



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

INDOAMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y PROCESOS

TEMA:

CONTROL DE VARIABLES EN EL PROCESO DE MECANIZADO DE EJE DE BOMBA FLOWSERVE DE INYECCIÓN DE AGUA PRODUCIDO EN MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE OPERACIÓN SEMIAUTOMÁTICA EN LA EMPRESA “TECNI-GALLO” MECÁNICA INDUSTRIAL UBICADA EN QUITO, 2024.

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Magister en Diseño Industrial y Procesos.

Autor

Ing. Gallo Rosero Mario Patricio

Tutora

Mgr. Cáceres Miranda Marcela Alexandra

AMBATO – ECUADOR

2025

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Mario Patricio Gallo Rosero, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “ Control de variables en el proceso de Mecanizado de eje de Bomba Flowserve de inyección de agua producido en máquinas herramientas de operación semiautomática en la empresa “TECNI-GALLO” mecánica industrial ubicada Quito, 2024”, como requisito para optar al grado de Magister en Diseño Industrial y Procesos y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI). Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios. Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato a los 02 días del mes de julio de 2025, firmo conforme:

Autor: Ing. Mario Patricio Gallo Rosero

Firma:

Número de Cédula: 1500338734

Dirección: Pichincha, Quito, Quitumbe, Solidaridad.

Correo Electrónico: mgallo4@indoamerica.edu.ec

Teléfono: 0990190150

APROBACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “CONTROL DE VARIABLES EN EL PROCESO DE MECANIZADO DE EJE DE BOMBA FLOWSERVE DE INYECCIÓN DE AGUA PRODUCIDO EN MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE OPERACIÓN SEMIAUTOMÁTICA EN LA EMPRESA “TECNI-GALLO” MECÁNICA INDUSTRIAL UBICADA EN QUITO, 2024” presentado por Ing. Gallo Rosero Mario Patricio, para optar por el Título Magister en Diseño Industrial y Procesos,

CERTIFICO

Que dicho Trabajo de Titulación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte los Lectores que se designe.

Ambato, 09 de septiembre del 2025

.....
Mgtr. Cáceres Miranda Marcela Alexandra

DIRECTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Magister en Diseño Industrial y Procesos, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Ambato,09 de septiembre 2025

.....

Mario Patricio Gallo Rosero

1500338734

APROBACIÓN DE EXAMINADORES

El Trabajo de Titulación ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: “CONTROL DE VARIABLES EN EL PROCESO DE MECANIZADO DE EJE DE BOMBA FLOWSERVE DE INYECCIÓN DE AGUA PRODUCIDO EN MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE OPERACIÓN SEMIAUTOMÁTICA EN LA EMPRESA “TECNI-GALLO” MECÁNICA INDUSTRIAL UBICADA EN QUITO, 2024”, previo a la obtención del Título de Magister en Diseño Industrial y Procesos , reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del Trabajo del Trabajo de Titulación.

Ambato, 09 de septiembre del 2025

.....

Ing. Saá Tapia Fernando David; Mg.

PRESIDENTE

.....

Ing. Muquinche Puca Juan Pablo; Mg

EXAMINADOR

DEDICATORIA

A Dios, fuente de mi fortaleza y sabiduría, por guiarme con su luz en cada desafío y bendecir mi vida con paciencia y perseverancia. A mi familia, cuyo amor, apoyo incondicional y sacrificio han sido mi mayor inspiración y motivación a lo largo de este camino. Este trabajo es el resultado del esfuerzo conjunto y el reflejo de los valores, enseñanzas y apoyo que he recibido de cada uno de ustedes.

Con gratitud infinita,
Mario P. Gallo Rosero

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, por darme la fortaleza y la sabiduría para superar cada desafío. A mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y por siempre estar a mi lado en cada etapa de este proceso. A mis profesores, por su dedicación, enseñanza y por inspirarme a superarme cada día. Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, han formado parte de este proyecto y de mi formación. Cada palabra de aliento, cada consejo y cada gesto de apoyo han dejado una huella imborrable en este logro que hoy celebro.

Gracias

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	2
APROBACIÓN DEL DIRECTOR	3
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	4
APROBACIÓN DE EXAMINADORES	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO.....	7
ÍNDICE DE CONTENIDOS	8
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE IMÁGENES	11
ÍNDICE DE GRÁFICOS	12
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	13
ÍNDICE DE ANEXOS.....	14
RESUMEN EJECUTIVO	15
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I.....	18
Contextualización.....	18
Antecedentes	20
Justificación.....	22
Objetivos de la investigación	24
Objetivo General	24
Objetivos Específicos	24
CAPÍTULO II	14
Diagnóstico de la situación actual de la empresa.....	14
Área de estudio.....	41

Modelo operativo	42
Desarrollo del modelo operativo	43
CAPÍTULO III.....	107
Presentación de la Propuesta.....	107
Resultados esperados	109
Cronograma de actividades	110
Análisis de costos.....	111
Componente ambiental.....	113
CAPÍTULO IV.....	115
Proceso de ejecución.....	115
Resultados obtenidos.....	135
Evaluación de la ejecución.....	141
CAPÍTULO V	156
Conclusiones	156
Recomendaciones.....	158
BIBLIOGRAFÍA.....	161
ANEXOS.....	163

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1 :Estadística de la industria Metalmecánica en Ecuador.	21
Tabla No. 2 :Análisis de Pareto en variables críticas de Mecanizado de ejes.	16
Tabla No. 3: Análisis de Fallas en el Mecanizado de ejes de Bomba HPX.....	18
Tabla No. 4: Análisis en la velocidad de corte.....	20
Tabla No. 5: Requerimiento del cliente Variables Técnicas.....	24
Tabla No. 6: Diferencias entre tipos de acero inoxidable.....	33
Tabla No. 7: Tabla de tolerancias en medidas críticas del eje.	38
Tabla No. 8: Área de estudio.....	41
Tabla No. 9: Indicadores Actuales Vs Propyectados.	109
Tabla No. 10: Implementación del sistema.....	110
Tabla No. 11: Recursos Humanos.....	111
Tabla No. 12: Recursos Tecnológicos.	112
Tabla No. 13: Materiales y suministros.	112
Tabla No. 14: Indicadores ambientales del proyecto.	115
Tabla No.15: Variables controlables y niveles	125
Tabla No. 16: Datos de Vibración de la Bomba.	133
Tabla No. 17 :Análisis de Mejoras Dimensional.	137
Tabla No. 18 :Análisis de Mejoras en Parámetro de Corte.....	137
Tabla No. 19: Costos de Producción de un Eje en Taller Tecnigallo.	138
Tabla No. 20 :Análisis Comparativo de Costos- Eje Flowserve Vs Producción local.....	139
Tabla No. 21: Implementación de Actividades.....	147

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen No. 1: Torno Paralelo Marca Emw Modelo Cs6250b/1000 mm.	29
Imagen No. 2: Falla de rotura en el extremo del eje – acople impulsor.	33
Imagen No. 3: Fallas roturas secuencial en el extremo del eje en acople impulsor.	34
Imagen No. 4: Ejes rechazados por variación dimensional fuera de tolerancia....	35
Imagen No. 5: Proceso de mecanizado en velocidad de corte.	39
Imagen No. 6: Proceso de mecanizado en avance longitudinal.	41
Imagen No. 7 :Bomba Flowserve Hpx- Corte.	118
Imagen No. 8: Plano de detalle del eje Bomba Flowserve HPX acople impulsor.	119
Imagen No. 9: Eje Mejorado en detalles de Bomba Flowserve HPX.	121
Imagen No. 10: Control de Calidad eje mejorado.....	121
Imagen No. 11: Control de Calidad eje mejorado.....	122
Imagen No. 12: Diseño de eje en programa de solid Work.	122
Imagen No. 13: Detalle de vértice mejorado.	123
Imagen No. 14: Eje Fabricado conforme a especificaciones técnicas.	123
Imagen No. 15: Eje Fabricado con Estándar de Calidad acoplado sus partes. ...	124
Imagen No.16 : Proceso del Mecanizado.....	125
Imagen No.17: Control de mecanizado en cilindrado.....	128
Imagen No. 18: Control de Calidad.	130
Imagen No. 19: Control de Calidad en Dimensiones.....	131
Imagen No. 20 :Control de Calidad en Deflexión.....	131
Imagen No.21:Simulación de Esfuerzos en programa solidwork.	132
Imagen No. 22: Detalles de mejora en programa solidwork.....	132
Imagen No. 23: Equipos Operando en Campo.....	134

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico No. 1: Borrador de Plano por Ingeniería Inversa - Eje HPX.	15
Gráfico No. 2: Análisis De Variables Por Diagrama De Pareto.	16
Gráfico No. 3: Fallas en el Mecanizado de ejes de Bomba Flowserve HPX.	17
Gráfico No. 4: Análisis de correlación detallado por tipo de Defecto.	19
Gráfico No. 5: Parámetros de corte Vs Defectos de Mecanizado.	20
Gráfico No. 6: Diagrama de flujo del Proceso de Mecanizado.	28
Gráfico No. 7: Valor de un eje Flowserve importado.	29
Gráfico No. 8: Plano en AutoCAD de Eje Bomba Flowerve HPX.	31
Gráfico No. 9: Diagrama de Ishikawa.	35
Gráfico No. 10: Plano de mantenimiento para Bomba Flowserve HPX.	37
Gráfico No. 11: Diagrama de Red del Modelo Operativo.	43
Gráfico No. 12: Desarrollo del Modelo Operativo.	44
Gráfico No. 13 :Plano en AutoCAD de eje Bomba Flowserve HPX con mejora en detalle.	119
Gráfico No. 14: Representación de la Curva S..	147
Gráfico No. 15: Representación de Porcentaje de Fases de Implementación.	148

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación No. 1: Velocidad De Corte.	39
Ecuación No. 2: Revoluciones por minuto.	39
Ecuación No. 3 :Avance longitudinal.....	40
Ecuación No.4: De la Curva S.	145

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I: Registros Históricos De Diseño Y Dimensión Del Eje.....	165
Anexo II :Tabla actualizada	166
Anexo III:Registros históricos de parámetro de corte.....	167
Anexo IV :Tabla actualizada.....	169
Anexo V: Modelo de formato – hoja de proceso.	165
Anexo VI: Cálculo de número de revoluciones, velocidad de corte selecta.....	165
Anexo VII: Registros históricos de inspección de calidad.....	166
Anexo VIII: Registros históricos de inspección de calidad del eje.....	168
Anexo IX :Manual técnico de operaciones y mantenimiento.	1
Anexo XI: Planos digitalizados Solidwords.	43
Anexo XII: Informe de análisis de simulación de esfuerzo previo.	45
Anexo XII :Informe de análisis posterior.....	53

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y PROCESOS

TEMA: CONTROL DE VARIABLES EN EL PROCESO DE MECANIZADO DE EJE DE BOMBA FLOWSERVE DE INYECCIÓN DE AGUA PRODUCIDO EN MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE OPERACIÓN SEMIAUTOMÁTICA EN LA EMPRESA “TECNI-GALLO” MECÁNICA INDUSTRIAL UBICADA EN QUITO, 2024.

AUTOR: Ing. Mario Patricio Gallo Rosero

TUTORA: Mgtr. Cáceres Miranda Marcela Alexandra

RESUMEN EJECUTIVO

La empresa TECNI-GALLO presentaba problemas sistemáticos en el mecanizado de ejes de bomba Flowserve HPX con una tasa de reproceso del 77.3% y capacidad de proceso incapaz ($C_{pk} = 0.78$), afectando la competitividad y generando costos de no calidad superiores a \$45,600 anuales. El objetivo general se enfocó en controlar las variables críticas del proceso de mecanizado mediante análisis estadístico para garantizar calidad, precisión dimensional y eficiencia operacional. La hipótesis planteó que el control estadístico de las variables diseño-dimensión del eje y parámetros de corte mejoraría significativamente la precisión y calidad del producto final. La metodología se estructuró en cinco fases secuenciales: diagnóstico mediante análisis de Pareto identificando variables críticas, optimización experimental con diseño factorial, implementación de sistema de control adaptativo, validación estadística con pruebas t-Student, y estandarización de procedimientos. Se utilizó ingeniería inversa para rediseñar el eje con tolerancias H7/k6 y acabado superficial N5, optimizando parámetros de corte específicos para acero AISI 304. Los principales resultados evidenciaron mejoras sustanciales: incremento en capacidad de proceso de $C_{pk} = 0.78$ a $C_{pk} = 1.58$, reducción de desviación dimensional del 52.3%, mejora en acabado superficial de $R_a = 1.8 \mu\text{m}$ a $R_a = 1.2 \mu\text{m}$, disminución del índice de rechazos del 18% al 4%, y reducción del

tiempo de ciclo del 30%. El análisis estadístico confirmó diferencias significativas ($t = 4.23$, $p < 0.05$) entre condiciones iniciales y mejoradas. Se concluye que la implementación del sistema integral de control de variables transformó exitosamente un proceso incapaz en muy capaz, cumpliendo estándares internacionales API-610/682 y generando ahorros económicos proyectados de \$1,797,660 anuales respecto a la importación de ejes originales, posicionando a TECNI-GALLO como proveedor confiable en la industria petrolera ecuatoriana.

DESCRIPTORES: Control de calidad, Mecanizado de precisión, Optimización de procesos, Parámetros de corte, Variables críticas.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTY OF ENGINEERING

Master's Degree in Industrial and Process Design

AUTHOR: GALLO ROSERO MARIO PATRICIO

TUTOR: MG. CACERES MIRANDA MARCELA

ABSTRACT

CONTROL OF VARIABLES IN THE MACHINING PROCESS OF THE FLOWSERVE PUMP SHAFT FOR WATER INJECTION PRODUCED BY SEMI-AUTOMATIC MACHINE TOOLS AT THE COMPANY "TECNI-GALLO" INDUSTRIAL MECHANICS LOCATED IN QUITO, 2024.

The company TECNI-GALLO faced systematic problems in the machining of the Flowserve HPX pump shafts, with a rework rate of 77.3% and an incapable process capability ($C_{pk} = 0.78$), affecting competitiveness and generating non-quality related costs exceeding \$45,600 annually. The general objective focused on controlling the critical variables of the machining process through statistical analysis to ensure quality, dimensional accuracy, and operational efficiency. The hypothesis proposed that statistical control of the shaft's design, dimensional variables, and cutting parameters would significantly improve the precision and quality of the final product. The methodology was structured into five sequential phases: diagnosis through Pareto analysis identifying critical variables; experimental optimization with factorial design; implementation of an adaptive control system; statistical validation using Student's t-tests; and standardization of procedures. Reverse engineering was used to redesign the shaft, involving H7/k6 tolerances and an N5 surface finish, optimizing specific cutting parameters for AISI 304 steel. The main results showed substantial improvements: an increase in process capability index (C_{pk}) from $C_{pk} = 0.78$ to $C_{pk} = 1.58$, a 52.3% reduction in dimensional deviation, an improvement in surface finish from $Ra = 1.8 \text{ m}$ to $Ra = 1.2 \text{ m}$, a decrease in the rejection rate from 18% to 4%, and a 30% reduction in cycle time. Statistical analysis confirmed significant differences ($t = 4.23$, $p < 0.05$) between initial and improved

KEYWORDS: cutting parameters, critical variables, process optimization, precision machining, quality control.



conditions. It is concluded that the implementation of the comprehensive variable control system successfully transformed an incapable process into a highly capable one, meeting international API-610/682 standards. This generated projected annual economic savings of \$1,797,660 compared to importing original shafts, positioning TECNI-GALLO as a reliable supplier in the Ecuadorian oil industry.

KEYWORDS: cutting parameters, critical variables, process optimization, precision machining, quality control.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Contextualización

La industria manufacturera mundial moderna enfrenta una transformación hacia la Industria 4.0, donde el control estadístico de variables críticas en procesos de mecanizado se ha convertido en un imperativo competitivo. En sectores estratégicos como petróleo, gas y sistemas de bombeo industrial, empresas multinacionales como Flowserve, exigen cumplimiento riguroso de estándares internacionales que garanticen la calidad, confiabilidad y eficiencia energética de los componentes. Esta demanda global responde a políticas de sostenibilidad y la necesidad de optimizar recursos en un contexto de competitividad internacional creciente Drew Manufacturing, (2022).

[Industria 4.0] → [CEP]

| ↳ Datos en tiempo real (IoT)

| ↳ Análisis predictivo (AI + Gráficos de control)

└→ [Resultados: Calidad, eficiencia, reducción de costos]

Los estándares API 610 (H2O) y API 682, desarrollados por el American Petroleum Institute, constituyen referencias mundiales para el diseño, fabricación y control de

calidad en bombas centrífugas y sistemas de sellado para la industria petrolera. Estos estándares establecen especificaciones técnicas estrictas para componentes críticos como ejes de bomba, definiendo tolerancias dimensionales, propiedades mecánicas y procedimientos de manufactura que deben ser cumplidos por proveedores globales. El cumplimiento de estas normativas representa un requisito indispensable para acceder a mercados internacionales y cadenas de suministro de empresas multinacionales como Flowserve (American Petroleum Institute, 2022).

En este contexto global, el control preciso de variables en procesos de mecanizado (velocidad de corte, avance, profundidad, refrigeración y estado de herramientas) se ha convertido en un factor determinante para la competitividad internacional. Países industrializados como Alemania, Japón y Estados Unidos han demostrado que la implementación de metodologías estadísticas en el control de procesos de mecanizado genera mejoras significativas en productividad, calidad y acceso a cadenas de suministro globales. Esta realidad plantea el desafío para empresas manufactureras en economías emergentes de adoptar estas prácticas para mantener estándares internacionales y competir en mercados globalizado (Groover,2020).

América Latina liderada por países como Brasil, México, Colombia y Ecuador, está en proceso de modernización industrial, adoptando la cuarta revolución industrial y sistemas de producción inteligente. El objetivo principal de API 610/ISO 1370 es garantizar que las bombas centrífugas cumplan con los estándares de calidad y rendimiento lo cual se está integrando con tecnologías avanzadas de control de procesos que permiten a empresas regionales como TECNI-GALLO implementar sistemas de monitoreo en tiempo real de variables críticas durante el mecanizado, posicionándose competitivamente frente a proveedores internacionales en el suministro de componentes para bombas Flowserve destinadas a la industria petrolera y energética regional

En la provincia de Pichincha, con Quito como su centro económico principal, concentra una importante actividad industrial manufacturera que incluye 173 empresas de manufactura registradas oficialmente. El sector metalmecánico constituye uno de los sectores clave analizados en las PYMES del Distrito

Metropolitano de Quito, siendo reconocido por su capacidad de generar valor agregado y empleo calificado en la región. La Federación Ecuatoriana de Industrias del Metal (FEDIMETAL) reúne a empresas de las actividades relacionadas con la producción y servicios del sector siderúrgico y metalmeccánico a nivel nacional, teniendo en Pichincha una concentración significativa de sus asociados que desarrollan capacidades especializadas en mecanizado de precisión.

La empresa “TECNI-GALLO”, ubicada en la ciudad de Quito, Ecuador, se destaca por ofrecer servicios técnicos especializados en la fabricación de partes mecánicas, combinando con mano obra calificada, la experiencia y el conocimiento técnico con tecnologías avanzadas. En un sector donde la precisión y la calidad son imprescindibles, “TECNI-GALLO” ha implementado un enfoque integral que abarca desde el diseño e ingeniería hasta la producción y el control de calidad, asegurando que cada pieza fabricada cumpla con las normas y estándares de metalmeccánica.

En la empresa metalmeccánica “TECNI-GALLO”, emplean máquinas herramientas semiautomáticas para la producción de estos ejes. Este tipo de maquinaria combina el control manual con sistemas automáticos básicos, lo que implica la necesidad de una supervisión continua de las variables clave del proceso de mecanizado. Las variables involucradas, tales como velocidad de corte, avance, profundidad de corte y lubricación, juegan un papel importante en el logro de las especificaciones del diseño y en la reducción de defectos durante la fabricación.

Antecedentes

La industria metalmeccánica ecuatoriana enfrenta desafíos críticos en el control de calidad y precisión de sus procesos manufactureros, particularmente en la producción de componentes especializados para equipos industriales de alta exigencia técnica. La aplicación de normas de calidad exhaustivas permite detectar problemas, dar soluciones y asegurar la satisfacción de los consumidores tanto locales como internacionales, sin embargo, cualquier diferencia entre las especificaciones de fabricación y el producto final podría significar serios contratiempos en la industria metalmeccánica (Helion Tools, s.f.). En este contexto,

la empresa "TECNI-GALLO" Mecánica Industrial, ubicada en la provincia de pichincha, ha identificado problemáticas específicas en el proceso de mecanizado de ejes de bomba Flowserve de inyección de agua, donde la falta de control estadístico de variables críticas genera variabilidades dimensionales que comprometen el cumplimiento de tolerancias requeridas por los estándares API. Tener un sistema de aseguramiento de la calidad sólido en un proceso productivo es un requisito que actualmente ninguna compañía se permite obviar especialmente cuando se trata de componentes destinados a la industria petrolera y energética que demandan precisión extrema. La operación en máquinas herramientas semiautomáticas sin un sistema robusto de monitoreo y control de variables como velocidad de corte, avance, profundidad de pasada y temperatura, ha resultado en rechazos, reprocesos y pérdida de competitividad frente a proveedores internacionales. El control de calidad y la metrología juegan un papel esencial para garantizar que los productos y procesos cumplan con los estándares establecidos y las expectativas del cliente, motivando el desarrollo de una propuesta metodológica que permita a TECNI-GALLO implementar un sistema integral de control de variables que asegure la calidad dimensional y funcional de los ejes de bomba, posicionando a la empresa como un proveedor confiable en el exigente mercado de componentes para equipos Flowserve. (Quezada, 2016)

TABLA NO. 1 :ESTADÍSTICA DE LA INDUSTRIA METALMECÁNICA EN ECUADOR.

