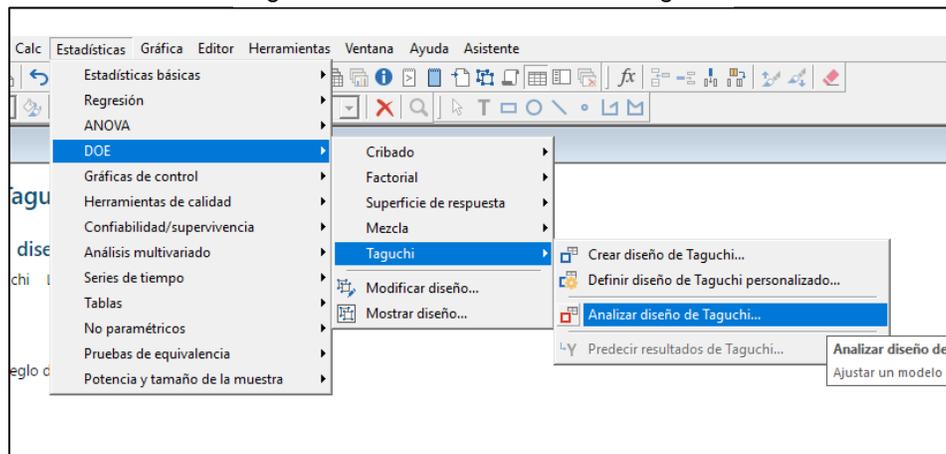
Figura 57. Valores de rugosidad en MiniTab.

↓	C1	C2	C3	C4
	Velocidad de corte (m/min)	Profundidad de corte (mm)	Avance (mm/sg)	Rugosidad ( $\mu\text{m}$ )
1	10,7725	4	10	5,789
2	10,7725	6	12	5,588
3	10,7725	8	16	5,099
4	17,9542	4	12	5,705
5	17,9542	6	16	4,857
6	17,9542	8	10	4,636
7	23,6995	4	16	4,695
8	23,6995	6	10	3,305
9	23,6995	8	12	4,152

Fuente: Autor

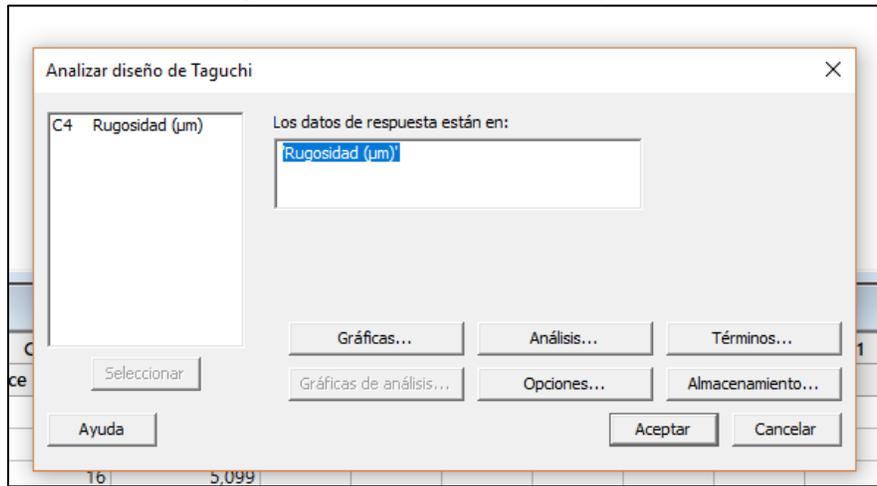
Luego se realiza el análisis del diseño de experimentos de Taguchi, seleccionando como dato de respuesta la opción de 'Rugosidad ( $\mu\text{m}$ )' y en opciones se elige la alternativa de "Mas pequeño es mejor" ya que si la rugosidad del piñón es menor quiere decir que tiene una mejor calidad superficial.