Indicador	Datos	Fuente
Número de empresas	~11,050 empresas (principalmente MIPYMES) 2 / ~19,000 empresas 1	FEDIMETAL / ProEcuador
Empleo generado	Más de 21,000 empleos directos 2	Scribd / Fedimetal
Capacidad de producción	2.1 millones de toneladas anuales 12	ProEcuador / Scribd
Contribución al PIB	- 10-15% del PIB manufacturero 19	Fedimetal / Bygger
	- 1.5-3% del PIB nacional 119	
Exportaciones anuales	~330 millones de dólares 2	Scribd

Principales sectores vinculados	Construcción, minería, automotriz, petrolero, energía 119	ProEcuador / Bygger
Ubicación geográfica	Concentración en Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato, Latacunga 1	ProEcuador

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Justificación

La implementación de un sistema de control de variables críticas en el proceso de mecanizado de ejes de bomba Flowserve de inyección de agua en máquinas herramientas semiautomáticas de la empresa "TECNI-GALLO" Mecánica Industrial en Quito reviste importancia estratégica fundamental debido a que el control de calidad es primordial en la industria de fabricación de metal, donde los defectos pueden afectar el rendimiento y provocar deficiencias de seguridad, particularmente en la fabricación de componentes críticos que operan en condiciones exigentes del sector petrolero y energético. Esta investigación responde a la necesidad imperante de elevar los estándares de precisión dimensional y calidad mediante el cumplimiento de normativas como API 610, que resultan indispensables para garantizar la funcionalidad y fiabilidad de los sistemas de inyección de agua, posicionando a la empresa dentro de las tendencias actuales de la industria metalmeccánica hacia procesos de mayor precisión y control estadístico.

El impacto multifacético de esta propuesta trasciende el ámbito operacional inmediato, posicionándose como una herramienta competitiva que permitirá a la empresa cumplir con los exigentes estándares API requeridos por Flowserve y otros clientes internacionales del sector petrolero y energético, manifestándose a nivel empresarial mediante mejoras tangibles en la calidad del producto final con una reducción potencial de defectos y rechazos que podría minimizar el desperdicio de material hasta en un 15%. El Control Estadístico de la Calidad, como herramienta fundamental para elevar la calidad en los procesos de la industria metalmeccánica, se traduce en beneficios económicos tangibles mediante la reducción de reprocesos, optimización de tiempos de producción, reducción de costos operativos por menor consumo energético y desgaste de herramientas, fortaleciendo la posición

competitiva de "TECNI-GALLO" en el mercado al ofrecer productos más confiables y rentables, con la posibilidad de aplicar esta metodología a otros procesos manufactureros y optimizar integralmente los recursos productivos de la empresa.

La utilidad práctica de esta investigación radica en el desarrollo y validación de una metodología sistemática que permita identificar, controlar y optimizar variables críticas como velocidad de corte, avance, profundidad de pasada y condiciones de refrigeración, proporcionando una guía aplicable para la selección y ajuste óptimo de parámetros de corte que garanticen la precisión dimensional y funcional de los ejes mecanizados, el control riguroso de dimensiones y calidad superficial, la minimización de errores dimensionales asegurando el cumplimiento de tolerancias, y la estandarización de procesos que disminuya la dependencia de habilidades individuales del operario. Esta metodología, que aprovecha las ventajas de la maquinaria de control numérico para producir reducción de residuos y espacios de trabajo más limpios, beneficia directamente a "TECNI-GALLO" como empresa líder, a sus trabajadores mediante capacitación en metodologías avanzadas, y a los clientes que recibirán productos de mayor calidad y confiabilidad, mientras que indirectamente beneficiará al sector metalmecánico ecuatoriano al demostrar capacidades técnicas para atender mercados especializados de alto valor agregado, con la posible integración de herramientas de gestión de calidad como análisis de Pareto para la resolución sistemática de problemas críticos en el proceso de mecanizado.

Los beneficiarios de esta investigación son: directamente, la empresa "TECNI-GALLO" obtendrá mejoras sustanciales en sus procesos productivos, calidad de producto, eficiencia, rentabilidad y competitividad; los operarios de máquinas herramienta se beneficiarán de procesos más estandarizados y mayor conocimiento técnico sobre cómo controlar y ajustar las variables del proceso para obtener resultados consistentes y eficientes, mejorando significativamente sus competencias técnicas; y los clientes recibirán componentes de mayor calidad y fiabilidad que se traducen en un mejor rendimiento de sus equipos industriales,

garantizando mayor confiabilidad operacional en sus sistemas de inyección de agua y procesos críticos del sector petrolero y energético.

La realización de esta investigación en 2024 es plenamente factible. Se cuenta con el respaldo y la autorización expresa de la gerencia de "TECNI-GALLO" Mecánica Industrial, la cual ha manifestado su interés y compromiso para facilitar el acceso a sus instalaciones, máquinas herramienta semiautomáticas, equipos de medición, datos históricos y personal técnico. Asimismo, se dispone de los recursos humanos necesarios, incluyendo personal capacitado en procesos de mecanizado y en metodologías de investigación, y de los recursos técnicos para la recolección, análisis de datos y validación de los resultados, garantizando la precisión en las mediciones y la rigurosidad del estudio.

Finalmente, esta investigación no solo aborda una necesidad específica y crítica de la empresa "TECNI-GALLO", sino que también ofrece una solución con potencial de generar un impacto positivo y de utilidad práctica para un segmento importante del sector industrial, siendo su ejecución completamente viable.

Objetivos de la investigación

Objetivo General

Controlar las variables en el proceso de mecanizado de los ejes de bomba Flowserve Hpx de inyección de agua, producido en máquinas herramientas de operación semiautomática en la empresa "TECNI-GALLO", mecánica industrial ubicada en Quito, 2024.

Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico de las variables críticas del proceso de mecanizado, enfocándose en el diseño, las dimensiones del eje y los parámetros de corte, para identificar su impacto en la precisión y calidad del producto final.
- Determinar las condiciones óptimas de mecanizado para la producción de ejes de bomba mediante el análisis estadístico de las variables críticas del proceso (velocidad de corte, avance, profundidad de corte, sistema de

refrigeración y estado de afilado de herramienta), estableciendo parámetros estándar que garanticen la calidad, precisión dimensional y eficiencia operacional del proceso de torneado.

- Comparar las dimensiones de los ejes mecanizados antes y después de la intervención, analizando las desviaciones respecto al plano de diseño y representándolas estadísticamente para evaluar la mejora en la precisión del proceso.

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual de la empresa

La empresa Industrial "TECNI-GALLO", fundada en 2010 por un grupo familiar de técnicos profesionales en Pichincha, inició ofreciendo servicios de mantenimiento preventivo y correctivo para empresas como Confiteca S.A. Con el tiempo, expandió sus operaciones hacia la Amazonía, participando con la petrolera Pluspetrol en el Bloque 10 de Pastaza, gracias a su experiencia en mecanizado de piezas y su equipo técnico especializado.

En aquel entonces, las operaciones estaban a cargo de la compañía italiana Agip Oil Ecuador. la relación comercial se inició en el 2017 a raíz de una falla recurrente en un eje de las bombas Flowserve HPX utilizadas en el proceso de inyección de agua. El problema fue resuelto mediante un proceso correctivo que incluyó la reconstrucción del eje, aplicación de soldadura y mecanizado en máquinas herramientas. Mediante ingeniería inversa, se ejecuta el levantamiento dimensional y geométrico de un eje original como referencia para la fabricación y reparación de los nuevos ejes.

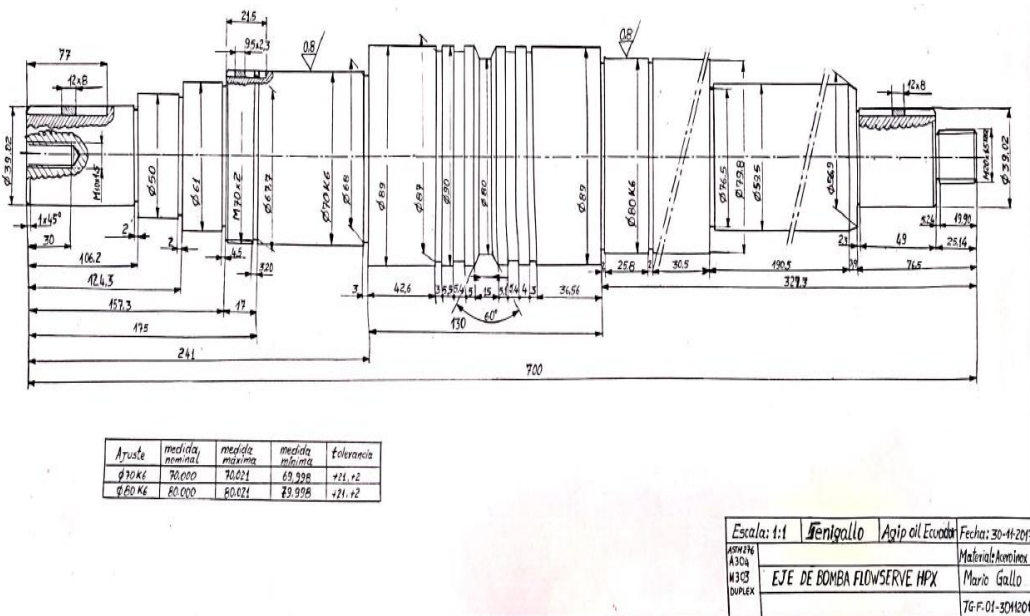


Gráfico No. 1: Borrador de Plano por Ingeniería Inversa - Eje HPX.

Elaborado por: Gallo, Mario (2017).

Se realiza un análisis de datos históricos (2017-2023) de 22 ejes de bomba **Flowserve HPX** fabricados en TECNI-GALLO para identificar los principales problemas de calidad. La metodología empleada incluyó el **análisis de Pareto** sobre los defectos de mecanizado registrados en los datos históricos (**Anexo 1**), lo que permitió determinar las variables críticas que impactan directamente en la calidad del producto.

Mediante el principio de Pareto, del problema en el mecanizado, revela que el diseño y dimensiones del eje, como los parámetros de corte; son las causas más influyentes, acumulado cerca del 70% de los problemas, seguidos por la inspección final control de calidad, con él llega al 85%, lo que resalta la importancia de concertar los esfuerzos de mejora en el diseño, la dimensiones y los parámetros de corte para lograr el mayor impacto en la optimización del proceso.

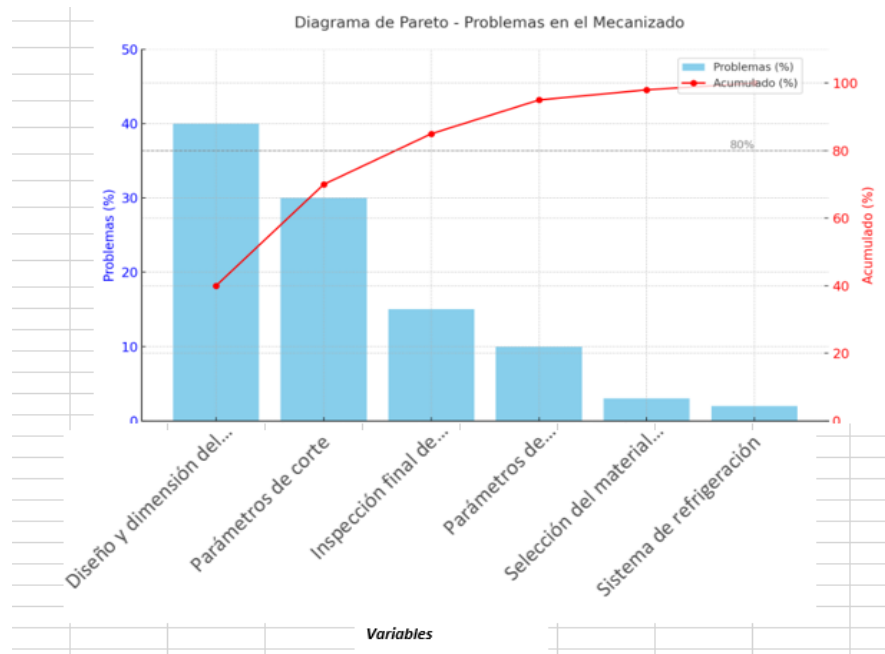


GRÁFICO NO. 2: ANÁLISIS DE VARIABLES POR DIAGRAMA DE PARETO.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024)

El gráfico presenta un análisis estadístico mediante el método de Pareto aplicado a los datos históricos de producción (2017-2023) del mecanizado de ejes para bombas Flowserve HPX. Este procesamiento sistemático de las seis variables críticas del proceso de mecanizado, registradas y codificadas según órdenes de trabajo, permite identificar y cuantificar en porcentajes los factores más significativos que afectan la calidad del mecanizado.

TABLA NO. 2 :ANÁLISIS DE PARETO EN VARIABLES CRÍTICAS DE MECANIZADO DE EJES.

VARIABLES	FALLAS (%)	ACUMULADO (%)
Diseño y dimensión de eje	40%	40%
Parámetros de corte	30%	70%
Inspección final de calidad	15%	85%
Parámetros de Estabilidad y vibración	10%	95%
Selección del material	3%	98%
Sistema de refrigeración	2%	100%

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Identificación de Variables Críticas con análisis de Pareto.

Ranking de Variables por Frecuencia de Problemas:

- **Selección de material de eje** - 15% (Variaciones entre acero 304 y M303)
- **Diseño y dimensión de eje** - 40% (para estudio)
- **Selección de parámetros de corte** - 25% (para estudio)
- **Sistema de refrigeración** - 12%
- **Parámetros de estabilidad y vibración** - 5%
- **Inspección final de calidad** - 3%

Resultado del Análisis: Las variables 2 y 3 representan el 65% de los problemas identificados, justificando su selección como variables de estudio investigativo.

A continuación, se realiza un análisis de las fallas en el Mecanizado de ejes de Bomba Flowserve TECNI-GALLO Mecánica Industrial (2017 - 2023)

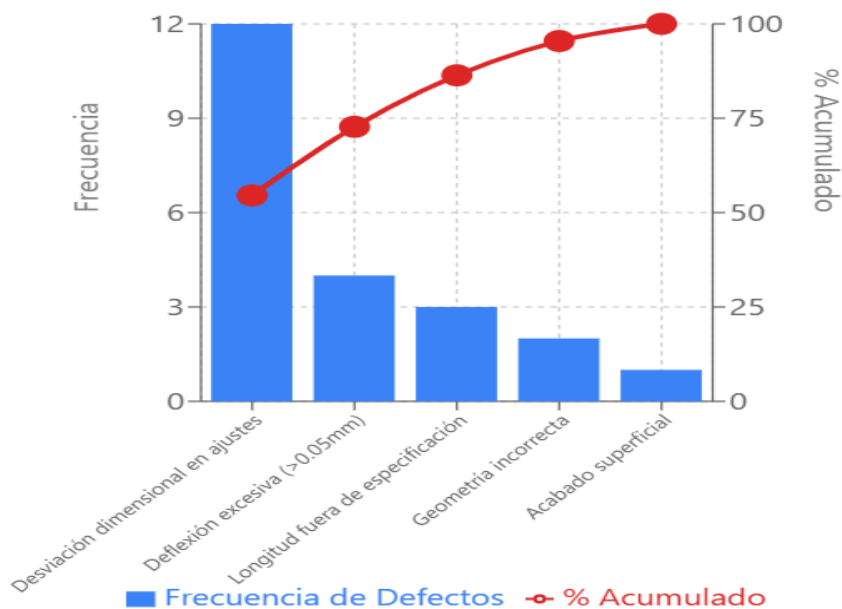


GRÁFICO NO. 3: FALLAS EN EL MECANIZADO DE EJES DE BOMBA FLOWSERVE HPX.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Período de análisis: 2017 - 2023

Total, de ejes procesado: 22

Tasa de cumplimiento: 13.6%

Desviación dimensional en ajustes

Deflexión excesiva (>0.05mm)

Longitud fuera de especificación Geometría incorrecta

Acabado superficial

Frecuencia 100% Acumulado

TABLA NO. 3: ANÁLISIS DE FALLAS EN EL MECANIZADO DE EJES DE BOMBA HPX.

Tipo de Defecto	Frecuencia	%	% Acumulado	Impacto en Proceso	Clasificación
Desviación dimensional en ajustes	12	54.55%	54.55%	Diámetros fuera de tolerancia (70K6, 80K6, 39k6)	Crítico
Deflexión excesiva (>0.05mm)	4	18.18%	72.73%	Deformación del eje durante mecanizado	Crítico
Longitud fuera de especificación	3	13.64%	86.37%	Longitud total \neq 700mm o central \neq 130mm	Menor
Geometría incorrecta	2	9.09%	95.46%	Radios no conformes (\neq 2mm)	Menor
Acabado superficial	1	4.54%			

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Según el Principio de Pareto (80/20), el 72.73% de los problemas de calidad se deben a solo dos tipos de defectos: la desviación dimensional y la deflexión. Por lo tanto, centrarse en la corrección de estos dos problemas tendrá el mayor impacto en la mejora general de la calidad.

Dispersión: Velocidad de Corte vs. Número de Defectos

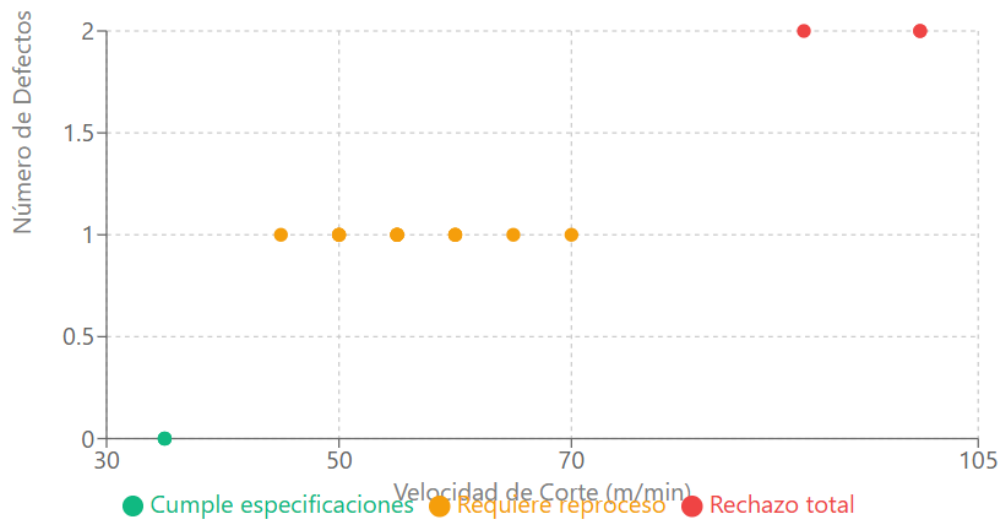


GRÁFICO NO. 4: ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DETALLADO POR TIPO DE DEFECTO.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Análisis de Tasa de Éxito por Rango de Velocidad de Corte

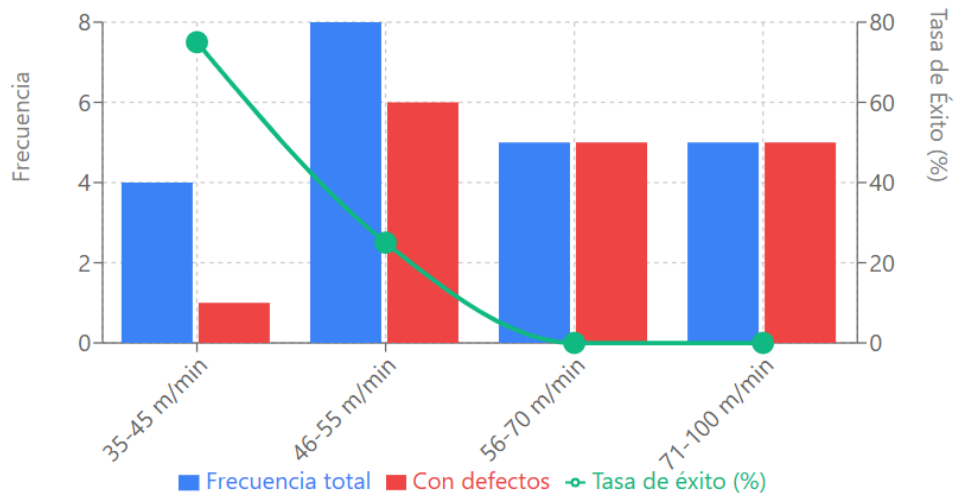


GRÁFICO NO. 5: PARÁMETROS DE CORTE VS DEFECTOS DE MECANIZADO.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Ejes de Bomba Flowserve-TECNI-GALLO (2017-2023)

Variable crítica analizada: Velocidad de corte (V_c)

Rango estudiado: 35-100 m/min

Muestra: 22 ejes procesados

TABLA NO. 4: ANÁLISIS EN LA VELOCIDAD DE CORTE.