Figura 58. Análisis de diseño de Taguchi



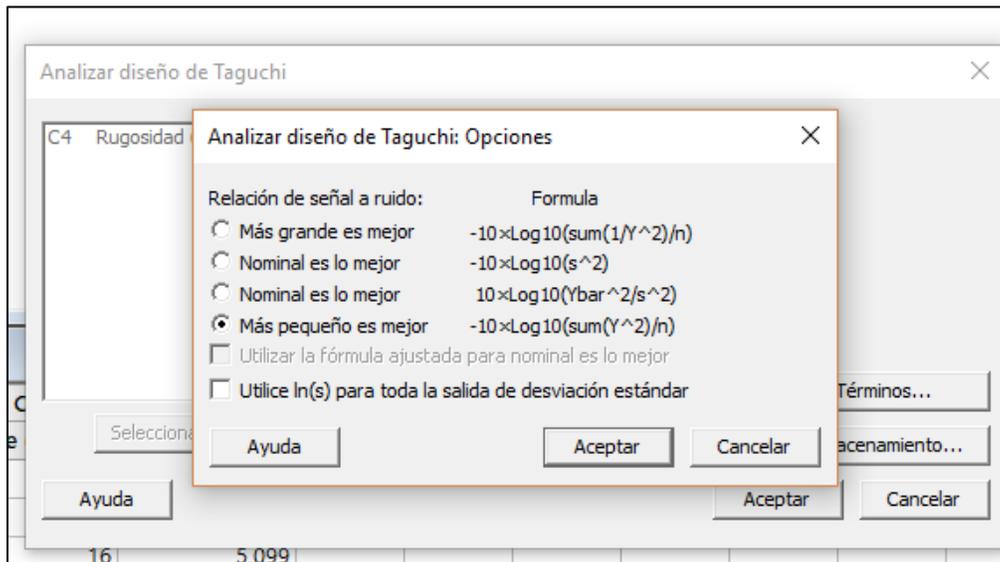
Fuente: Autor

Figura 59. Selección dato de respuesta



Fuente: Autor

Figura 60. Elección de la opción “más pequeño es mejor”



Fuente: Autor

#### 4. RESULTADOS

Los datos expuestos en las siguientes tablas y gráficas corresponden a los niveles o parámetros mencionados anteriormente en la Tabla 3 con la diferencia que en este caso ya fueron relacionados con los resultados de la prueba de rugosidad, que es el punto de referencia para comparar los piñones y de esta forma saber cuál piñón tiene la mejor calidad.

Después de haber realizado todo el procedimiento descrito en el desarrollo del trabajo, se obtuvieron los siguientes resultados:

#### **Análisis de Taguchi: Rugosidad ( $\mu\text{m}$ ) vs. Velocidad de corte(m/min), profundidad de corte (mm) y avance (mm/sg)**

Más pequeño es mejor

Tabla 14. Respuesta para relaciones de señal a ruido

Nivel	Velocidad de corte (m/min)	Profundidad de corte (mm)	Avance (mm/sg)
1	-14,78	-14,60	-12,99
2	-14,06	-13,02	-14,15
3	-12,06	-13,28	-13,77
Delta	2,72	1,58	1,16
Clasificar	1	2	3

Fuente: Autor

Tabla 15. Respuesta para medias

Nivel	Velocidad de corte (m/min)	Profundidad de corte (mm)	Avance (mm/sg)
1	5,492	5,396	4,577
2	5,066	4,583	5,148
3	4,051	4,629	4,884
Delta	1,441	0,813	0,572
Clasificar	1	2	3

Fuente: Autor

Figura 61. Gráfica de efectos principales para Medias  
Medias de datos

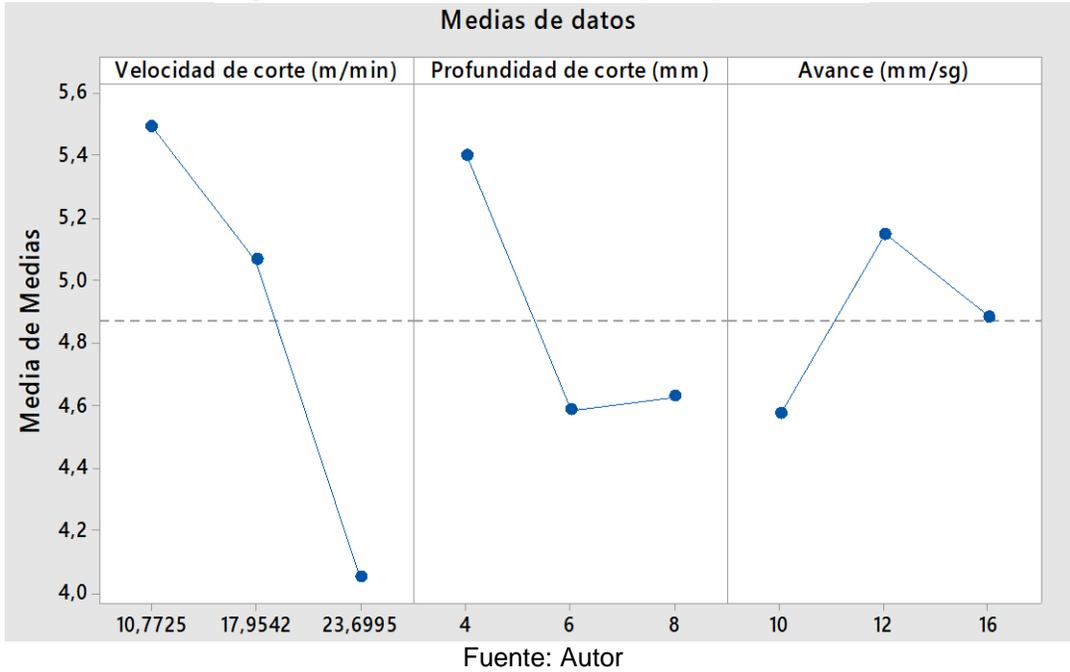
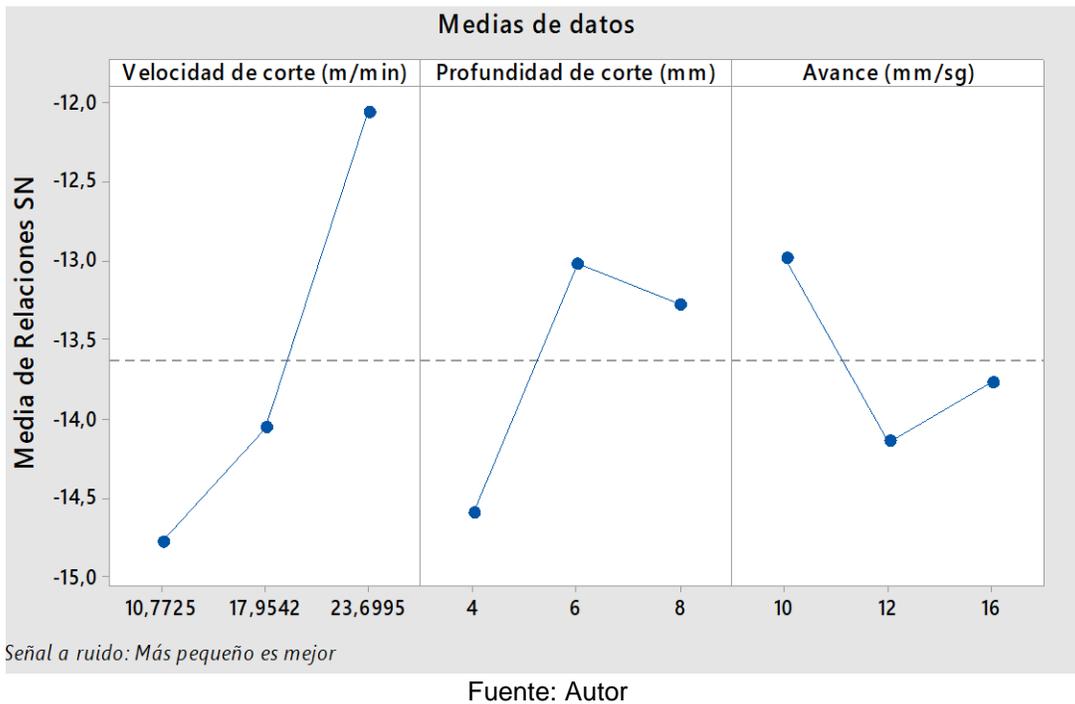
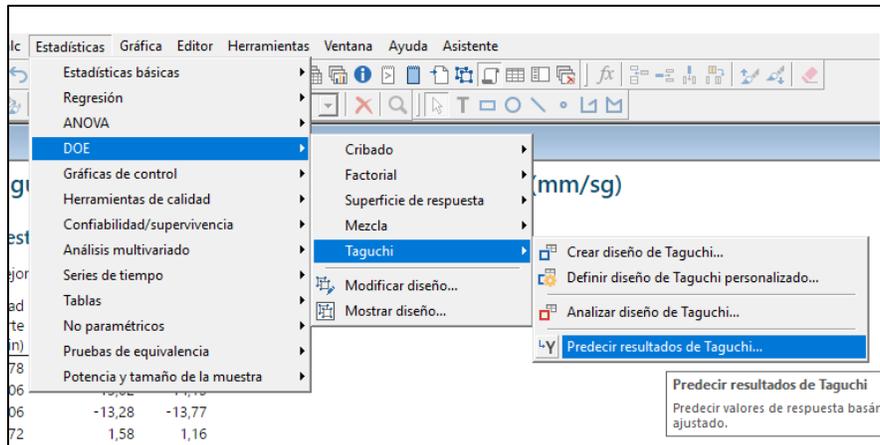