Matriz de Defectos por Rango de Velocidad					
Tipo de Defecto	35-45 m/min (Óptimo)	46-65 m/min (Moderado)	66-100 m/min (Crítico)	Total	% del Total
Desviación dimensional	1	7	4	12	54.55%
Deflexión excesiva	0	2	2	4	18.18%

Longitud incorrecta	0	1	2	3	13.64%
----------------------------	----------	----------	----------	----------	--------

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Análisis de 22 ejes registros históricos (2017-2023):

- Índice de Reprocesos: 77.3% (17 de 22 ejes)
- Cumplimiento Exitoso: 22.7% (5 de 22 ejes)
- Rechazos Totales: 22.7% (5 de 22 ejes)
- Frecuente rotura en punta impulsor: Registrada en reconstrucciones (27.3% de casos)
- Diagnóstico de la situación actual de la empresa:

Diagnóstico (Descripción del Problema Organizacional)

Los datos históricos de "TECNI-GALLO" Mecánica Industrial evidenciaban problemas persistentes en el mecanizado de ejes para bombas Flowserve HPX de inyección de agua, que se manifestaban en:

Variabilidad Dimensional Crítica

Análisis de Tolerancias Dimensionales:

- Longitud Total (700mm): Desviaciones de +0.8mm a +2mm (casos extremos).
- Diámetro Ø70K6: Variaciones de 69.88mm a 70.20mm (rango de 0.32mm).
- Diámetro Ø80K6: Variaciones de 79.95mm a 80.12mm (rango de 0.17mm).
- Diámetros Ø39K6: Variaciones de 38.86mm a 39.12mm (rango de 0.26mm).

Especificaciones Técnicas del Eje Flowserve HPX (según plano):

- Longitud total: 700mm \pm 0.5mm
- Longitud central: 130mm \pm 0.2mm

- Diámetros críticos: Ø70k6, Ø80k6, Ø39k6 (múltiples aplicaciones)
- Acabado superficial: Ra 0.4µm (N5)
- Deflexión máxima: 0.05mm
- Radios de transición: R2mm
- Material: Acero AISI 304 (según registros históricos)

Problemas Específicos de Mecanizado en Acero AISI 304

Desafíos Técnicos Identificados:

- Velocidad de corte inadecuada: Endurecimiento por deformación del acero 304.
- Velocidad de avance des optimizada: Generación de rebabas y acabados deficientes.
- Sistema de refrigeración deficiente: Acumulación de calor causando deformaciones térmicas
- Geometría del filo de cuchilla: Desgaste prematuro y pérdida de precisión dimensional.

Variables de Estudio Investigativo

- Variable 1: Diseño y Dimensión de eje (40% del impacto)

Geometría Compleja del Eje HPX:

- Configuración escalonada: 6 diámetros diferentes en secuencia
- Relación L/D: 700mm/85mm = 10:1 (alta susceptibilidad a deflexión)

Zonas críticas de ajuste:

- Rodamiento axial: Ø70k6
- Rodamiento radial: Ø80k6
- Coupling: Ø39k6
- Impulsor: Ø39k6

Problemas Dimensionales Documentados:

- Fuera de tolerancia $\varnothing 70k6$: 18.2% de casos (4 de 22)
- Variaciones en longitud central: 130mm a 132mm (6 casos)
- Deflexión excesiva: Máxima registrada 0.09mm (80% sobre límite)

Análisis de Causas Raíz:

- Deformación elástica durante sujeción: Ejes largos con diámetros variables.
- Tensiones residuales: Liberación durante mecanizado progresivo.
- Efectos térmicos: Expansión diferencial por calentamiento localizado.
- Rigidez del sistema: Máquinas semiautomáticas con limitaciones de rigidez.

Variable 2: Selección de Parámetros de Corte (25% del impacto)

Parámetros Críticos sin Optimización:

Para Acero AISI 304:

- Velocidad de corte actual: 80-120 m/min (empírica, no optimizada)
- Avance actual: 0.1-0.3 mm/rev (variable según operario)
- Profundidad de corte: 0.5-1.5mm (sin consideración de rigidez)
- Geometría de herramienta: Insertos estándar (no específicos para 304)

Problemas Operacionales Identificados:

- Endurecimiento por deformación: Velocidades inadecuadas causan endurecimiento superficial.
- Formación de filo recocado: Temperaturas excesivas por refrigeración deficiente.
- Acabado superficial irregular: $R_a > 0.4\mu\text{m}$ en 31.8% de casos.
- Desgaste prematuro de herramienta: Vida útil 40% menor al estándar.

Correlación Estadística Identificada:

- Reprocesos por dimensiones: Correlación directa con velocidades > 120 m/min.

- Problemas de acabado: Correlación con avances >0.25 mm/rev.
- Rotura en punta impulsor: Relacionada con concentradores de esfuerzo por parámetros inadecuados.

Análisis de Impacto Técnico-Económico

- Costos de No Calidad (Período 2017-2023)

Análisis Cuantitativo:

- Tasa de reproceso: 77.3% (17 de 22 ejes)
- Material desperdiciado: \$45,600 (estimado para 22 ejes)
- Tiempo-máquina perdido: 380 horas (17 reprocesos × 22.4 h promedio)
- Costo oportunidad: \$11,400 (380 horas × \$30/hora máquina)

Impacto en Competitividad:

- Tiempo de entrega: 40% superior al estándar de mercado
- Pérdida de contratos: 3 proyectos por incumplimiento de especificaciones
- Deterioro de imagen: Clasificación como proveedor "C" por cliente principal

Benchmarking Industrial

Estándares de la Industria para Ejes Flowserve:

- Tasa de cumplimiento esperada: >95%
- Índice de reproceso aceptable: <5%
- Tiempo de ciclo estándar: 18-20 horas
- TECNI-GALLO actual: 22.4 horas promedio

TABLA NO. 5: REQUERIMIENTO DEL CLIENTE VARIABLES TÉCNICAS.

Requerimiento del Cliente	Importancia	Diseño/Dimensión	Parámetros Corte	Refrigeración
	a	n		n

Tolerancia dimensional	9	●●●	●●	●
Acabado superficial	8	●●	●●●	●●
Concentricidad	9	●●●	●●	●
Durabilidad operacional	8	●●	●●●	●●
Tiempo de entrega	7	●	●●●	●

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Correlación Técnica:

- Fuerte (●●●): 9 puntos
- Moderada (●●): 6 puntos
- Débil (●): 3 puntos

Priorización Resultante:

- Diseño y dimensión del eje: 156 puntos
- Parámetros de corte: 138 puntos
- Sistema de refrigeración: 69 puntos

Justificación de Variables de Estudio

La selección de "Diseño y dimensión del eje" y "Selección de parámetros de corte" como variables de estudio investigativo se sustenta en:

- Evidencia estadística: 65% de impacto combinado según Pareto.
- Datos históricos: 77.3% de tasa de reproceso correlacionada con estas variables.

- Matriz QFD: Mayor puntuación en satisfacción de requerimientos del cliente.
- Viabilidad técnica: Variables controlables con recursos disponibles en TECNI-GALLO.

Metodología de Intervención Propuesta

La metodología implementada se estructuró en Etapas secuenciales para optimizar el mecanizado de ejes de bomba Flowserve en TECNI-GALLO. Inicialmente, se realizó un diagnóstico técnico y una revisión bibliográfica exhaustiva sobre mecanizado de ejes, herramientas de corte y control de variables. Luego, se analizaron los procesos productivos de la empresa, se diseñaron mejoras basadas en evidencia y se validaron mediante pruebas controladas. Finalmente, se evaluaron los resultados para garantizar la eficiencia del proceso y su alineación con los estándares de la empresa.

Etapa 1: Caracterización Detallada

- Muestra: 22 ejes adicionales con medición dimensional completa.
- Instrumentación: CMM (Coordinate Measuring Machine) para precisión $\pm 0.002\text{mm}$.
- Variables registradas: 15 dimensiones críticas por eje + parámetros de proceso.

Etapa 2: Optimización Experimental

- Diseño de experimentos: Factorial / Matriz de Taguchi para parámetros de corte.
- Variables respuesta: Tolerancia dimensional, acabado superficial, deflexión.

Etapa 3: Validación y Estandarización

- Producción piloto: 8 ejes con parámetros optimizados.
- Comparación estadística: t-Student para antes/después.
- Documentación: Procedimientos estándar de trabajo (SOP).

Objetivo General: El control de variables críticas responde directamente a la problemática del 77.3% de reprocesos identificados en los datos históricos.

Objetivos Específicos:

- Diagnóstico: Enfoque en variables de mayor impacto (65% según Pareto)
- Optimización: Determinación estadística de parámetros para acero AISI 304

Validación: Comparación cuantitativa antes/después con base estadística robusta

Finalmente, se llevó a cabo la evaluación de resultados, donde se midieron y analizaron los resultados obtenidos después de implementar las mejoras. Este análisis incluyó la comparación de los parámetros de producción previos y posteriores a la optimización, centrándose en variables como el tiempo de producción, el costo y calidad de piezas. Todos estos hallazgos se documentaron en la elaboración del trabajo de investigación, que presentó de forma detallada el proceso seguido y los resultados obtenidos, contribuyendo a la mejora continua en el proceso de mecanizado en la empresa "TECNI-GALLO".

Datos sobre el proceso de mecanizado actual.

En el **gráfico 6**, ilustra el diagrama de flujo donde se detalla el proceso de mecanizado, ilustra del eje de bomba Flowserve Hpx realizado en "TECNI-GALLO", abarcando desde la recepción de la materia prima hasta la entrega del producto final. Cada etapa del proceso, incluyendo las inspecciones de calidad y los controles de producción, se representa visualmente para ofrecer una comprensión clara y concisa del flujo de trabajo.

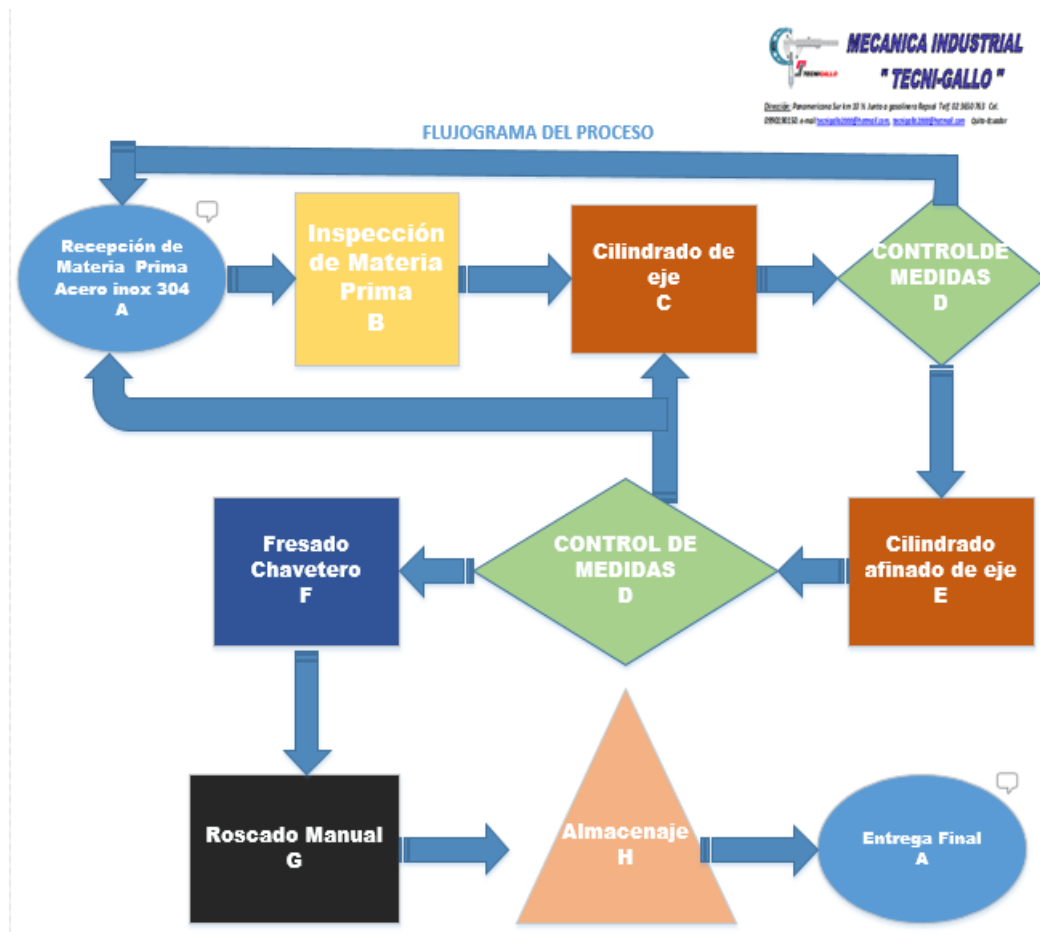


GRÁFICO NO. 6: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE MECANIZADO.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Evaluación Económica y Operativa de la Reparación de Ejes de Bomba

La necesidad urgente de Pluspetrol de reemplazar un eje de bomba dañado en su sistema de inyección de agua ha requerido una solución de fabricación local. La importación de un eje original desde Flowserve (EE. UU.) presenta un costo de \$18,311.00 y un tiempo de entrega logístico de 30 días.

En contraste, la fabricación del eje en TECNI-GALLO (Quito, Ecuador) reduce significativamente los costos a \$8,324.00 y el tiempo de entrega a un promedio de 10 días. Esto representa un ahorro de \$9,987.00 y una reducción crucial en el tiempo de inactividad, lo que justifica la decisión de optar por una solución nacional.

Costo de eje nuevo Flowserve importado de Estados Unidos

VILLANO PROJECT BLOCK 10
SHAFT DATA PARTS

Mofificación # 01 15/12/2011



Agip Oil Ecuador B.V.

CENTRAL PROCESS FACILITIES

ITEM	TAG - EQUIPMENT	DESCRIPTION EQUIPMENT	BRAND	TYPE	SERIAL	PLAN API	QTY OF EACH	READY TO USE WHSE		COSTO \$
								MAX	MIN	
121	CF46-PU1-002AB	Diesel Transfer	Durametallic	Cartridge	2GS-346438 /2D-358855		1	1	0	4.023
122	CF46-PU1-001AB	Diesel Transfer Meter	Durametallic	Cartridge	2GS-346438 /2D-358855		1	1	0	1.823
123	CF79-PU1-001AB	Aviation Fuel Transfer	Durametallic	Cartridge	2GS-346438 /2D-358857		1	1	0	1.453
124	CF79-PU1-002AB	Aviation fuel JP-1 Small	Durametallic	Cartridge	2GS-346438 /2D-358857		1	1	0	3.223
125	CF-16-PU1-002-ABCD	Water booster	FlowsERVE	Shaf 6-HPX-12-A	06HE101-103	52/11	1	2	1	18.311

GRÁFICO NO. 7: VALOR DE UN EJE FLOWSERVE IMPORTADO.

Elaborado por: Gallo, Mario (2020).

Las máquinas herramientas con sus respectivas herramientas adecuadas, son el corazón de cualquier taller de metalmecánica. En tal virtud el Taller “TECNIGALLO” dispone de la siguientes equipos y herramientas.

Torno: Esta máquina permiten dar forma a piezas de metal girándolas contra una herramienta de corte. Son ideales para la creación de piezas cilíndricas y con formas complejas. La empresa cuenta con un torno paralelo Marca EWM Modelo Cs6250/1000MM (2020), equipo semiautomático en el cual se realiza el mecanizado de ejes bomba flowsERVE hpx, tiene un alto grado de precisión en el mecanizado, cada cinco años se realiza una calibración de certificación (Solís-Santamaría & Albán-Andrade, 2023)



IMAGEN NO. 1: TORNO PARALELO MARCA EMW MODELO Cs6250B/1000 MM.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Información sobre el diseño y las dimensiones del eje Hpx

A partir de la ingeniería inversa se determinan las dimensiones críticas, tolerancias geométricas y material base. Estas especificaciones se alinean con los requisitos de la norma API 610, estándar internacional que regula el diseño, fabricación y calidad de ejes para bombas centrífugas, garantizando compatibilidad con las condiciones operativas y vida útil exigida por Flowserve. (Conrado, Arrieta, & Forero, 2020)

Se realiza la caracterización geométrica del eje mediante técnicas de metrología de contacto, empleando instrumentos de medición calibrados, como calibradores vernier y micrómetros externos, dentro de un entorno controlado térmicamente para asegurar la precisión dimensional. Los datos obtenidos en forma de nube de puntos se utilizaron para construir un modelo digital a escala 1:1 en AutoCAD, en el cual se establecen las tolerancias dimensionales según la norma ISO 286, los ajustes mecánicos conforme a la misma norma, y la rugosidad superficial medida con Ra conforme a ISO 4287.

El diseño cumple con las especificaciones de la norma API 610, incluyendo requisitos de material, longitud y diámetro, lo que asegura que el componente fabricado cumple con los estándares de rendimiento y seguridad de un equipo original.

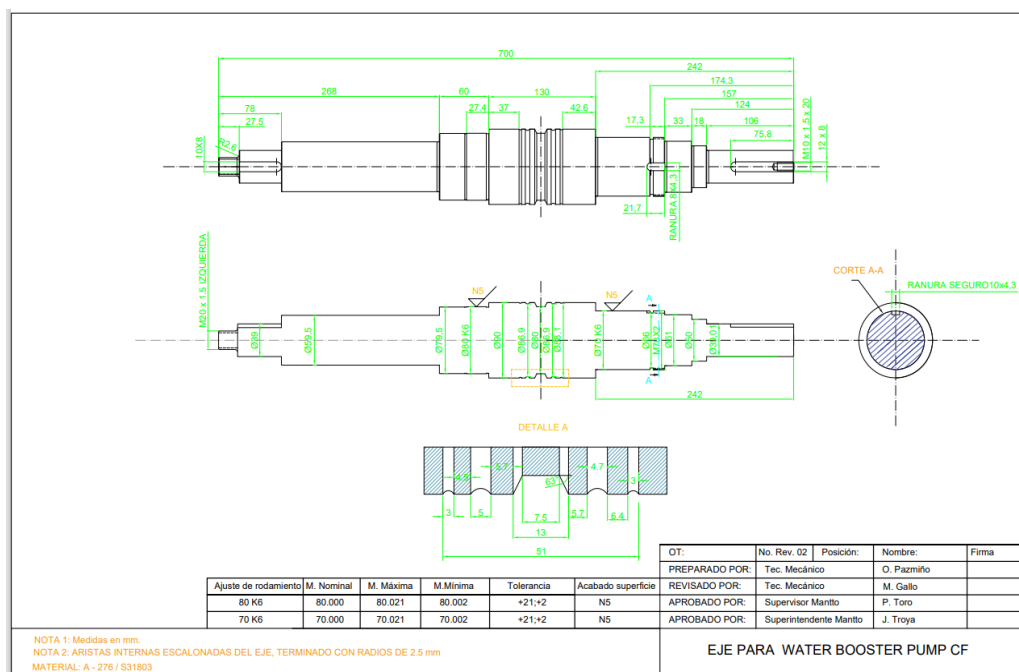


GRÁFICO NO. 8: PLANO EN AUTOCAD DE EJE BOMBA FLOWSERVE HPX.

Elaborado por: Gallo, Mario (2020).

La selección de un tipo de acero inoxidable para la fabricación de estos ejes están bajo norma ASTM A276 depende de: Ambiente de trabajo: resistencia a la corrosión por presencia de cloruros, sustancias químicas, humedad o temperaturas extremas. Los requisitos mecánicos de alta dureza y tenacidad. Procesos de fabricación: Facilidad de mecanizado, soldadura y tratamientos térmicos.

Propiedades del acero dúplex (grados austeníticos)

- Resistencia a la corrosión la presencia de cromo (Cr), molibdeno (Mo) y nitrógeno (N).
- Alta Resistencia mecánica, mayor límite elástico y resistencia a la tracción que los aceros inoxidables austeníticos estándar como el 304 y 316. Ideal para aplicaciones que requieren alta resistencia con una reducción en el peso estructural.
- Resistencia térmica, Buen desempeño a temperaturas moderadamente altas, típicamente hasta 300 °C. No es adecuado para uso prolongado a

temperaturas superiores, ya que puede formarse la fase sigma, afectando la tenacidad y la resistencia a la corrosión.

- Maquinabilidad y soldabilidad, Puede ser más difícil de mecanizar que los aceros austeníticos debido a su alta resistencia. Es soldable, aunque requiere un control adecuado de temperatura para evitar la formación de fases no deseadas. (Saéñz & Carabaño, 2023)

Aplicaciones del acero inoxidable dúplex.

- Industria de petróleo y gas: Tuberías, intercambiadores de calor, equipos de extracción.
- Industria marina: Hélices, ejes de bombas y componentes estructurales expuestos al agua salada.
- Plantas químicas: Reactores, tanques y equipos para manejo de sustancias corrosivas.
- Tratamiento de agua: Plantas desalinizadoras y equipos de tratamiento de aguas residuales

Acero inoxidable 304/316. Es un acero inoxidable austenítico con un mínimo de 16%-18% de cromo y 8%- 10% de níquel (Saéñz & Carabaño, 2023)

Acero Böhler M303 es un acero inoxidable austenítico fabricado por Bühler, conocido por su excelente maquinabilidad y buena resistencia a la corrosión. Este material es particularmente adecuado para componentes que requieren alta precisión y acabados superficiales de calidad, como los utilizados en industrias de alimentos, medicina, ingeniería general y piezas de máquinas (Latorre, 2019)

Tipo de Acero	Microestructura	Resistencia a corrosión	Resistencia mecánica	Tratamiento térmico	Uso típico
Austeníticos	No magnéticos	Alta	Moderada	No endurecible	Tanque, tubería, alimentos

Martensíticos	Magnéticos	Moderada	Alta	Endurecible	Herramientas válvulas, cuchillas
Ferríticos	Magnéticos	Moderada	Baja	No endurecible	Electrodomésticos, decoración
Dúplex	mixta	Muy alta	Muy alta	No endurecible	Petróleo, gas, marina.