Figura 62. Gráfica de efectos principales para relaciones SN



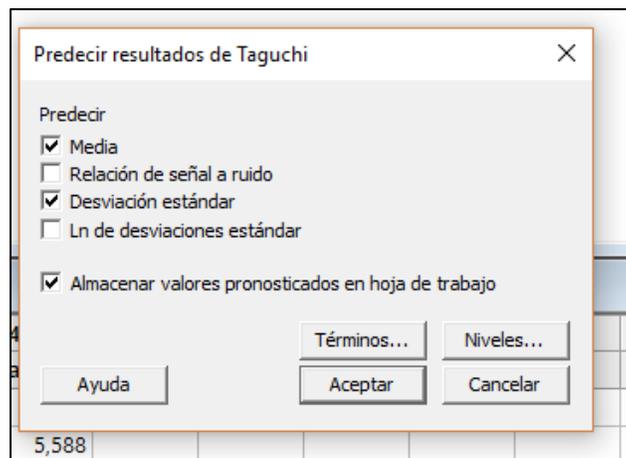
Analizando las tablas y graficas expuestas se puede determinar que la tabla 13 la cual expone los datos de respuesta para relaciones de señal de ruido, no se utiliza ya que representa los datos de los cuales no podemos controlar, algo contradictorio para el proceso porque se realizó la variación de los parámetros de mecanizado los cuales si se pueden controlar. Por consiguiente, se tomaron los datos de la tabla 14 de acuerdo a lo necesitado (datos “más pequeño es mejor”), en este caso, en la velocidad de corte se toma el nivel 3 que tiene un valor de 23,6995 [m/min], en la profundidad de corte se elige el nivel 2 el cual tiene un valor de 6 [mm] y en el avance se escoge el nivel 1 que tiene un valor de 10 [mm/sg]. Se procede a realizar la predicción del resultado final por medio de Taguchi en el programa MiniTab:

Figura 63. Predicción del resultado paso 1



Fuente: Autor

Figura 64. Predicción del resultado paso 2



Fuente: Autor

Figura 65. Predicción del resultado paso 3

Fuente: Autor

En este paso se realiza la elección de los niveles descritos anteriormente y se le da clic en aceptar.

### Valores pronosticados:

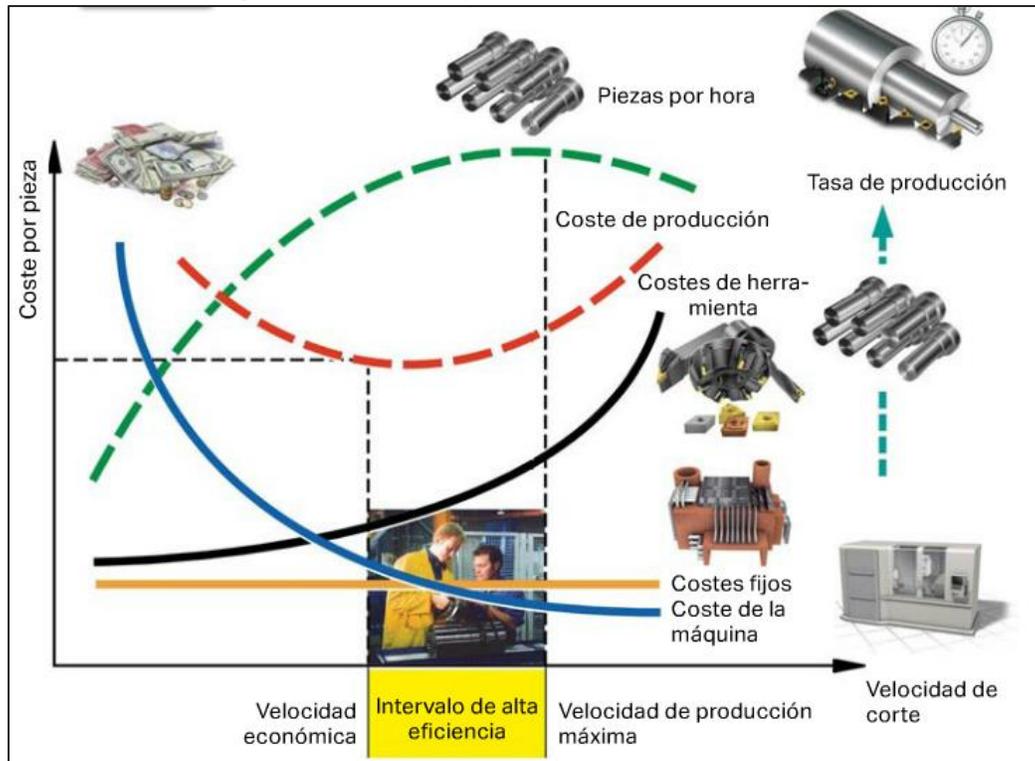
Tabla 16. Configuración

<b>Velocidad de corte (m/min)</b>	<b>Profundidad de corte (mm)</b>	<b>Avance (mm/sg)</b>
23,6995	6	10

Fuente: Autor

Como predicción del resultado de Taguchi se obtuvo una media de 3.47156, lo cual dice que con la configuración de velocidad de corte 23,6995 [m/min], una profundidad de corte de 6 [mm] y un avance de 10 [mm/sg], es la combinación adecuada para realizar el piñón. Además de identificar el piñón con el valor mínimo de rugosidad también se puede decir que se logró cumplir con los tres puntos de la filosofía de la calidad de Taguchi como se puede observar en la figura 66.

Figura 66. Gráfica explicativa de reducción de costos



Fuente: (Otero, 2018)

En esta figura podemos observar la variación del costo por pieza, contra la velocidad de corte. Los costos de máquina (línea azul) disminuyen a medida que aumentamos la velocidad de corte, se pueden fabricar más piezas por unidad de tiempo y el costo de hora máquina se divide por un número mayor de piezas. Los costos de herramientas (línea negra) se elevan con el aumento de la velocidad de corte, debido a que esta velocidad se ve reflejada en un aumento del desgaste de la herramienta. La vida útil de la misma cae y por lo tanto aumenta el consumo. La cantidad de piezas fabricadas por hora (línea punteada verde) aumenta con la velocidad de corte hasta un valor determinado, luego empieza a decaer. El tiempo total de corte disminuye y se remueve menos material por unidad de tiempo. Si sumamos todos los costos (costos fijos, costos de máquina y costos de herramientas), obtendremos la curva del costo total de producción (línea punteada roja). El punto más bajo de esta gráfica se conoce como velocidad de corte económica y delimita el comienzo del intervalo de alta eficiencia.

## 5. CONCLUSIONES

- Mediante el estudio efectuado de los procesos de mecanizado expuestos durante este proyecto se lograron elegir adecuadamente los parámetros de operación (Velocidad de corte=23.6995 [m/min], Profundidad de corte=6 [mm], Avance=10[mm/sg]) de la fresadora para la fabricación de los piñones.
- Con respecto a la fabricación de los nueve piñones de acuerdo a los arreglos ortogonales establecidos en el diseño de experimentos de Taguchi, se puede decir que la variación de estos parámetros de operación fueron de gran ayuda ya que brindó información importante para el posterior análisis.
- Gracias a el análisis comparativo realizado en la prueba de rugosidad por medio de la implementación del diseño de experimentos de Taguchi se puede determinar que el piñón adecuado en cuanto a un óptimo acabado superficial es el piñón 8 ya que presenta la configuración y la media más conveniente como resultado final.
- Mediante a la implementación del diseño de experimentos de Taguchi se puede concluir que se mejoró el proceso de elaboración y fabricación del piñón ya que se realizó un estudio serio y estadístico optimizando la calidad superficial del piñón; lo que demuestra que esta nueva metodología podría llegar a ser implementada en nuevos proyectos de índole electromecánico logrando buenos resultados.
- Gracias a la metodología de Taguchi se puede mejorar la calidad y el rendimiento de los procesos efectuados a la hora de elaborar un elemento mecánico.