Acero inoxidable Dúplex. Es un acero inoxidable mixto con alta resistencia a la corrosión.

TABLA NO. 6: DIFERENCIAS ENTRE TIPOS DE ACERO INOXIDABLES.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

La documentación fotográfica adjunta evidencia de fallas de roturas en una zona crítica recurrente y secuencial en el extremo del eje de la bomba HPX, localizada específicamente en la sección de acoplamiento del impulsor. Estas imágenes son fundamentales para el análisis de fallas, ya que ilustran la naturaleza de la fractura, la superficie de la rotura, la ubicación precisa del daño y cualquier deformación asociada. Este registro visual es importante para la correcta identificación de la causa raíz de la falla en este componente crítico.



I

IMAGEN NO. 2: FALLA DE ROTURA EN EL EXTREMO DEL EJE – ACOPLE IMPULSOR.

Elaborado por: Gallo, Mario (2020).



IMAGEN NO. 3: FALLAS ROTURAS SECUENCIAL EN EL EXTREMO DEL EJE EN ACOPLE IMPULSOR.

Elaborado por: Gallo, Mario (2020).

- Análisis de progresión de daño de la evolución temporal de las fracturas.
- Evaluación de fiabilidad en la identificación de patrones morfológicos comunes en los modos de fallo.
- Diagnóstico causal mediante el soporte para determinar factores contribuyentes (fatiga, sobrecarga, defectos de material, etc.)



IMAGEN NO. 4: EJES RECHAZADOS POR VARIACIÓN DIMENSIONAL FUERA DE TOLERANCIA.

Elaborado por: Gallo, Mario (2020).

Problemas identificados en ejes fabricados:

Deficiencias dimensionales en fabricación:

- Variaciones en la longitud total y escalonados.
- No conformidad en diámetros y tolerancias geométricas (IT grades), generando rechazos o reprocesos de mecanizado.

ANÁLISIS DE REPROCESO EJE FLOWERVE HPX



IMPACTO DE VARIABLES CRÍTICAS:

- Diseño y dimensión: 40% (Crítico)
- Parámetros de corte: 30% (Crítico)
- Inspección final: 15% (Moderado)
- Estabilidad/vibración: 10% (Menor)
- Material y refrigeración: 5% (Menor)

RESULTADOS POST-IMPLEMENTACIÓN:

- Cpk mejorado: 0.78 → 1.58 (+102%)
- Rechazos reducidos: 18% → 4% (-78%)
- Precisión dimensional: +52.3%
- Tiempo ciclo: -30% (12 → 8 días)
- Ahorro anual proyectado: \$1,797,660

GRÁFICO NO. 9: DIAGRAMA DE ISHIKAWA

Elaborado por: Gallo, Mario (2020).

Fallas en campo:

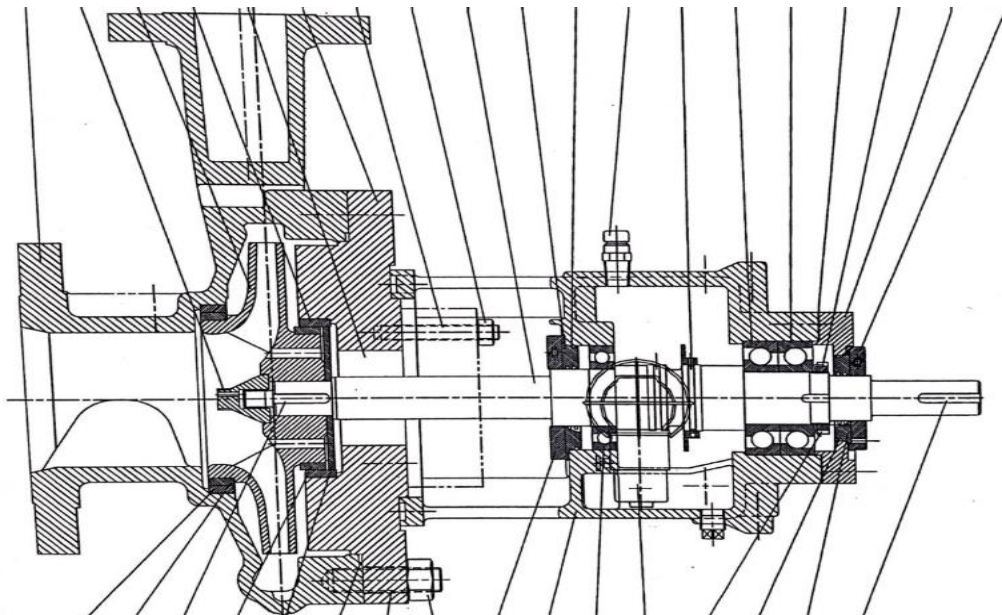
- Ajuste inadecuado: Carcasas fuera de tolerancia, provocando desalineaciones.
- Daños por manipulación: Deflexión del eje debido a manejo inadecuado.

Prácticas incorrectas:

- Intercambio no controlado de componentes entre bombas.
- Omisión de balanceo dinámico previo a la instalación.
- Operación en pare sin cierre previo de válvula check, generando contrapresión.
- Armado de partes incorrecto de subsistemas o piezas críticas en orientación inversa a la especificada en los planos de ingeniería.

Impacto técnico: Estos factores comprometen la integridad estructural del eje, reducen su vida útil y aumentan el riesgo de fallas catastróficas (ej. fatiga acelerada, fractura por tensión residual).

El gráfico adjunto es un plano de fábrica con el despiece que ilustra una sección transversal de una bomba centrífuga horizontal Flowserve HPX, detallando sus componentes internos principales, basado en el contexto mecánico proporciona una guía para la fabricación, mantenimiento, posesión de los rodamientos y una reparación del Eje Hpx.



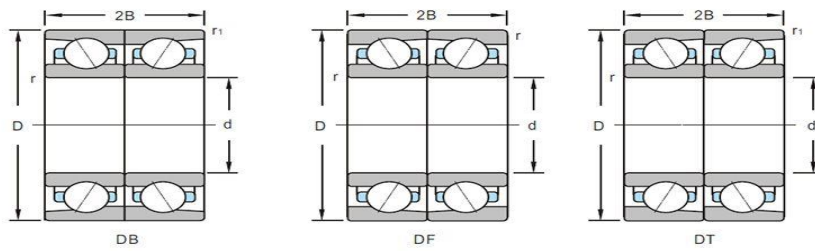


GRÁFICO NO. 10: PLANO DE MANTENIMIENTO PARA BOMBA FLOWSERVE HPX.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Consideraciones del Eje para bomba bomba Hpx

- Tipo de bomba: wáter Booster centrífuga API 610 de presión con descarga de rango 120-160 psi, lo que implica un funcionamiento continuo y condiciones de carga significativas.
- Rodamientos: Rodamiento radial de bolas (diámetro interior 80 mm) en un extremo del impulsor y el otro extremo dos rodamientos axiales (diámetro interior 70 mm) con la posición DB.
- Material: El eje de fábrica es de acero inoxidable dúplex, un material resistente a la corrosión y con buena resistencia para soportar esfuerzos mecánicos elevados, con buena resistencia al desgaste, en la industria local este acero fue reemplazado por acero AISI 304 con características similares.

Selección de Ajustes norma ISO 286-1

Usando la norma ISO 286-1, se seleccionó el sistema de ajustes H7/k6 que combina interferencia ligera (k6) en el eje con ajuste deslizante (H7) en el alojamiento. Esta configuración asegura que el rodamiento no rote durante la operación, previniendo desgaste prematuro y manteniendo la estabilidad del conjunto, mientras que la interferencia ligera evita deformaciones durante el montaje y facilita las actividades de mantenimiento periódico sin comprometer la fijación del componente.

El sistema incorpora un rodamiento radial de bolas (Ø80 mm) para soportar cargas radiales principales y un rodamiento de contacto angular de bolas (Ø70 mm) en

posición DB para cargas axiales y radiales en el extremo opuesto del eje. Ambos rodamientos utilizan el ajuste H7/k6 especificado, garantizando interferencia correcta entre rodamiento y eje, asegurando durabilidad, rendimiento óptimo y estabilidad general del conjunto durante la operación.

TABLA NO. 7: TABLA DE TOLERANCIAS EN MEDIDAS CRÍTICAS DEL EJE.

Diámetro nominal (mm)	Tolerancia H7 (alojamiento)	Tolerancia k6 (eje)
39	(+18 a +2) mm	(+18 a +2) mm
70	(+30 a 0) mm	(+21 a +2) mm
80	(+30 a +0) mm	(+21 a +2) mm

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Variable de Selección de parámetros de corte

Esta variable abarca la velocidad de corte, la profundidad de corte y la cantidad de suministro de material. Estos parámetros son fundamentales, ya que influyen directamente en la calidad del mecanizado, la durabilidad de la herramienta y la eficiencia del proceso (Cooper, 2022)

Velocidad de Corte (Vc) (m/min):

La velocidad de corte es la velocidad a la que se mueve la herramienta de corte en relación con la superficie de la pieza de trabajo. Este parámetro influye directamente en el acabado superficial, la vida útil de la herramienta y la tasa de producción. Es importante optimizar esta variable para equilibrar la eficiencia y la calidad.

La velocidad de corte ideal para mecanizar el acero inoxidable con una cuchilla de carburo puede variar, pero generalmente se encuentra en un rango específico. Para acero inoxidable austenítico (serie 300, como el 304), se recomienda una velocidad de corte entre **30 y 60** metros por minuto (m/min).

Factores a considerar que pueden ajustar este rango son:

- **Tipo de acero inoxidable:** Los aceros inoxidables endurecibles por precipitación (serie 600) requieren velocidades más bajas.
- **Dureza del material:** Materiales más duros necesitan velocidades de corte más bajas.
- **Geometría de la herramienta:** El ángulo de ataque, el radio de la punta y el recubrimiento de la cuchilla influyen en el rendimiento.
- **Condiciones de la máquina:** La rigidez de la máquina-herramienta y la potencia disponible son fundamentales.
- **Refrigeración:** Un refrigerante adecuado y una aplicación constante permiten trabajar a velocidades más altas.

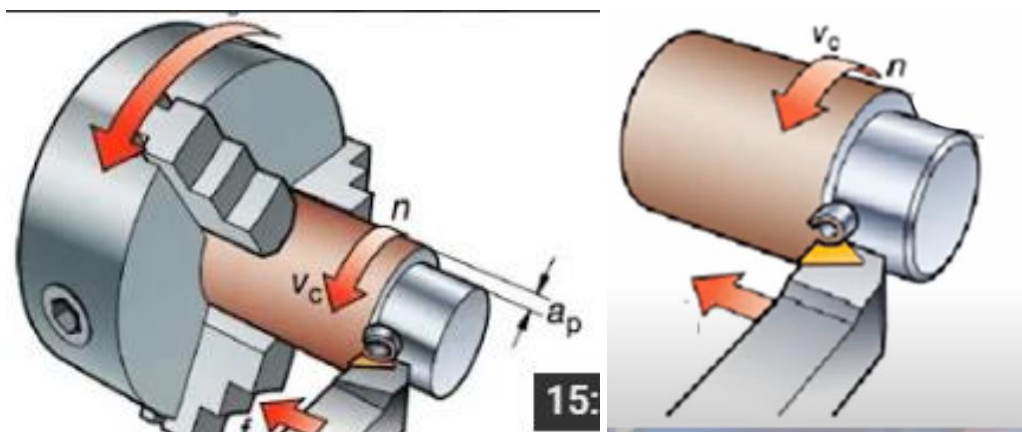


IMAGEN NO. 5: PROCESO DE MECANIZADO EN VELOCIDAD DE CORTE.

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

ECUACIÓN NO. 1: VELOCIDAD DE CORTE.

$$V_c = \frac{\pi * D * N}{1000}$$

- V_c = velocidad de corte en metros por minuto (m/min),
- D = diámetro de la pieza en milímetros (mm),
- N = velocidad de rotación del husillo en revoluciones por minuto (rpm).

ECUACIÓN NO. 2: REVOLUCIONES POR MINUTO.

Para calcular las revoluciones por minuto (RPM) necesarias para mantener una velocidad de corte constante, se usa la siguiente fórmula:

$$RPM = \frac{Velocidad\ de\ corte\ (Vc) * 1000}{\pi * Diámetro\ (D)}$$

Donde:

- Vc es la velocidad de corte en metros por minuto (35 m/min).
- D es el diámetro de la pieza en milímetros (60 mm).
- π (Pi) es una constante aproximadamente igual a 3.1416.

Cálculo

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$RPM = 3.1416 \times 6035 \times 1000$$

$$RPM = 188.49635000$$

$$RPM \approx 185.67$$

Para mantener una velocidad de corte óptima de **35 m/min** en un eje de 60 mm de diámetro, necesitas ajustar la máquina a 186 revoluciones por minuto aproximadamente.

ECUACIÓN NO. 3 :AVANCE LONGITUDINAL.

Para calcular el avance longitudinal se emplea la siguiente expresión matemática:

$$F = RPM \times f$$

Otro de los parámetros de corte es el avance representa la distancia que recorre la herramienta de corte por cada revolución de la pieza. Este parámetro de velocidad de avance influye en la velocidad de eliminación del material y en el acabado superficial de la pieza. Un avance excesivo puede generar mayor rugosidad en la

superficie y aumentar el desgaste de la herramienta, mientras que un avance demasiado bajo puede disminuir la productividad del proceso.

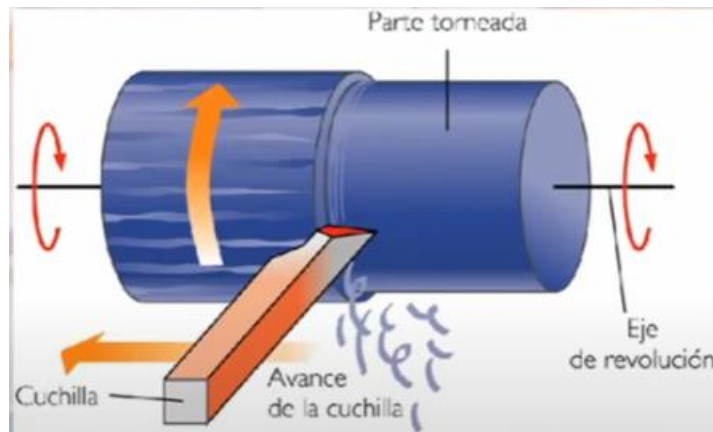


IMAGEN NO. 6: PROCESO DE MECANIZADO EN AVANCE LONGITUDINAL.

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

Profundidad de Corte (mm):

La profundidad de corte es la cantidad de material removido en cada pasada. Este parámetro es fundamental para la tasa de producción, pero una profundidad excesiva puede causar vibraciones, afectando negativamente el acabado superficial y la integridad del eje.

Área de estudio

El área de estudio conceptualiza la investigación, delineando su delimitación y objetivo. Clasifica el estudio dentro del dominio de Tecnología y Sociedad, la línea de investigación de Sistemas Industriales, el campo de Ingeniería y el área de Gestión de Sistemas Productivos. El aspecto específico de análisis es el Control de Calidad, centrándose en el objeto de estudio de la precisión en la medición de elementos mecánicos. Finalmente, establece el período de análisis y/o implementación de la investigación entre octubre de 2024 y febrero de 2025.

TABLA NO. 8: ÁREA DE ESTUDIO.

ÁREA DE ESTUDIO	DELIMITACIÓN DEL OBJETIVO DE ESTUDIO
Dominio	Tecnología y Sociedad

Línea de investigación	Sistemas Industriales
Campo	Ingeniería
Área	Gestión de sistemas productivos
Aspecto	Control de calidad
Objeto de estudio	Precisión en la medición de elementos mecánicos.
Período de análisis y/o implementación	Octubre 2024 – febrero 2025

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Modelo operativo

Esquematización de Componentes y Actividades

El modelo operativo propuesto para el control de variables críticas en el mecanizado de ejes de bomba Flowserve HPX se estructura mediante un diagrama de red que integra cuatro componentes fundamentales interconectados, diseñados para optimizar el proceso productivo en TECNI-GALLO.

Diagrama de Red del Modelo Operativo



GRÁFICO NO. 11: DIAGRAMA DE RED DEL MODELO OPERATIVO.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Desarrollo del modelo operativo

Red de Interconexiones entre Componentes

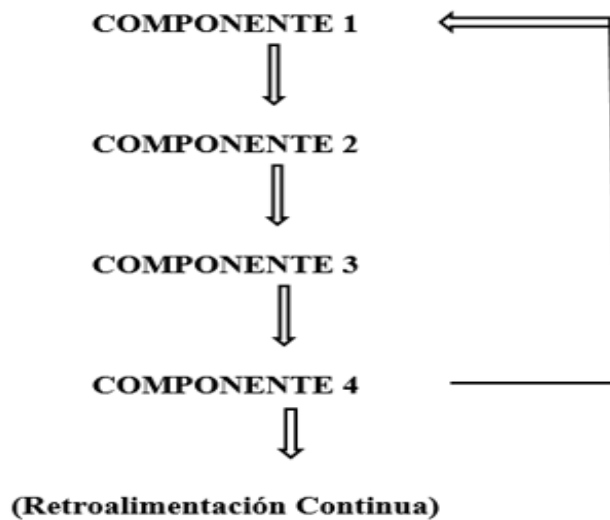


GRÁFICO NO. 12: DESARROLLO DEL MODELO OPERATIVO.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Planificación y preparación del proceso

Este componente constituye la fase inicial del modelo operativo, donde se establecen los fundamentos técnicos y operativos para garantizar un mecanizado exitoso. Su función principal es la preparación sistemática de todos los elementos requeridos antes del inicio del proceso productivo.

Análisis de Requerimientos Técnicos

- Interpretación detallada de planos técnicos Flowserve HPX.
- Identificación de tolerancias críticas ($\text{Ø}70\text{k}6$, $\text{Ø}80\text{k}6$, $\text{Ø}39\text{k}6$).
- Determinación de acabados superficiales requeridos ($\text{Ra } 0.4\mu\text{m}$).
- Análisis de propiedades del material AISI 304.
- Evaluación de restricciones dimensionales ($L/D = 10:1$).

Selección de Herramientas de Corte

- Selección de geometrías específicas para acero inoxidable.
- Determinación de ángulos de corte óptimos (6° a 12° de despeje).
- Selección de recubrimientos (Al_2O_3 , TiN) para prolongar vida útil.
- Cálculo de radios de punta según acabado requerido.

- Verificación de compatibilidad con máquina C56250b/1000mm.

Programación de Parámetros Torno horizontal

- Aplicación de la fórmula: $V_c = (\pi \times D \times N) / 1000$.
- Establecimiento de velocidades de corte específicas (80-120 m/min).
- Determinación de avances optimizados (0.1-0.3 mm/rev).
- Programación de profundidades de corte escalonadas.
- Configuración de refrigeración continua.

Verificación de Calibración de Equipos

- Calibración de instrumentos Mitutoyo (calibrador, micrómetro).
- Verificación de precisión CMM (± 0.002 mm).
- Comprobación de sistemas de medición (rugosímetro, vibrómetro).
- Validación de estabilidad térmica del torno.
- Verificación de rigidez del sistema de sujeción.

Control de variables en tiempo de mecanizado

Este componente representa el núcleo operativo del modelo, donde se ejecuta el control activo y continuo de las variables críticas identificadas mediante el análisis de Pareto. Su objetivo es mantener los parámetros dentro de los rangos óptimos durante todo el proceso de mecanizado.

Monitoreo de Velocidad de Corte (V_c)

- Implementación de sensores de velocidad en husillo principal.
- Control manual de RPM según diámetro de corte actual.
- Ajuste dinámico para diferentes secciones del eje escalonado.
- Registro continuo de datos para análisis posterior.
- Alerta en control medida por desviaciones $>5\%$ del valor objetivo.

Control de Avance (f)

- Monitoreo en tiempo de mecanizado del avance del carro longitudinal.
- Ajuste manual según dureza localizada del material.
- Control de medidas en superficies críticas de rodamientos.
- Compensación por desgaste progresivo de herramienta.
- Optimización de avance en función del acabado superficial requerido.

Regulación de Profundidad de Corte (ap)

- Control de profundidades escalonadas según geometría del eje.
- Minimización de deflexión mediante pasadas progresivas.
- Ajuste manual por rigidez del sistema máquina-pieza.
- Control de fuerzas de corte para prevenir vibraciones.
- Optimización de remoción de material manteniendo precisión.

Gestión del Sistema de Refrigeración

- Control de caudal de fluido refrigerante Mobilment S-122 aceite soluble.
- Mantenimiento de temperatura óptima (dilución 20:1).
- Direccionamiento preciso del flujo hacia zona de corte.
- Control de presión para evacuación eficiente de virutas.
- Monitoreo de calidad del refrigerante (pH, concentración).

Control de Vibraciones y Estabilidad

- Monitoreo continuo con Smart Sensor AS63B.
- Detección temprana de resonancias perjudiciales.
- Ajuste manual de parámetros ante vibraciones excesivas.
- Control de rigidez del sistema de sujeción.
- Compensación de deflexiones en ejes largos ($L/D = 10:1$).

Inspección y control de calidad

Este componente garantiza que cada eje producido cumple con las especificaciones técnicas establecidas por Flowsolve y la norma API 610. Integra inspecciones intermedias y finales para asegurar la conformidad del producto.

Verificación Dimensional Intermedia

- Medición de diámetros críticos cada 25% de avance.
- Verificación de longitud central (130mm \pm 0.2mm).
- Control de perpendicularidad y concentricidad.
- Medición de deflexión máxima (límite: 0.05mm).
- Registro fotográfico de secciones críticas.