## 6. RECOMENDACIONES

- Como fundamento inicial realizar la recolección de información adecuada y confiable para asegurar un resultado positivo en la realización de las prácticas y estudios.
- Las personas que se guíen de este proyecto tengan conocimiento o se asesoren de un experto en las máquinas a usar, como se constituye tanto el torno y la fresadora, que velocidades tienen y que avances presentan.
- Es recomendable la elección de forma correcta de los parámetros de operación para el mecanizado de los piñones de acuerdo a las máquinas.
- Se recomienda minimizar el “error humano” en cuanto a la fabricación de los piñones con la ayuda o información brindada de un experto en el manejo de las máquinas.
- Las personas que quieran implementar el diseño de experimentos Taguchi, tengan el conocimiento adecuado, tales como los resultados que se pueden obtener, que ayudas informáticas se pueden usar, que tipo de arreglos ortogonales se presentan y como se puede realizar.
- Se recomienda a los estudiantes de las Unidades Tecnológicas de Santander realizar la prueba de rugosidad de manera adecuada teniendo en cuenta que esté calibrado el rugosímetro, configurándolo de forma correcta, nivelar los piñones en 0 para que tome la medida exacta y evitar el movimiento del piñón al momento de tomar la medida. Además, se debe tener en cuenta que el rugosímetro presenta un porcentaje de error que oscila entre el 7% y el 10%.
- Se invita a analizar las pruebas de rugosidad de cada piñón por medio del software Minitab y así comparar los datos de manera exacta.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Area                      Tecnología                      (s.f.).                      Obtenido                      de  
<https://www.areatecnologia.com/herramientas/fresadora.html>

Bavaresco,              G.              (s.f.).              GAB              Ingeniería.              Obtenido              de  
<https://gabingenieria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/mecanizado.pdf>

Blog ingenieria. (s.f.). Obtenido de <https://blogingenieria.com/general/mecanico-fluencia-esfuerzo/>

Casillas, A. L. (s.f.). Máquina Cálculos de Taller. España: Máquinas.

ConceptoDefinición. (18 de Julio de 2019). Obtenido de  
<https://conceptodefinicion.de/calidad/>

Garavito, J. (2007). Escuela Colombiana De Ingeniería. Obtenido de  
[escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3474\\_torno.pdf](http://escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3474_torno.pdf)

Giugni, P. (06 de Febrero de 2009). LA CALIDAD COMO FILOSOFÍA DE GESTIÓN.  
Obtenido de LA CALIDAD COMO FILOSOFÍA DE GESTIÓN

González , G., Domingo, N., & P. M., S. (1997). Métodos estadísticos: control y mejora de la calidad.

Gonzalez Gaya, C., Domingo Navas, R., & Sebastian Perez, M. A. (2013). Técnicas de mejora de la calidad . Madrid: UNED Cuadernos.

GTM. (s.f.). Obtenido de <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/10.pdf>

Heredia, J. A. (2001). Sistema de indicadores para la mejora y el control integrado de la calidad de los procesos.

Hernandez , A. B., Guillon , M. D., & Garcia, L. A. (2014). LA METODOLOGÍA DE TAGUCHI EN EL CONTROL. INVESTIGACION OPERATIVA, 65-83.

Hernandez Gonzalez, L. W., Perez Rodriguez , R., Zambrado Robledo, P. D., Guerrero Mata, M. P., & Dumitrescu, L. (2012). Análisis experimental del torneado de alta velocidad del acero AISI 1045.

Ibarrondo, J., Muravschik, E., & Garrera , R. (s.f.). Obtenido de [http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini\\_2015/trabajos/B002\\_COINI2015.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2015/trabajos/B002_COINI2015.pdf)

Otero, H. (8 de Mayo de 2018). Instituto asteco. Obtenido de <https://institutoasteco.com/asteco/economia-del-mecanizado/>

Rodriguez, O. F. (s.f.). Máquinas, Métodos y Control Dimensional de Procesamiento. Obtenido de <http://mmcdp.webcindario.com/capitulos/08-rugosidad.pdf>

Torcuato Castillo, V. M. (s.f.). Herramientas de análisis para la mejora de la calidad. Obtenido de <https://mejoradelacalidad-victortorcuato.weebly.com/125-genichi-taguchi.html>

Valverde Islas, J. (2006). Utilización de métodos sistemáticos para el diseño de productos: caso de una porta bebidas para automóviles. Pachuca de Soto Hidalgo.