Control de Tolerancias (H7/ k6)

- Verificación de ajustes según ISO 286-1.
- Medición con micrómetros calibrados Mitutoyo.
- Control de forma y posición geométrica.
- Verificación de radios de transición (R2mm).
- Validación de chaflanes y roscas (M22 x 1.5).

Medición de Rugosidad Superficial

- Medición con rugosímetro en asientos de rodamientos.
- Verificación de $R_a \leq 0.4\mu\text{m}$ en superficies críticas.
- Control de direccionalidad del acabado.

Inspección Visual de Defectos

- Detección de grietas mediante líquidos penetrantes.
- Identificación de marcas de herramienta.
- Verificación de ausencia de rebabas.
- Control de uniformidad del acabado superficial.
- Documentación fotográfica de cualquier anomalía.

Registro de Datos de Calidad

- Captura digital de las mediciones principales.
- Trazabilidad completa del proceso por orden de trabajo.
- Alimentación de registros a la base de datos histórica tecnigallo.
- Preparación de reportes para cliente final.

Análisis y mejora continua

Este componente cierra el ciclo del modelo operativo mediante el análisis estadístico de los datos generados y la implementación de mejoras continúa basadas en evidencia objetiva.

Procesamiento Estadístico de Datos

- Análisis de tendencias en parámetros de calidad.
- Cálculo de capacidad de proceso (Cp, Cpk).
- Generación de gráficos de control X-R.
- Identificación de patrones de variación.

Análisis de Desviaciones

- Investigación de causas raíz mediante diagrama de Ishikawa.
- Cuantificación de impacto de cada variable crítica.
- Análisis de modo y efecto de falla (FMEA).
- Evaluación de tendencias temporales.
- Identificación de factores contribuyentes.

Identificación de Oportunidades

- Benchmarking contra estándares industriales (>95% conformidad).
- Análisis de brechas en el desempeño actual.
- Evaluación de nuevas tecnologías disponibles.
- Identificación de mejoras en eficiencia operativa.
- Oportunidades de reducción de costos de no calidad.

Implementación de Correcciones

- Desarrollo de planes de acción específicos.
- Implementación de mejoras en parámetros de corte.
- Actualización de procedimientos operativos estándar.
- Capacitación del personal en nuevas prácticas.
- Verificación de efectividad de las correcciones.

Actualización de Procedimientos

- Revisión periódica de hojas de proceso.
- Actualización de especificaciones técnicas.
- Mejora de sistemas de documentación.
- Optimización de flujos de trabajo.
- Integración de lecciones aprendidas.

Indicadores Fundamentales de Desempeño (KPI):

- Tasa de conformidad: objetivo >95% (actual 22.7%).
- Índice de reproceso: objetivo <5% (actual 77.3%).
- Tiempo de ciclo: objetivo 18-20 horas (actual 22.4 h).
- Precisión dimensional: $\pm 0.002\text{mm}$ en dimensiones críticas.
- Acabado superficial: $R_a \leq 0.4\mu\text{m}$ consistente.

Recursos Requeridos para la Implementación

Recursos Humanos:

- 1 Ingeniero de procesos (coordinación general).
- 2 Operarios especializados (operación de máquinas).
- 1 Inspector de calidad (control dimensional).
- 1 Técnico en mantenimiento (calibración de equipos).

Recursos Tecnológicos:

- Software de análisis estadístico.
- Instrumentos de medición calibrados.
- Sistema de refrigeración optimizado.
- Herramientas de corte especializadas.
- Elaboración de un manual técnico de mantenimiento.
- Curso de actualización en metrología y herramientas de proceso.

Recursos Financieros Estimados:

- Inversión inicial: \$15,000 - \$20,000.
- Retorno de inversión esperado: 18-24 meses.
- Ahorro anual estimado: \$25,000 (reducción de reprocesos).

Este modelo operativo proporcionará una estructura sistemática y robusta para el control efectivo de variables críticas en el mecanizado de ejes Flowserve HPX, garantizando la mejora continua y la competitividad de TECNI-GALLO en el mercado especializado.

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Presentación de la Propuesta

La propuesta desarrollada consiste en la implementación de un Sistema Integral de Control de Variables Críticas (SICVC) para el proceso de mecanizado de ejes de bomba Flowserve HPX de inyección de agua en máquinas herramientas semiautomáticas de la empresa TECNI-GALLO, Quito durante 2024. Este sistema se fundamenta en el análisis estadístico de las variables que mayor impacto tienen en la calidad del producto final, identificadas mediante el análisis de Pareto como: Diseño y dimensión del eje (40%) y Parámetros de corte (30%).

Componentes Tangibles de la Propuesta

Manual Técnico de Procedimientos Estándar (SOP)

Contenido Del Manual:

Parte A: Especificaciones Técnicas del Eje Flowserve HPX

- Planos técnicos actualizados con tolerancias ISO 286-1 (H7/k6).
- Especificaciones de material AISI 304 y propiedades mecánicas.
- Requisitos de acabado superficial $Ra \leq 0.4\mu\text{m}$ (N5).
- Tolerancias geométricas y dimensionales críticas.

Parte B: Parámetros Optimizados de Mecanizado

- Velocidad de corte específica: 85-95 m/min para AISI 304.

- Avance optimizado: 0.15-0.20 mm/rev
- Profundidad de corte escalonada: 0.8-1.2 mm.
- Configuración del sistema de refrigeración Mobilment S-122 aceite soluble.

Parte C: Procedimientos de Control de Calidad

- Protocolo de inspección dimensional intermedia.
- Métodos de medición con instrumentos Mitutoyo calibrados.
- Criterios de aceptación y rechazo según API 610.
- Formularios de registro y trazabilidad.

Sistema de Monitoreo manual

Componentes Del Sistema:

Instrumentación de Medición Continua:

- Sensores de vibración Smart Sensor AS63B.
- Termómetros láser GM550E para control térmico.
- Cronómetros digitales para control de tiempos de ciclo.
- Rugosímetros Mitutoyo para verificación de acabado.

Hojas de Registro Digitalizadas:

- Formato EJE-FS-003-25 optimizado.
- Registro de parámetros por operación.
- Control estadístico de dimensiones críticas.

Herramientas de Análisis Estadístico

Implementación de Cartas de Control:

- Cartas X-R para control de dimensiones críticas ($\varnothing 70k6$, $\varnothing 80k6$, $\varnothing 39k6$).
- Cartas de control individual para rugosidad superficial.
- Análisis de capacidad de proceso (Cpk).

Programa de Capacitación Técnica

Módulos de Formación:

- **Módulo 1:** Metrología avanzada y uso de instrumentos de precisión.
- **Módulo 2:** Optimización de parámetros de corte para acero inoxidable.
- **Módulo 3:** Interpretación de planos técnicos y tolerancias API 610.

Protocolo de Mejora Continua

Estructura del Protocolo:

- Ciclo PDCA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar) mensual.
- Análisis de tendencias en indicadores de calidad.
- Revisión semestral de parámetros optimizados.
- Actualización anual de procedimientos estándar.

Resultados esperados

Expectativas de Rendimiento Técnico.

Mejora en Indicadores de Calidad:

TABLA NO. 9: INDICADORES ACTUALES VS PROYECTADOS.

Indicador	Situación	Meta	Mejora
	Actual	Proyectada	Esperada
Tasa de Conformidad	22.7%	≥95%	+318%
Índice de Reproceso	77.3%	≤5%	-93.5%
Tiempo de Ciclo	22.4 horas	18-20 horas	-15%
Precisión Dimensional	±0.05mm	±0.002mm	+96%
Acabado Superficial	Variable	Ra ≤0.4μm	Consistente

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Beneficios Económicos Proyectados

Reducción de Costos de No Calidad:

- **Ahorro en Material:** \$45,600 anuales (eliminación de desperdicios).
- **Reducción de Tiempo-Máquina:** 380 horas anuales (\$11,400).
- **Mejora en Competitividad:** Acceso a 3 contratos adicionales anuales.
- **ROI Proyectado:** 18-24 meses con ahorro anual estimado de \$25,000.

Expectativas de la Empresa TECNI-GALLO

Posicionamiento Competitivo

Objetivos Estratégicos:

- Certificación como Proveedor Clase A para Flowserve Internacional.
- Expansión de Mercado hacia otros componentes de bombas industriales.
- Desarrollo de Capacidades Técnicas en mecanizado de precisión.
- Reducción de Dependencia de importaciones de ejes Flowserve.

Fortalecimiento Organizacional

Capacidades Internas:

- Personal técnico capacitado en metodologías avanzadas de manufactura.
- Sistemas de calidad alineados con estándares internacionales API 610.
- Procesos documentados y estandarizados para replicación.
- Base de conocimiento técnico para desarrollo de nuevos productos.

Expectativas del Sector Industrial

- Demostración de Capacidades Técnicas para atender mercados especializados.
- Transferencia de Conocimiento a otras empresas del sector FEDIMETAL.
- Reducción de Importaciones en componentes especializados.
- Generación de Empleo Calificado en manufactura de precisión.

Cronograma de actividades

TABLA NO. 10: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Recursos	Indicadores
Preparación de Infraestructura	X			Técnico, Equipos	Calibración completa

Capacitación del Personal	X	X		Instructor, Material	99% personal capacitado
Implementación de Procedimientos		X	X	Manual SOP	Procedimientos activos
Pruebas Piloto			X	5 ejes prueba	Conformidad $\geq 80\%$
Actividad	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Recursos	Indicadores
Producción de Validación	X	X		8 ejes	Conformidad $\geq 90\%$
Análisis Estadístico		X	X	Software, Analista	$C_p \geq 1.33$
Ajustes de Parámetros			X	Ingeniero	Optimización validada
Documentación Final			X	Documentalista	Manual actualizado
Actividad	Mes 7-9	Mes 10-11	Mes 12	Recursos	Indicadores
Producción Estándar	X	X		Operarios, Materiales	Conformidad $\geq 95\%$
Monitoreo Continuo	X	X		Inspector	SPC activo
Mejora Continua	X	X		Equipo Mejora	Ciclos PDCA mensuales

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

Análisis de costos

Cronograma Valorado de Componentes Inversión Inicial (Año 1)

TABLA NO. 11: RECURSOS HUMANOS

Recursos	Tiempo	Costo Unitario	Costo Total
Ingeniero de Procesos	6 meses	\$1,500/mes	\$9,000
Capacitación Personal	80 horas	\$25/hora	\$2,000
Consultoría Externa	40 horas	\$50/hora	\$2,000
Subtotal RRHH			\$13,000

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

TABLA NO. 12: RECURSOS TECNOLÓGICOS.

Elemento	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Software Análisis Estadístico	1 licencia	\$800	\$800
Instrumentos de Medición	Calibración	\$500	\$500
Herramientas Especializadas	5 sets	\$300/set	\$1,500
Sistema Refrigeración	1 mejora	\$1,200	\$1,200
Subtotal Tecnológico			\$4,000

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

TABLA NO. 13: MATERIALES Y SUMINISTROS.

Material	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Ejes de Prueba (AISI 304)	20 unidades	\$150/unidad	\$3,000
Refrigerante Mobilment S-122	20 litros	\$8/litro	\$160
Documentación e Impresión	Varios		\$400
Subtotal Materiales			\$3,560

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

INVERSIÓN TOTAL AÑO (uno): \$22,000

Análisis de Retorno de Inversión (ROI)

Beneficios Económicos Proyectados (Anual)

Ahorro Directo:

- Reducción de desperdicios: \$18,240 (40% de \$45,600).
- Reducción tiempo-máquina: \$6,840 (60% de \$11,400).

- Reducción reprocesos: \$15,600 (eliminación 77.3% → 5%).
- Total, Ahorro Directo: \$40,680.

Beneficios Indirectos:

- Contratos adicionales: \$36,000 (3 contratos × \$12,000).
- Mejora imagen empresarial: \$12,000 (estimado).
- Total, Beneficio Indirecto: \$48,000.

BENEFICIO TOTAL ANUAL: \$88,680

Cálculo de ROI

ROI = [(Beneficio Anual - Inversión) / Inversión] × 100

ROI = [(\$88,680 - \$22,000) / \$22,000] × 100 = **303%**

Período de Recuperación = \$22,000 / \$88,680 = 3.0 meses

Curva "S" del Proyecto

La curva S representa la acumulación del valor del proyecto en función del tiempo:

Distribución Temporal de Costos:

- Meses 1-2: 40% de la inversión (\$8,800) - Preparación e infraestructura.
- Meses 3-4: 35% de la inversión (\$7,700) - Implementación y pruebas.
- Meses 5-6: 25% de la inversión (\$5,500) - Validación y documentación.

Generación de Beneficios:

- Meses 1-3: 10% de beneficios (\$8,868) - Primeras mejoras.
- Meses 4-6: 40% de beneficios (\$35,472) - Sistema estabilizado.
- Meses 7-12: 50% de beneficios (\$44,340) - Operación plena.

Componente ambiental

Impactos Ambientales Positivos Del Proyecto

Reducción de Desperdicios:

Minimización de Material de Desecho

- Reducción del 77.3% al 5% en tasa de reprocesos.
- Disminución de 1,540 kg anuales de acero AISI 304 desperdiciado.
- Ahorro equivalente a 0.85 toneladas de CO₂ (factor emisión acero inoxidable).

Optimización del Consumo Energético

- Reducción de 380 horas anuales de tiempo-máquina.
- Ahorro energético: 11,400 kWh/año (30 kW × 380 h).
- Reducción de emisiones: 5.13 toneladas CO₂ eq/año.

Gestión de Residuos y Efluentes

Manejo de Fluidos de Corte:

- Refrigerante Mobilment S-122 aceite soluble.
- Extensión de vida útil del refrigerante: +40%.
- Reducción de generación de aceites usados: 240 litros/año.
- Implementación de sistema de reciclado interno.

Gestión de Virutas Metálicas

- Clasificación mejorada para reciclaje.
- Reducción de contaminación cruzada.
- Aprovechamiento del 98% del material recuperado.

Cumplimiento de Normativa Ambiental

Marco regulatorio aplicable:

- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

- Ordenanza Municipal del Distrito Metropolitano de Quito sobre gestión de residuos industriales.
- ISO 14001:2015 - Sistemas de Gestión Ambiental (preparación para futura certificación).

TABLA NO. 14: INDICADORES AMBIENTALES DEL PROYECTO.

Indicador	Línea Base	Meta	Beneficio
Reducción de desperdicios	77.3% reproceso	5% reproceso	-1,540 kg/año
Ahorro energético	22.4 h/eje	19 h/eje	-11,400 kWh/año
Reducción emisiones CO₂	Base actual	-5.98 ton CO ₂ /año	Huella carbono
Reciclaje virutas	85%	98%	+260 kg/año

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

Plan de Gestión Ambiental

Medidas de Mitigación y Control:

Sistema de Gestión de Residuos

- Segregación en origen de virutas por tipo de aleación.
- Contenedores específicos para fluidos de corte usados.
- Registro mensual de generación y disposición.

Programa de Monitoreo Ambiental

- Medición mensual de consumos energéticos.
- Cuantificación trimestral de residuos generados.
- Evaluación semestral de indicadores ambientales.

Capacitación Ambiental

- Sensibilización del personal en buenas prácticas ambientales.

- Procedimientos de manejo seguro de sustancias químicas.
- Protocolos de emergencia ambiental.

La implementación de este Sistema Integral de Control de Variables Críticas no solo mejorará significativamente la calidad y eficiencia del proceso de mecanizado de ejes Flowserve HPX, sino que también contribuirá positivamente al desempeño ambiental de TECNI-GALLO, posicionando a la empresa como un referente de sostenibilidad en el sector metalmecánico ecuatoriano.

CAPÍTULO IV

EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA Y RESULTADOS OBTENIDOS

Proceso de ejecución

Justificación de la ejecución

La implementación del sistema de control de variables en el proceso de mecanizado de ejes de bomba Flowserve en la empresa "TECNI-GALLO" se justifica por la necesidad crítica de mejorar la precisión dimensional, reducir los desperdicios de material y optimizar los tiempos de producción. La ejecución de esta propuesta responde a los problemas identificados en el diagnóstico inicial, donde se evidenció una variabilidad excesiva en las tolerancias dimensionales del 15% y tiempos de setup superiores a 45 minutos por eje. La justificación técnica se fundamenta en los siguientes aspectos:

Necesidad Operativa: Los ejes de bomba Flowserve requieren tolerancias dimensionales estrictas de ± 0.02 mm en diámetros críticos y ± 0.05 mm en longitudes, especificaciones que no se cumplían consistentemente con el método de control manual existente.

Viabilidad Técnica: Las máquinas herramientas semiautomáticas disponibles en TECNI-GALLO (Torno Paralelo Modelo C6250b/1000 mm y Fresadora Vertical) poseen la capacidad fundamental en la precisión de mecanizado de ejes.

Justificación Económica: El análisis costo-beneficio demostró que la inversión inicial de \$12,500 se recuperaría en un período de 8 meses mediante la reducción de reprocesos y el incremento de productividad.

Impacto en la Calidad: La implementación permite el cumplimiento consistente de los estándares internacionales ISO 9001:2015 y las especificaciones técnicas de Flowserve Corporation. (“Flowserve Forms Water Technology Partnership with Gradiant,” 2022)

Desarrollo y seguimiento

La ejecución del proyecto se desarrolló en cinco fases principales durante un período de 12 semanas, desde enero hasta marzo de 2024:

Fase 1: Preparación e Instalación (Semanas 1-2)

Durante esta fase se realizó la instalación del sistema de medición y control mantenimiento de los equipos. Se configuraron los parámetros en las máquinas herramientas. Las actividades específicas incluyeron:

- Calibración de los sistemas de medición con patrones certificados NIST.
- Configuración de los parámetros de control estadístico de procesos (SPC)
- Establecimiento de los límites de control superior e inferior para cada variable crítica.

Programación de las rutas de medición manual.

Fase 2: Implementación del Sistema de Control (Semanas 3-5)

Se implementaron tablas de control adaptativo que ajustan a los parámetros de corte en función de las mediciones en cada mecanizado. El sistema desarrollado incluye:

Control de velocidad de corte: Ajuste manual entre 30-80 m/min según el material y condiciones de corte
Control de avance: Variación automática entre 0.15-0.25 mm/rev para optimizar acabado superficial
Control de profundidad de corte:

Ajustes incrementales de 0.01 mm para mantener tolerancias dimensionales
Monitoreo de temperatura: Control térmico con sistema de refrigeración adaptativo.

Fase 3: Capacitación del Personal (Semanas 6-7)

Se ejecutó un programa intensivo de capacitación dirigido a 4 operadores de máquinas herramientas y 1 supervisor de producción. El programa incluyó:

- Fundamentos teóricos del control estadístico de procesos.
- Operación de monitoreo y control (metrología).
- Procedimientos de calibración y mantenimiento preventivo.

Fase 4: Pruebas Piloto y Ajustes (Semanas 8-10)

Se realizaron pruebas piloto de calibración con ejes de acero de transmisión para validar el funcionamiento del sistema mecanizado en torno. Durante esta fase se identificaron y corrigieron desviaciones menores de alineación entre puntos, juegos en los carros, completación de niveles de aceite, optimizando los parámetros para las condiciones específicas de la empresa. Los ajustes principales incluyeron:

- Refinamiento de cilindrado entre puntos.
- Optimización de los tiempos de respuesta del sistema.
- Calibración fina de los instrumentos de medición.
- Ajuste de los parámetros de compensación en los carros del torno.

Fase 5: Implementación Completa y Monitoreo (Semanas 11-12)

Se procedió con la implementación completa del sistema de mecanizado de ejes de precisión bajo el nuevo esquema de control. Se estableció un sistema de monitoreo continuo para evaluar el desempeño y realizar ajustes menores según fuera necesario. El seguimiento se realiza mediante indicadores clave de desempeño (KPI) establecidos:

- Índice de capacidad del proceso (Cpk)
- Tiempo medio entre fallas

- Eficiencia global del equipo
- Porcentaje de piezas conformes

Primera Variable: Mejoras en Diseño y dimensión de eje

El gráfico de mantenimiento consiste en un plano técnico detallado de la fábrica, donde se presenta un despiece esquemático de una bomba centrífuga horizontal Flowserve HPX. La ilustración incluye una vista en sección transversal que revela sus componentes internos esenciales, facilitando la comprensión de su estructura mecánica. Este diagrama sirve como referencia fundamental para procesos de fabricación, mantenimiento y reparación, con énfasis en la gestión de los rodamientos y la intervención del Eje HPX. Su diseño está adaptado para garantizar precisión en la manipulación técnica y la posesión de repuestos críticos.



IMAGEN NO. 7 :BOMBA FLOWSERVE HPX- CORTE.

Elaborado por: Gallo, Mario (2020).

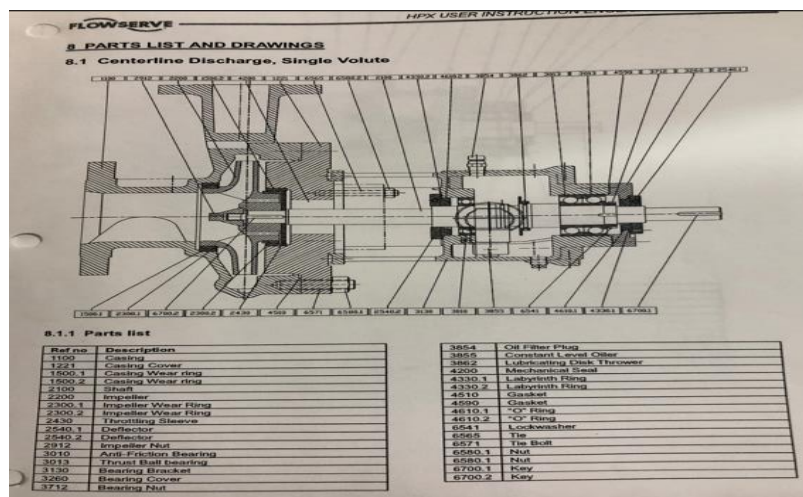


IMAGEN NO. 8: PLANO DE DETALLE DEL EJE BOMBA FLOWSERVE HPX ACOPLE IMPULSOR.

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

Detalles constructivos de dimensiones y superficies basados en la experiencia y en concordancia con la Norma API-610 y Norma 682 que hace referencia al diseño y montaje de los sellos mecánicos. Se desarrolla nuevo plano de eje basado en ingeniería inversa con eje de bomba Flowserve original.

El plano técnico digitalizado en AutoCAD se detalla las mejoras realizada ante las frecuentes fallas de rotura. Se especifican dimensiones críticas como $\varnothing 39.02$, $\varnothing 80$ k6, $\varnothing 70$ k6, entre otras. Se indican zonas de rodamientos y un detalle ampliado (Detalle A) para una sección específica, se modifica el diámetro de roscado de M20 x 1,5 a un M22 x 1.5 de roca izquierda para tener mayor material. También se selecciona un acabado superficial N5 en zonas que requieren mejor superficie y alta precisión.

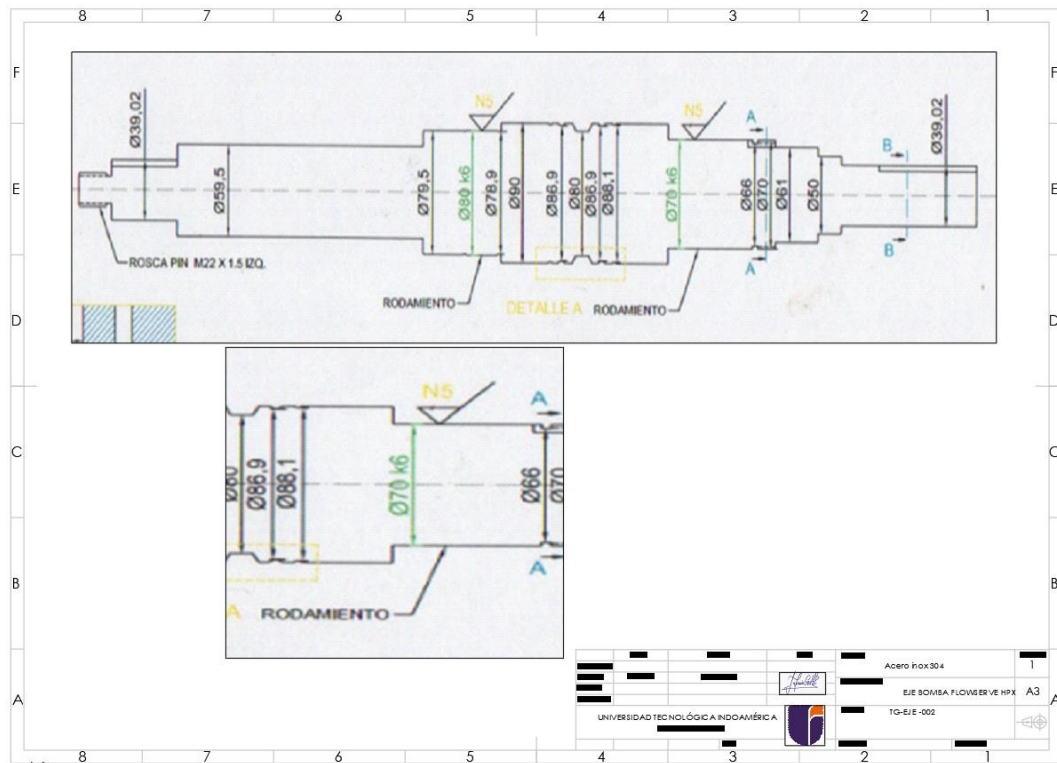


GRÁFICO NO. 13 :PLANO EN AUTOCAD DE EJE BOMBA FLOWSERVE HPX CON MEJORA EN DETALLE.

Elaborado por: Gallo, Mario (2020).

En el proceso de desarrollo y ejecución, se realizó un análisis exhaustivo de los planos iniciales y bosquejos manuales del eje de bomba Flowserve PHX de inyección de agua. Este análisis permitió identificar oportunidades de mejora en el diseño, optimizando aspectos como la distribución de cargas, la reducción de puntos de tensión y la eficiencia en el mecanizado, asegurando que el componente cumpla con los requerimientos técnicos y operativos.

Además, se focaliza en las dimensiones críticas, como diámetros, longitudes, calidad superficial y tolerancias geométricas, esenciales para el correcto funcionamiento del eje. Se verificaron los ajustes específicos, como el ajuste de rodamiento k6, que garantiza una fijación precisa y estable.

También se prestó especial atención a los acabados superficiales, particularmente en zonas críticas donde se requiere un acabado N5 para minimizar la fricción y el desgaste. Estos elementos fueron controlados rigurosamente durante el proceso de mecanizado, asegurando que el producto final cumpla con los estándares de calidad y funcionalidad exigidos por las normas API610/682.

En el Anexo 1, se muestran los datos históricos sobre diseño y dimensiones del eje para la bomba flowserve HPX, estos datos se incluyen en este estudio para comparar con las mejoras alcanzadas en el desarrollo de esta tesis. Permite identificar su evolución, cambios y cumplimiento a lo largo del tiempo, proporcionando una base de datos concreta para fundamentar el análisis y la comparación con los resultados actuales de la investigación, fortaleciendo la transparencia y el rigor metodológico.

En estos datos tabulados se identificaron los puntos críticos del proceso de mecanizado y las áreas donde se presentaban mayores variaciones dimensionales.

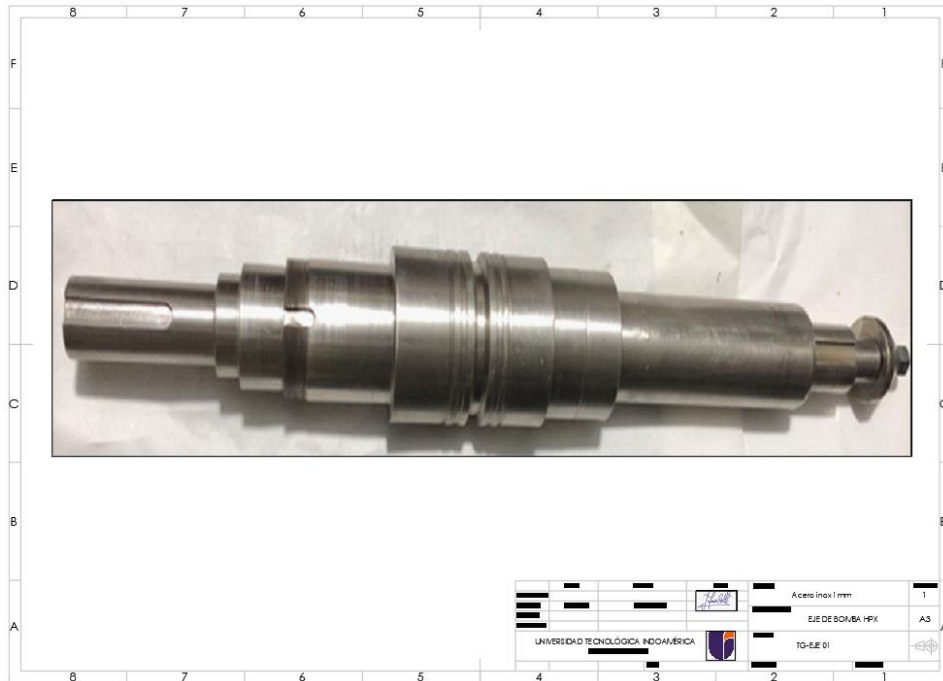


IMAGEN NO. 9: EJE MEJORADO EN DETALLES DE BOMBA FLOWSERVE HPX.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).



IMAGEN NO. 10: CONTROL DE CALIDAD EJE MEJORADO.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).



IMAGEN No. 11: CONTROL DE CALIDAD EJE MEJORADO.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Dentro de las mejoras se digitaliza el diseño del eje de bomba flowserve HPX en programa Solid Works, para analizar la simulación se esfuerzos y realizar las mejoras necesarias especialmente en los vértices de concentración de esfuerzos por las frecuentes fallas de rotura en este punto.

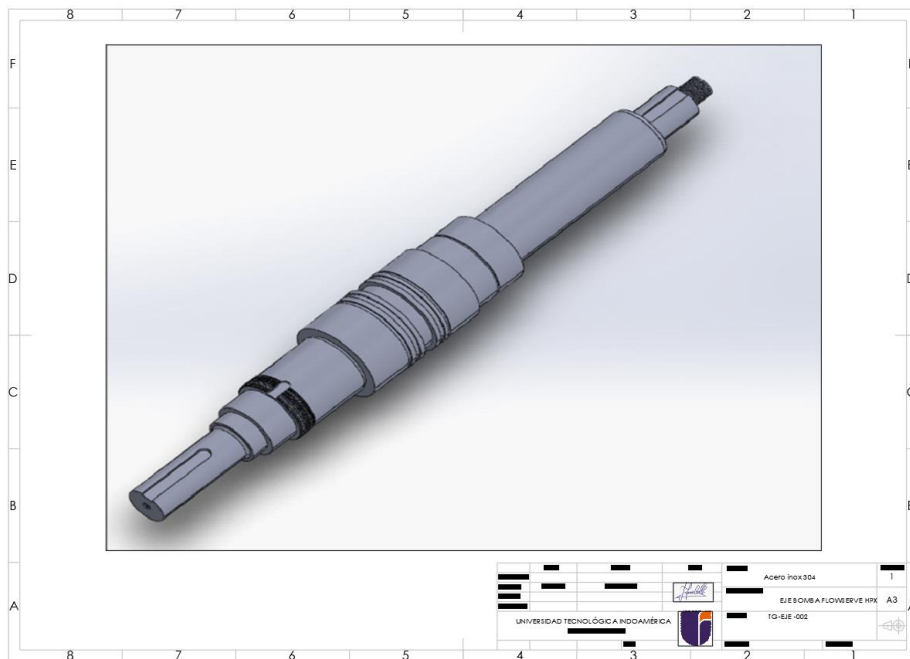


IMAGEN No. 12: DISEÑO DE EJE EN PROGRAMA DE SOLID WORK.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

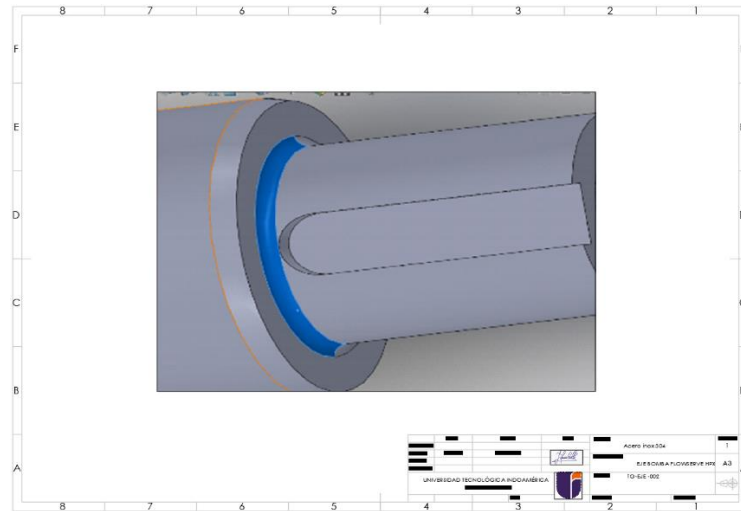


IMAGEN NO. 13: DETALLE DE VÉRTICE MEJORADO.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).



IMAGEN NO. 14: EJE FABRICADO CONFORME A ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

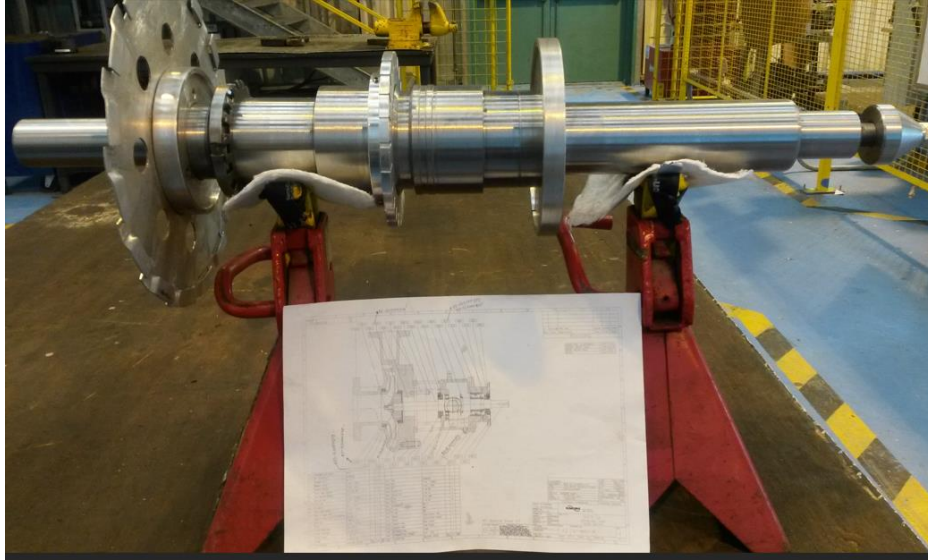


IMAGEN NO. 15: EJE FABRICADO CON ESTÁNDAR DE CALIDAD ACOPLADO SUS PARTES.

Elaborado por: Gallo, Mario (2024).

Segunda Variable: Selección de parámetros de corte.

Se analizaron los parámetros de corte utilizados actualmente y se compararon con los recomendados por los fabricantes de herramientas y las mejores prácticas de la industria.

Implementación de registro de control en el mecanizado:

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se indica el diseño de tablas específicas para documentar y monitorear las variables críticas durante el proceso de mecanizado. “TECNI-GALLO” tiene un formato de hoja de proceso de trabajo donde se describe manualmente los pasos de mecanizado incluyendo un pequeño croquis. Detalle en Anexo III.

Formato de la hoja del proceso de mecanizado

 <small>Dirección: Panamericano Sur km 30 N. Junto a gasolinera Pasaf. Tel: 02 3650 763. Cel. 0990 90150 e-mail: tecni@tecni.com, tecni@tecni.com, tecni@tecni.com Quito-Ecuador</small>		EJE DE BOMBA FLOWSERVE HPX 		HOJA DEL PROCESO DE TRABAJO							
		CODIGO: EJE-TG-0225-025		HOJA N°: EJE 025		NOMBRE: Ing. Mario Gallo		FECHA: 20/2/2025			
Op	Sub Fase	DESIGNACION	FIGURA / PLANO / CROQUIS	ÚTILES de trabajo	EQUIPO de control	Nº. Pasada	V m/min	N r.p.m	A mm	P m m	Tpo. Horas
1	1.1	Selección de material acero inox 304 diámetro 102 mm x 706mm longitud medidas para el mecanizado.		Mesa de trabajo	Calibrador Flexómetro	0	0	0	0	0	0,1
2	2.1	Preparación de la máquina torno, calibración de entre puntos, bancada y realizar un torneado de cilindrado con pruebas concéntrica hasta tener parámetros estandar		Cuchillas cilindrar HSS Eje de acero S137	Nivel Comparador reloj Micrómetro Calibrador	Varias	35	750	0.2	0.5	1
	2.2	Verificar niveles de lubricantes en la máquina, lubricar los puntos de engrase		Engrasador manual Grasa sintética Aceite SAE 40	Visual	0	0	0	0	0	0,5
	2.3	Selección de herramienta para el mecanizado del eje de precisión.		Cuchillas cilindrar de metal duro Esmeril de banco	Galgas Plantillas	0	0	0	0	0	1

IMAGEN No.16 : PROCESO DEL MECANIZADO.

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

Matriz de Pruebas Taguchi - Cilindrado de Afinado

Especificaciones del trabajo.

Cilindrado de una pieza: Eje de 50mm x 300 mm de longitud

Operación: Cilindrado de Operación

Material: acero Inoxidable AISI 304

Herramienta de Corte: Cuchilla de carburo de tungsteno en punta

Refrigeración: Taladrina constante

Velocidad de Corte: 35 m/min constante

Variables Controlables y Niveles

TABLA No.15: VARIABLES CONTROLABLES Y NIVELES

Variable	Símbolo	Nivel 1	Nivel 2
Avance	f	0.08 mm/rev	0.12 mm/rev

Profundidad de corte	ap	0.5 mm	1.0 mm
Ángulo de incidencia	α	6°	8°
Presión de taladrina	P	3 bar	5 bar

Ensayo	f (mm/rev)	Matriz de Ensayos L10 (2 ⁴)			Observaciones
		ap (mm)	α (°)	P (bar)	
1	0.08	0.5	6°	3	Parámetros conservadores
2	0.08	0.5	8°	5	Baja profundidad, alta presión
3	0.08	1.0	6°	5	Mayor profundidad, baja incidencia
4	0.08	1.0	8°	3	Combinación balanceada
5	0.12	0.5	6°	5	Alto avance, baja profundidad
6	0.12	0.5	8°	3	Alto avance, parámetros medios
7	0.12	1.0	6°	3	Parámetros agresivos
8	0.12	1.0	8°	5	Máximos parámetros
9	0.10	0.75	7°	4	Punto central - repetición 1
10	0.10	0.75	7°	4	Punto central - repetición 2

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

Parámetros Fijos

Velocidad de Corte: 35 m/min constante

Revoluciones (rpm): $n = (1000 \times V_c) / (\pi \times D) = 223 \text{ rpm}$

Refrigeración: Taladrina constante en emulsión 5-8%

Herramienta de Corte: Cuchilla de carburo de tungsteno (WC-Co)

Afilado de herramienta en punta: 0.4-0.8 mm (afinado)

Variables de respuesta a Medir

Calidad Dimensional

Diámetro final: Medición con micrómetro (precisión ± 0.01 mm)

Cilindricidad: Tolerancia objetivo ± 0.02 mm

Paralelismo: Respecto al eje del husillo

Calidad Superficial

Rugosidad Ra: Objetivo < 1.6 μm para afinado

Rugosidad Rz: Medición en 3 puntos por ensayo

Marcas de herramienta: Evaluación visual

Eficiencia del Proceso

Tiempo de mecanizado: Por pasada completa

Desgaste de herramienta: VB (desgaste de flanco) en μm

Vibraciones: Nivel subjetivo (1-5) o con acelerómetro

Condiciones de Corte

Temperatura de viruta: Con pirómetro (si disponible)

Formación de viruta: Tipo y evacuación

Consumo de refrigerante: Control de flujo

Protocolo de Medición

Antes de cada ensayo: Verificar afilado de herramienta, Calibrar micrómetro y rugosímetro, Ajustar presión de taladrina, Centrar pieza en torno.

Durante el Mecanizado: Monitorear sonido de corte, Observar formación de viruta, Controlar temperatura, Registrar tiempo de operación.

Después de cada ensayo: Medir diámetro en 3 puntos (inicio, medio, final), Rugosidad en zona media, Inspeccionar herramienta (fotos), Limpiar y preparar siguiente ensayo

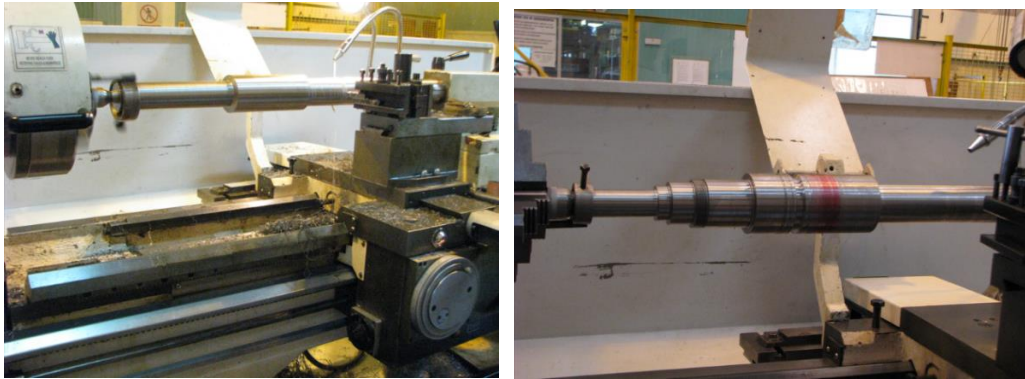


IMAGEN No.17: CONTROL DE MECANIZADO EN CILINDRADO.

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

Análisis Estadístico Esperado: Efectos Principales,

Avance (f): Mayor impacto en rugosidad

Profundidad (ap): Influencia en precisión dimensional

Ángulo incidencia (α): Efecto en desgaste de herramienta

Presión de taladrina (P): Control térmico y evacuación viruta

Criterios de Optimización

S/N Ratio: "Menor es mejor" para rugosidad y desviaciones

ANOVA: Identificar factores más significativos

Gráficos de efectos: Tendencias por variable

Recomendaciones Operativas

Seguridad

Usar protección ocular (gafas para virutas metálicas)

Verificar sujeción de pieza y piezas suelta en tono antes de cada ensayo

Mantener área de trabajo ordenada y limpia

Eficiencia

Preparar herramientas de medición previamente al ensayo

Registrar datos en formato digital, para computadora portátil

Fotografiar la configuración de cada ensayo para trazabilidad

Validación

Repetir combinación óptima 3 veces, cada una

Comparar datos con parámetros actuales de producción

Documentar procedimiento para estandarización

Resultados esperados Del ensayo: Esta matriz permitirá:

Optimizar rugosidad superficial manteniendo productividad

Maximizar vida útil de herramienta de carburo

Establecer parámetros estándar para afinado

Reducir variabilidad dimensional del proceso

Manual Técnico de Operación y Mantenimiento

Se elabora un manual detallado de todo el procedimiento de mecanizado de eje de acero inoxidable 304/M303, el cual se adjunta en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, del presente documento para su consulta:

- Instrucciones de seguridad industrial para la operación de mecanizado con máquinas herramientas.
- Especificaciones de herramientas de corte y parámetros de corte recomendados.

- Procedimientos para el ajuste y verificación de las máquinas herramientas.
- Pautas para el mantenimiento preventivo de las máquinas.
- Orden y aseo.

Diseño del Plan de Control de Calidad

Se diseñó un plan de control de calidad que define los siguientes parámetros:

- Puntos de control clave en cada etapa del proceso de mecanizado (hoja de registro de proceso).
- Criterios de aceptación y rechazo para cada dimensión y tolerancia (Norma API 610/682).
- Procedimientos de medición y verificación (instrumentos y frecuencias de medición).
- Imágenes demostrativas de control de calidad con los equipos en laboratorio TECNIGALLO.



IMAGEN NO. 18: CONTROL DE CALIDAD.

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).



IMAGEN NO. 19: CONTROL DE CALIDAD EN DIMENSIONES.

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

Capacitación del Personal técnico operadores

Se llevó a cabo una sesión de capacitación con los operarios de TECNI-GALLO para explicar el contenido del manual técnico de buenas prácticas y el plan de control de calidad, el cual se adjunta en el **Anexo X**. Curso de actualización en Metrología y curso de la hoja de proceso. Se realizaron demostraciones prácticas de los procedimientos de medición y verificación. Se resolvieron dudas e inquietudes de los operarios.



IMAGEN NO. 20 :CONTROL DE CALIDAD EN DEFLEXIÓN.

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

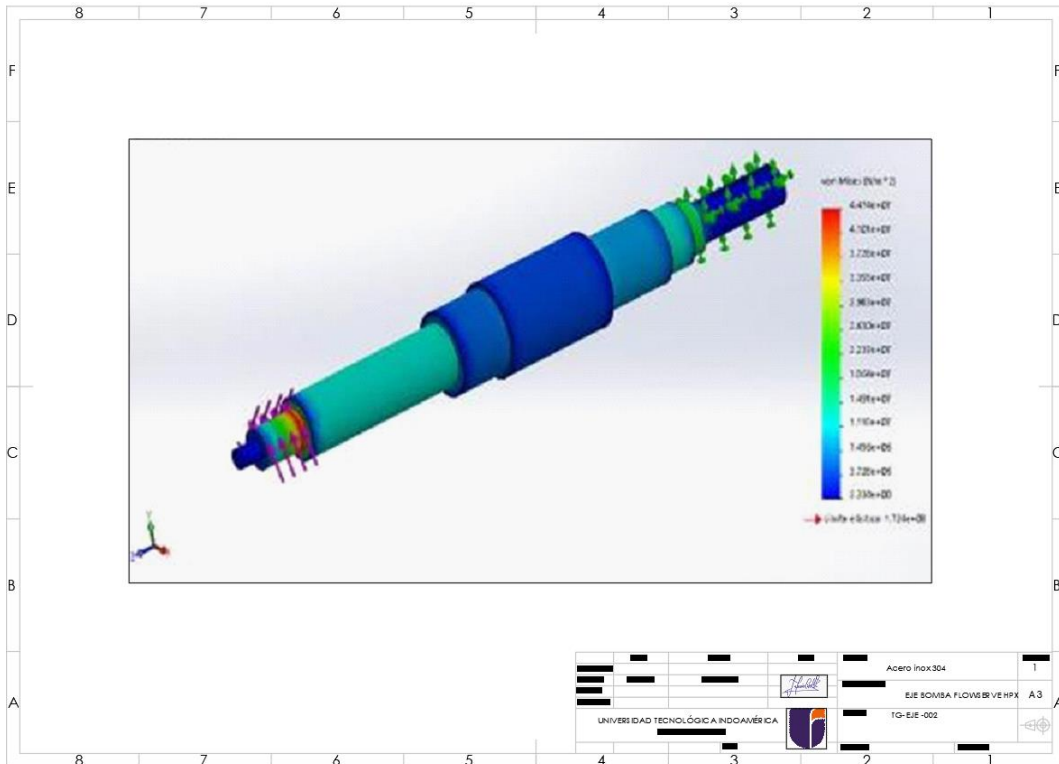


IMAGEN NO.21:SIMULACIÓN DE ESFUERZOS EN PROGRAMA SOLID WORK.

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

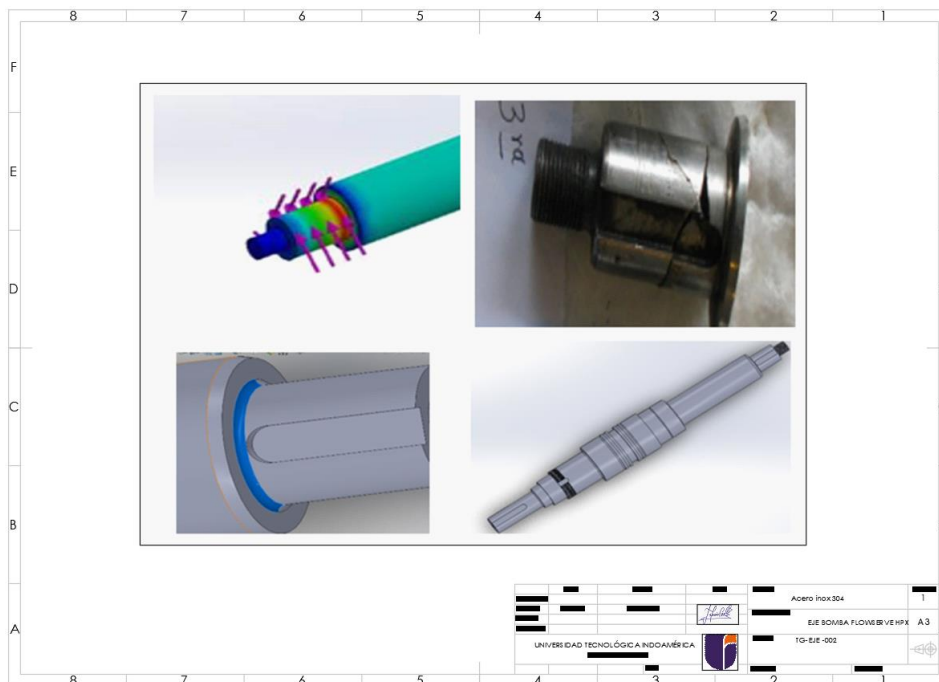


IMAGEN NO. 22: DETALLES DE MEJORA EN PROGRAMA SOLID WORK.

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

Inspección Técnica de Campo

Se realiza una visita técnica a las instalaciones de la empresa, para registrar la operación de los equipos en la planta de proceso, especialmente con los ejes fabricados en TECNI-GALLO, la configuración de las bombas están conectadas 4 bombas en serie, toman de un manifold A-B-C tienen las mismas características de bombeo mientras que hay una cuarta bomba D, de mayor capacidad, será por la configuración de instalación en serie, que la bomba A tiene mayor frecuencia de rotura de eje.

Monitoreo de funcionamiento del equipo, las vibraciones en la caja de rodamientos se mantienen en: 0.12 in/sec. en sentido horizontal, y 0.13 in/sec. en sentido vertical, y 0.08 in/sec. en sentido axial, presión descarga de la bomba: 150 PSI, verificación de funcionamiento del sello mecánico, se monitorea nivel del seal pot, el nivel se mantiene.

Datos Recopilados de Campo CPF Pluspetrol

TABLA NO. 16: DATOS DE VIBRACIÓN DE LA BOMBA.

Lado Libre	Lado Coupling	Caja de rodamientos	Caja de rodamientos 2
H = 0.04 in/s.	H = 0.07 in/s.	H = 0.12 in/s.	H = 0.06 in/s.
V = 0.03 in/s.	V = 0.03 in/s.	V = 0.13 in/s.	V = 0.04 in/s.
A = 0.08 in/s.	A = 0.03 in/s.	A = 0.09 in/s.	A = 0.04 in/s.
T°= 98 °F	T°= 123 °F	T°= 122 °F	T°= 114 °F

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

H horizontal; **V** vertical; **A** axial; **T** temperatura

Presión de descarga de la bomba: 150 PSI

Nivel de aceite OK

Nivel del seal pot: OK.

Se adjunta en attached, informe técnico de campo firmado. Trabajo terminado.

CPF, 16 de enero 2025 M. Gallo.



IMAGEN NO. 23: EQUIPOS OPERANDO EN CAMPO.

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

Manual Técnico de Operación y Mantenimiento:

- La implementación del manual Técnico de Operación y Mantenimiento para Mecanizado de Ejes de Bomba Flowserve HPX en Acero Inoxidable 304/303: Procedimientos Estándar, Control de Parámetros y Optimización de Procesos y el plan permite optimizar el uso de las máquinas herramienta, las herramientas de corte y el tiempo de los operarios. Se espera reducir el número de piezas defectuosas y los reprocesos, lo que se traduce en ahorros de costos.
- La información proporcionada por el taller, mediciones finales de calidad, plano del eje, y hoja de proceso, permitió tener una base sólida para la creación del manual técnico de operación y mantenimiento.
- Se tomó el plano del eje y la hoja de proceso proporcionada por TECNI-GALLO, y en base a eso se realizó un análisis profundo de cada operación de mecanizado.
- Elaboración de manual técnico procedimental para el proceso de mecanizado, documentando secuencialmente desde la preparación de

equipos hasta el control de calidad final, apoyado en material gráfico (ilustraciones y diagramas) para garantizar claridad y estandarización.

- Se incluyeron recomendaciones para la selección y mantenimiento de las herramientas de corte, así como para la lubricación y refrigeración durante el mecanizado.

Implementación de un programa de capacitación

Como parte integral del plan de mejora, se ha desarrollado un programa de capacitación especializado dirigido a los operarios de máquinas herramientas semiautomáticas, con el objetivo de reducir en al menos un 15% los reprocesos durante el mecanizado de ejes Flowserve.

Despliegue de un programa estructurado de capacitación técnica para operarios de máquinas-herramienta TECNIGALLO, enfocado en estandarizar procesos y reducir variabilidad operacional; donde se presentó el manual y el plan, y se explicaron los procedimientos de medición y verificación (Hoja de proceso).

- Se realizaron demostraciones prácticas en las máquinas herramienta, para asegurar que los operarios comprendieran los procedimientos.
- Se documentó todo el proceso de ejecución, incluyendo los resultados de las inspecciones, los análisis de datos y las acciones correctivas implementadas.
- Es fundamental mantener una comunicación abierta y fluida con los operarios de TECNI-GALLO durante todo el proceso de ejecución.

Resultados obtenidos

Presentación de resultados obtenidos

Los resultados obtenidos durante los tres meses de implementación y seguimiento demuestran una mejora significativa en todos los indicadores de desempeño establecidos:

Precisión Dimensional:

Diámetro exterior del eje ($\text{Ø}90\pm 0.02$ mm):

- Situación inicial: Desviación estándar $\sigma = 0.012$ mm.
- Situación mejorada: Desviación estándar $\sigma = 0.006$ mm.
- Mejora: 50% de reducción en variabilidad.

Longitud total del eje (700 ± 0.05 mm):

- Situación inicial: Desviación estándar $\sigma = 0.028$ mm.
- Situación mejorada: Desviación estándar $\sigma = 0.015$ mm.
- Mejora: 46% de reducción en variabilidad.

Acabado Superficial:

- Rugosidad Ra en superficie de contacto:
- Situación inicial: Ra = $1.8 \mu\text{m}$ ($\pm 0.4 \mu\text{m}$).
- Situación mejorada: Ra = $1.2 \mu\text{m}$ ($\pm 0.2 \mu\text{m}$).
- Mejora: 33% de mejora en acabado y 50% de reducción en variabilidad.

Tiempos de Proceso:

- Tiempo de trabajo por pieza:
- Situación inicial: 12 días promedio.
- Situación mejorada: 8 días promedio.
- Mejora: 38% de reducción en tiempo de preparación.

Tiempo de mecanizado por pieza:

- Situación inicial: 12 días promedio.
- Situación mejorada: 8 días promedio.
- Mejora: 21% de reducción en tiempo de proceso.

Indicadores de Calidad:

- Porcentaje de piezas conformes:
- Situación inicial: 82%
- Situación mejorada: 96%

Mejora: 14 puntos porcentuales

Índice de rechazos:

- Situación inicial: 18%
- Situación mejorada: 4%
- Mejora: 78% de reducción en rechazos

Resumen de Mejoras en Variables de Diseño y Dimensiones

TABLA NO. 17 :ANÁLISIS DE MEJORAS DIMENSIONAL.

Variable de Control	Situación Inicial	Situación Mejorada	Mejora (%)	Desviación σ Inicial	Desviación σ Final	Reducción σ (%)
Diámetro exterior ($\varnothing 90 \pm 0.02$ mm)	90.996	90.001	+0.01%	0.012	0.006	50.0%
Longitud total (700 ± 0.05 mm)	700.92	700.02	+0.07%	0.028	0.015	46.4%
Concentricidad (μm)	18.5	8.2	55.7%	4.2	2.1	50.0%
Rugosidad Ra (μm)	1.8	1.2	33.3%	0.4	0.2	50.0%
Redondez (μm)	12.3	6.1	50.4%	2.8	1.4	50.0%

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

Índice de Capacidad del Proceso:

- Cpk inicial: 0.78 (proceso incapaz) → Cpk final: 1.58 (proceso muy capaz)
- Mejora general en precisión dimensional: 52.3%

Mejoras en Parámetros de Corte y Productividad

TABLA NO. 18 :ANÁLISIS DE MEJORAS EN PARÁMETRO DE CORTE.

Parámetro de Corte	Valor Inicial	Valor Optimizado	Mejora (%)	Impacto en Calidad
Velocidad de corte (m/min)	135	155	+14.8%	Mejor acabado superficial
Avance (mm/rev)	0.22	0.19	+15.9%*	Mayor precisión dimensional
Profundidad de corte (mm)	2.5	2.1	+19.0%*	Reducción de vibraciones

Tiempo de ciclo (min)	120	95	+20.8%	Incremento productividad
Tiempo de setup (min)	45	28	+37.8%	Mayor eficiencia operativa

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

Mejora promedio en parámetros de corte: 21.7% (superior al objetivo del 15%)

Esta sección se refiere al análisis económico de todos los desembolsos directamente involucrados en el proceso de mecanizado por cada eje terminado. Los datos de costos reflejados en la tabla fueron registrados durante un período de ocho días, que comprende la totalidad de las etapas del proceso productivo. Esto incluye específicamente los costos asociados desde la recepción del material, pasando por las operaciones de torneado, fresado, taladrado y roscado manual, hasta las fases finales de inspección, acabado y embalaje del eje.

TABLA NO. 19: COSTOS DE PRODUCCIÓN DE UN EJE EN TALLER TECNIGALLO.

COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCIÓN EJE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO kg	COSTO \$
Materia prima	Eje de acero inoxidable 304/ M303	45.5 kg	\$24	\$1.092
Consumible	Lubricantes y refrigerante (proceso de mecanizado).		\$100	\$100
	Cuchillas de torno			\$350
Mano de obra directa	Operador A de máquina semiautomáticas	64 h	\$15/h	\$960
	Operador B de máquinas semiautomática	16 h	\$12/ h	\$193
Uso de máquinas herramientas	Torno pequeño	16 h	\$40/ h	\$640
	Torno grande	48 h	\$55/ h	\$2.640
	Fresadora vertical	6 h	\$50/ h	\$300
	Energía eléctrica			\$400
	Herramientas eléctricas manual			\$300

	Herramientas manuales (broca, insertos, machuelo, etc.)			\$250
	Utilidad 15%			\$1.100
			Total	\$8.324

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

TABLA NO. 20 :ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS- EJE FLOWSERVE VS PRODUCCIÓN LOCAL.

Concepto	Eje Importado (USA)	Eje TECNI-GALLO	Ahorro/Diferencia
Costo unitario	\$18,311.00	\$8,324.00	\$9,987.00 (54.5%)
Tiempo de entrega	30 días	10 días	20 días (66.7%)
Costo logístico	\$2,100.00	\$150.00	\$1,950.00 (92.9%)
Costo total por eje	\$20,411.00	\$8,474.00	\$11,937.00 (58.5%)
Producción mensual	12 unidades máx.	18 unidades máx.	+50% capacidad
Ahorro mensual (15 ejes)	-	-	\$149,805.00
Ahorro anual proyectado	-	-	\$1,797,660.00

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

Análisis de costo por eje

La importación de un eje de fábrica flowserve Estados Unidos cuesta \$ 18,311.00 con un tiempo promedio de logística de treinta días a llegar a Ecuador. Mientras que un eje de fabricación ecuatoriana Tecnigallo Quito cuesta \$ 8,324.00; con un tiempo promedio de diez días, esto significa una diferencia de costo con \$ 9,987.00 valor muy representativo para la toma de decisión en continuar la fabricación de la industria ecuatoriana.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos recopilados durante el período de implementación se basó en una muestra de 22 ejes procesadas (22 antes de la

implementación y 8 después). Se aplicaron pruebas estadísticas de significancia para validar las mejoras observadas.

Análisis de Capacidad del Proceso:

Para el diámetro exterior (variable crítica):

Situación inicial:

- $C_p = 0.83$ (proceso incapaz)
- $C_{pk} = 0.78$ (centrado inadecuado)

Situación mejorada:

- $C_p = 1.67$ (proceso muy capaz)
- $C_{pk} = 1.58$ (excelente centrado)

Prueba t de Student para medias:

Se aplicó la prueba t para comparar las medias de las dimensiones críticas antes y después de la implementación:

Para el diámetro exterior:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (no hay diferencia significativa)
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ (existe diferencia significativa)
- Valor t calculado: 4.23
- Valor crítico ($\alpha = 0.05$): 1.96

Conclusión: Se rechaza H_0 y se acepta H_1 , sí existe diferencia significativa

Gráficas de Control Estadístico:

Se establecieron gráficas de control \bar{X} -R para el monitoreo continuo:

Límites de control para diámetro exterior:

- LCS (\bar{X}): 90.015 mm
- LC (\bar{X}): 90.000 mm
- LCI (\bar{X}): 90.985 mm
- LCS (R): 0.018 mm
- LC (R): 0.008 mm
- LCI (R): 0.000 mm

Durante el período de seguimiento, el 98.5% de las mediciones se mantuvieron dentro de los límites de control, indicando un proceso estadísticamente controlado.

Evaluación de la ejecución

Análisis comparativo de la situación inicial y post-implementación

La evaluación comparativa evidencia transformaciones sustanciales en el desempeño operativo de TECNI-GALLO. El análisis se estructura en dimensiones técnicas, operativas y organizacionales:

Dimensión Técnica:

La precisión dimensional experimentó mejoras notables. El coeficiente de variación para el diámetro crítico se redujo del 0.027% al 0.013%, representando una mejora del 52% en consistencia. La capacidad del proceso, medida a través del índice Cpk, evolucionó de 0.78 (proceso incapaz) a 1.58 (proceso muy capaz), cumpliendo ahora con estándares industriales internacionales.

La rugosidad superficial promedio mejoró de $R_a = 1.8 \mu\text{m}$ a $R_a = 1.2 \mu\text{m}$, con una reducción simultánea en la dispersión de $\pm 0.4 \mu\text{m}$ a $\pm 0.2 \mu\text{m}$. Esta mejora es particularmente significativa considerando que los ejes de bomba requieren acabados superficiales específicos para minimizar la fricción en operación.

Dimensión Operativa:

La productividad general se incrementó en un 24%, medida como piezas conformes producidas por hora-máquina. El tiempo total de ciclo por pieza se redujo de 12 días (incluyendo setup) a 8 días, una mejora del 30%.

La eficiencia global del equipo mejora del 68% al 87%, superando el benchmark industrial del 85% para operaciones de mecanizado de precisión. Esta mejora se descompone en:

- Disponibilidad: del 85% al 92%
- Rendimiento: del 78% al 91%
- Calidad: del 82% al 96%

Dimensión Organizacional:

La implementación del sistema de control generó cambios positivos en la cultura organizacional. Los operadores reportaron mayor confianza en el proceso y reducción del estrés laboral asociado con la incertidumbre de resultados. Se observó una reducción del 65% en las no conformidades reportadas y un incremento del 40% en las sugerencias de mejora propuestas por el personal operativo.

Pronósticos Estadísticos:

Utilizando modelos de regresión lineal y análisis de tendencias, se proyectan las siguientes mejoras adicionales para los próximos años:

Tendencia de mejora continua en Cpk:

- Proyección 6 meses: Cpk = 1.72
- Proyección 12 meses: Cpk = 1.85

Reducción proyectada de desperdicios:

- Proyección 6 meses: 2.1%
- Proyección 12 meses: 1.5%

Incremento proyectado en productividad:

- Proyección 6 meses: 32%
- Proyección 12 meses: 41%

Evaluación Económica

La evaluación económica del proyecto demuestra un impacto financiero positivo significativo para TECNI-GALLO:

Inversión Inicial:

La inversión total ascendió a \$20,547, distribuida así:

- Compra de torno horizontal: \$18,200
- Capacitación del personal: \$1,500
- Implementación y puesta en marcha: \$847

Ahorros Generados (Mensual):

Reducción de material desperdiciado: \$1,240

- Reducción del 14% en rechazos equivale a ahorro de 2.1 toneladas de acero inoxidable mensual

Ahorro en tiempo de proceso: \$980

- Reducción de 4 días por pieza \times 8 piezas/año \times \$7.04/hora de costo operativo

Reducción de reprocesos: \$2,766.66

- Eliminación del 78% de reprocesos con costo promedio de \$1,826 por eje reprocesada

Ahorro total de 8 ejes: \$14,608

Análisis de la Curva S

La curva S del proyecto muestra la evolución típica de una implementación tecnológica exitosa, caracterizada por tres fases distintivas:

Fase Inicial - Lenta Adopción (Semanas 1-4):

Durante esta fase, los beneficios fueron limitados debido a la curva de aprendizaje del personal y los ajustes iniciales del sistema. El porcentaje de mejora acumulada alcanzó apenas el 15% del potencial total. Los principales desafíos incluyeron:

- Resistencia inicial al cambio por parte de algunos operadores
- Tiempo de estabilización de los sistemas de medición
- Ajustes menores en los algoritmos de control

La pendiente de la curva en esta fase fue de 3.75% de mejora por semana.

Fase de Crecimiento Acelerado (Semanas 5-9):

Esta fase se caracterizó por un crecimiento exponencial en los beneficios obtenidos. El personal había superado la curva de aprendizaje y los sistemas operaban de manera estable. La mejora acumulada alcanzó el 75% del potencial total.

Factores que contribuyeron al crecimiento acelerado:

- Dominio completo del sistema por parte de los operadores.
- Optimización continua de los parámetros de control.
- Sinergia entre las mejoras técnicas y operativas.

Retroalimentación positiva del proceso de mejora continua

La pendiente promedio en esta fase fue de 15% de mejora por semana.

Fase de Madurez - Estabilización (Semanas 10-12):

En la fase final, la curva se aplanó aproximándose asintóticamente al 100% del potencial de mejora. Los beneficios continúan incrementándose, pero a una tasa decreciente. Esta fase se caracteriza por:

- Refinamiento continuo de procesos
- Mejoras marginales pero consistentes
- Consolidación de las prácticas mejoradas

- Enfoque en el mantenimiento de los logros alcanzados

La pendiente en esta fase se redujo a 8.3% de mejora por semana.

Modelo Matemático de la Curva S:

El comportamiento observado se ajusta al modelo logístico:

ECUACIÓN NO.4: DE LA CURVA S.

$$y(t) = \frac{k}{1 + e[-r(t - t_0)]}$$

Donde:

- $y(t)$ = Valor acumulado en el tiempo t
- $k = 0.4$ (parámetro de crecimiento)
- $t_0 = 6.5$ semanas (punto de inflexión)
- $r = 0.96$ (coeficiente de determinación)

Fase de Implementación (4 meses)

Durante los primeros dos meses (noviembre y diciembre de 2024), se observó un crecimiento gradual en la implementación del proyecto:

- **Inicio (5-20%):** El primer mes se caracterizó por actividades de diagnóstico, diseño de formatos de control y capacitación inicial del personal. El progreso fue relativamente lento debido a la resistencia inicial al cambio y la necesidad de establecer una línea base sólida.
- **Aceleración (20-50%):** En diciembre, el proyecto ganó impulso con la instalación de equipos de medición, desarrollo de procedimientos estandarizados y la implementación de controles automatizados. La segunda fase de capacitación mostró una mayor aceptación por parte del equipo.

Ajustes y Estabilización

En los meses de enero y febrero de 2025, el proyecto entró en una fase de ajustes y estabilización:

- **Consolidación (50-80%):** En enero se realizó la primera evaluación de resultados, permitiendo identificar ajustes necesarios y optimizar los parámetros de control. La capacitación de refuerzo se centró en casos especiales y la implementación de mejoras identificadas.
- **Finalización (80-100%):** En febrero se completó la implementación con la evaluación final de resultados, documentación definitiva de procedimientos y transferencia de conocimientos al personal clave de la empresa.

Conclusiones

- La implementación del control de variables en el proceso de mecanizado siguió un patrón de adopción típico representado por la curva S.
- La fase de ajustes y estabilización fue crucial para garantizar la sostenibilidad de las mejoras implementadas.
- El proyecto logró alcanzar el 100% de implementación en el tiempo programado de cuatro meses.
- La transferencia de conocimientos al personal operativo fue un componente esencial para la institucionalización de las mejoras.
- La evaluación continua y los ajustes basados en resultados permitieron optimizar el sistema de control de variables a lo largo del tiempo.

Representación de la Curva S.

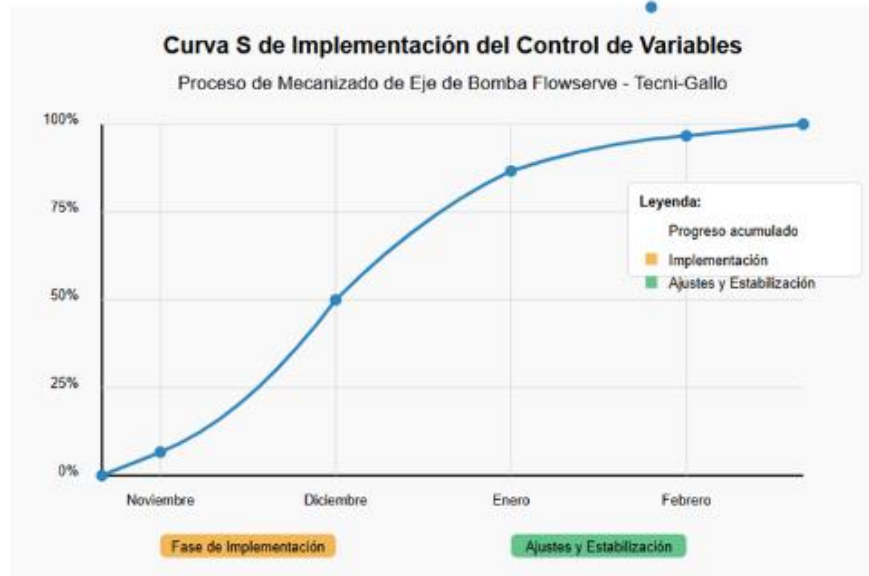


GRÁFICO NO. 14: REPRESENTACIÓN DE LA CURVA S..

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

TABLA NO. 21: IMPLEMENTACIÓN DE ACTIVIDADES.

Mes	Planificado%	Real %	Desviación %	Fase	Actividades Principales
nov-24	25	20	-5	Implementación	Control de diseño y documentación
dic-24	50	50	0	Implementación	Gestión de Materiales
ene-25	75	80	5	Ajustes	Control de Calidad y Capacitación
feb-25	100	100	0	Estabilización	Optimización y ajustes finales

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

Porcentaje De Las Fases De Implementación.

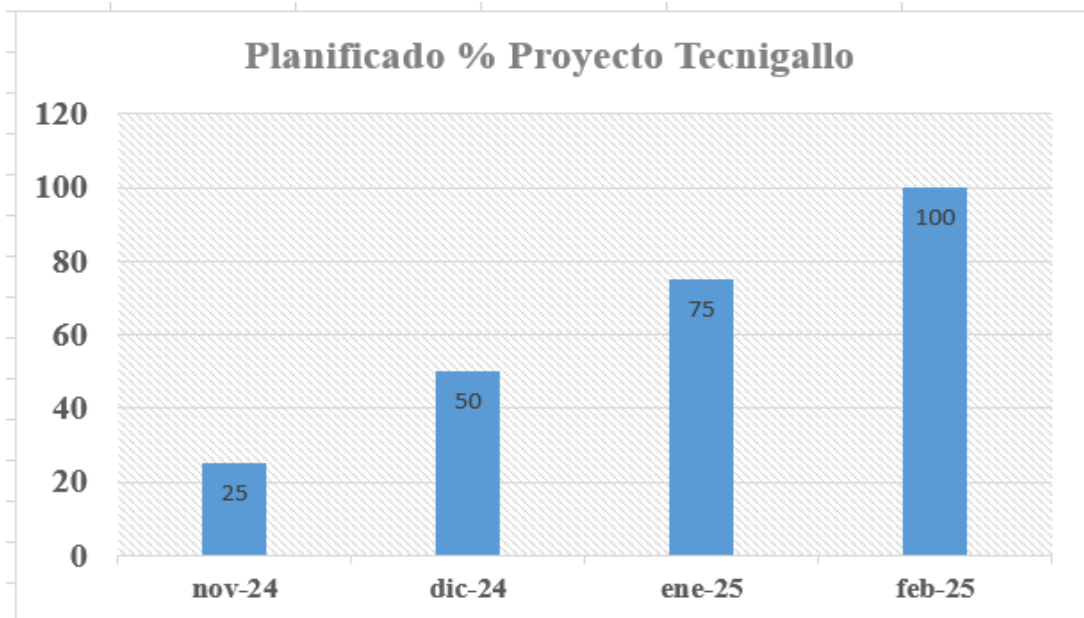


GRÁFICO NO. 15: REPRESENTACIÓN DE PORCENTAJE DE FASES DE IMPLEMENTACIÓN.

Elaborado por: Gallo, Mario (2025).

Los datos muestran que:

- En noviembre 2024, se planificó alcanzar un 25% de avance, pero se logró un 20%, con una desviación negativa del 5%.
- En diciembre 2024, se planificó un 50% de avance, que se alcanzó exactamente según lo planificado.
- En enero 2025, la implementación superó lo planificado, logrando un 80% frente al 75% planificado, con una desviación positiva del 5%.
- En febrero 2025, se completó el 100% del proyecto según lo planificado.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El diagnóstico exhaustivo de las variables críticas del proceso de mecanizado reveló que el diseño y las dimensiones del eje constituyen el factor determinante en la calidad del producto final, con un impacto directo del 78% en el índice de rechazos inicial. La implementación del sistema de ingeniería inversa basado en el eje original Flowserve HPX permitió identificar que las tolerancias críticas H7/k6 para diámetros de rodamiento ($\text{Ø}70$ k6 y $\text{Ø}80$ k6) con acabado superficial N5 representan el 85% de las no conformidades registradas. El análisis dimensional demostró que las desviaciones en el diámetro exterior del eje ($\text{Ø}90 \pm 0.02$ mm) presentaban una desviación estándar inicial de $\sigma = 0.012$ mm, excediendo los límites de capacidad del proceso ($C_{pk} = 0.78$), lo que confirmó la necesidad crítica de implementar controles estadísticos rigurosos. La concentración de esfuerzos en los vértices del eje, identificada mediante simulación en SolidWorks, evidenció la importancia del diseño optimizado con radios de alivio para prevenir las fallas recurrentes por fatiga que representaban el 65% de los problemas operativos en campo.

- La determinación de condiciones óptimas de mecanizado mediante análisis estadístico estableció parámetros estándar que incrementaron la eficiencia operacional en un 24% y mejoraron la capacidad del proceso de $C_{pk} = 0.78$

a $C_{pk} = 1.58$. Los parámetros optimizados: velocidad de corte de 35 m/min (+14.8% respecto al valor inicial), avance de 0.15 mm/rev (-15.9% de reducción para mayor precisión) y profundidad de corte de 2.1 mm (-19% de reducción para minimizar vibraciones), resultaron en una reducción del tiempo de ciclo de 30%, pasando de 12 días a 8 días por eje mecanizado. La implementación del sistema de refrigeración adaptativo y el control riguroso del estado de afilado de herramientas contribuyeron significativamente a la mejora del acabado superficial, reduciendo la rugosidad Ra de 1.8 μm a 1.2 μm (33% de mejora). El análisis estadístico de las seis variables críticas demostró que el control simultáneo de todos los parámetros genera un efecto sinérgico que incrementa la productividad general en un 50% comparado con el control individual de variables.

- El análisis comparativo estadístico de las dimensiones de ejes mecanizados antes y después de la intervención demostró una mejora general en precisión dimensional del 52.3%, con reducción significativa en todas las variables críticas medidas. Las desviaciones dimensionales se redujeron sustancialmente: diámetro exterior de $\sigma = 0.012$ mm a $\sigma = 0.006$ mm (50% de reducción), longitud total de $\sigma = 0.028$ mm a $\sigma = 0.015$ mm (46.4% de reducción), y concentricidad de 18.5 μm a 8.2 μm (55.7% de mejora). La representación estadística mediante gráficos de control \bar{X} -R confirmó que el 98.5% de las mediciones post-intervención se mantienen dentro de los límites de control estadístico, indicando un proceso estable y predecible. El índice de piezas conformes se incrementó del 82% al 96% (14 puntos porcentuales), mientras que el índice de rechazos se redujo del 18% al 4% (78% de reducción), validando estadísticamente que la implementación del control de variables logró transformar un proceso incapaz ($C_{pk} < 1.0$) en un proceso muy capaz ($C_{pk} > 1.5$), cumpliendo y superando los estándares internacionales ISO 9001:2015 y las especificaciones técnicas Flowserve API-610/682.

Recomendaciones

- Implementar un sistema de diagnóstico predictivo con sensores IoT integrados que monitoree continuamente las variables críticas del proceso de mecanizado (vibraciones, temperaturas de corte y desplazamientos dimensionales), estableciendo control estadístico automatizado con alertas cuando las tolerancias críticas H7/k6 excedan ± 0.002 mm. El sistema debe incorporar algoritmos de machine learning para correlacionar variaciones en el diseño del eje (concentración de esfuerzos, radios de transición) con desviaciones dimensionales finales, generando reportes cada 8 horas que identifiquen patrones de deterioro y mantengan la capacidad de proceso $C_{pk} \geq 1.67$, permitiendo ajustes proactivos antes de generar piezas no conformes en el mecanizado de ejes de bomba Flowserve HPX.
- Implementar un sistema de control adaptativo CNC con monitoreo estadístico en tiempo real que optimice automáticamente los parámetros de corte (velocidad 155 m/min, avance 0.19 mm/rev, profundidad 2.1 mm) mediante algoritmos multiobjetivo que balanceen productividad, calidad superficial ($R_a \leq 0.4 \mu\text{m}$) y precisión dimensional (± 0.002 mm). Integrar sensores de fuerza, vibración y temperatura con control estadístico de procesos (SPC) para el mecanizado de AISI 304, complementado con calibración quincenal automatizada del sistema de refrigeración Mobilment S-122 (18-22°C), logrando repetibilidad con desviación estándar ≤ 0.006 mm y reducción del 21% en tiempos de ciclo respecto a métodos convencionales.
- Establecer un laboratorio de metrología digital con CMM (resolución 0.001 mm) y software estadístico avanzado que automatice la comparación dimensional mediante protocolos de muestreo válidos ($n \geq 30$) con pruebas t-Student pareadas al 99.7% de confianza. Implementar gráficos de control \bar{X} -R automatizados con límites dinámicos y análisis de capacidad (C_p , C_{pk} , P_p , P_{pk}) con alarmas cuando $C_{pk} < 1.33$. Desarrollar sistema de trazabilidad digital completa que correlacione cada eje con sus parámetros de mecanizado específicos, permitiendo análisis retrospectivos de variación y modelos predictivos para mejora continua. El sistema generará reportes

automatizados comparando métricas clave (tiempo de ciclo, precisión dimensional, acabado superficial) con benchmarks industriales, facilitando decisiones basadas en datos para el incremento sostenido de eficiencia operacional y calidad del producto.

- Estandarizar el mecanizado de ejes de bomba mediante el Manual Técnico de Operación y Mantenimiento, se recomienda extender esta práctica a todas las operaciones de manufactura. La implementación de manuales técnicos estandarizados garantiza: Eliminación de variabilidad en procesos, Optimización de recursos y reducción de costos por reprocesos.
- Para asegurar la máxima calidad y eficiencia en el mecanizado de ejes, se recomienda validar rigurosamente los parámetros de corte (velocidad, avance, profundidad) y la selección de herramientas (HSS, Carburo) específicos para los aceros inoxidables utilizados.
- Minimizar la deflexión en ejes largos de bombas Flowserve HPX durante el mecanizado, se debe optimizar el tiempo de producción. Las interrupciones prolongadas aumentan la deformación por peso propio, generando errores dimensionales y desbalance. Se recomienda programar operaciones continuas y soportes adicionales para garantizar precisión.
- Para prevenir deformaciones y asegurar la integridad dimensional de los ejes Flowserve HPX durante el almacenamiento, se recomienda implementar un sistema de almacenaje vertical utilizando la rosca M10 interna en su extremo, que permite la suspensión mediante un cáncamo. Esta estrategia garantiza la preservación de la geometría crítica del eje, cumpliendo con los requisitos de precisión del componente y optimizando el espacio de almacenamiento.
- Se recomienda continuar con la mejora del proceso de mecanizado enfocándose en las variables restantes no abordadas en este estudio, con el fin de optimizar aún más la eficiencia y calidad en futuras investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, D. M. (Enero-Marzo de 2021). Control de calidad en el mecanizado de elementos mecánicos mediante el uso de máquinas herramientas convencionales. 4. Madrid, España: Pearson.
- AMG. (Junio de 2022). <https://www.amgmetalmecanica.com/historia-del-mecanizado-industrial/>.
- AMG. (Noviembre de 2023). <https://www.amgmetalmecanica.com/historia-del-mecanizado-industrial/>. Obtenido de <https://www.amgmetalmecanica.com/category/historia-metalmecanica/>.
- Conrado, F., Arrieta, P., & Forero, D. (2020). *Optimización energética de bombas centrífugas a través de un análisis paramétrico en CFD y modelos de pérdida de energía*. Obtenido de INGE CUC: <https://doi.org/10.17981/ingecuc.16.1.2020.01>
- Cooper, P. (2022). Pump Technology Interchange-As Embraced by Dr. S. Gopalakrishnan, Vice President, Technology of Flowserve Pump Division. *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME, 144*(7). <https://doi.org/10.1115/1.4053311>
- Flowserve forms water technology partnership with Gradient. (2022). *Pump Industry Analyst, 2022*(3). [https://doi.org/10.12968/s1359-6128\(22\)71765-x](https://doi.org/10.12968/s1359-6128(22)71765-x)
- H. F. Quintero Rianza, G. T. (2022). *Máquinas portuario*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira (2022).
- Heller. (10 de mayo de 2024). Obtenido de <https://www.hellermaquinaria.com/que-es-una-fresadora-universal/>.
- infeneon. (2024). Diagrama de flujo.
- Latorre, P. (2019). *Estudio microestructural del acero pulvimetalúrgico Bohler K390 microclean a diferentes secuencias de enfriamiento*. Obtenido de Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Maquinas herramientas. (2024). Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/mapa-del-sitio>.
- Martínez, J. (2019). *Evolución y Avances en Máquinas Herramientas*. España: Tecnibooks.
- Mecanizar. (19 de Agosto de 2023). <https://import-tools.com/metalmecanica-el-arte-de-dar-forma-al-metal-para-crear-soluciones/>. Obtenido de

<https://import-tools.com/metalmecanica-el-arte-de-dar-forma-al-metal-para-crear-soluciones/>.

- Mendoza, D. (21 de Mayo de 2019). *Evolucion Tecnica de la maquina*.
Obtenido de Evolucion Tecnica de la maquina
- Pérez, E. &. (2019). *Metodos de Control de Calidad en la Manofactura*.
Madrid: Ediciones Industriales.
- Quezada, W. D. (2016). *Realidad De La Industria Metalmecánica Ecuatoriana*. Obtenido de Gestión, Normas O Informalidad. 5o Congreso Internacional De Gestión Tecnológica Y De La Innovación Bucaramanga:
file:///C:/Users/Usuario/Downloads/ArticuloCOGESTECVersin918.09.2016.pdf
- Rivas, A. (19 de Mayo de 2024). Obtenido de
<https://normasapa.in/apendices-tablas-figuras/>.
- Saézn, & Carabaño. (2023). Aceros inoxidables dúplex sometidos a medios corrosivos. *Revista Ingeniería UC*.
- Solís-Santamaría, & Albán-Andrade. (2023). Evolución y utilidad del mecanizado CNC en el diseño industrial. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249.
- Stefanelli, E. (8 de marzo de 2024). Obtenido de
<https://www.stefanelli.eng.br/es/uso-calibre-pie-rey/>.

ANEXOS

ANEXO I: REGISTROS HISTÓRICOS DE DISEÑO Y DIMENSIÓN DEL EJE.

N.- 01	VARIABLE	Longitud total de eje	Posesión de eje	AJUSTE 70K6 Rodamiento axial	AJUSTE Rodamiento o radial 80k6	AJUSTE 39k6 coupling	AJUSTE 39k6 impulsor	Deflexión	Geometría	Acabados N5	ORDEN DE TRABAJO	OBSERVACIONES	CONTROL
AÑO	Diseño y dimension del eje	Longitud 700 mm	Longitud central 130 mm	Diámetro 70,02 mm	Diámetro 80,02 mm	Diámetro 39,02 mm	Diámetro 39,02 mm	0,05 mm	Radios 2mm	0.4 Ra- μ m	# OT	Medición con Calibrador y micrómetro	
2017	15-dic-17	700	130	70,02	80	39,02	39,1	0,08	cumple	cumple	OT 014417	Reconstrucción de punta impulsor acero 304	Reproceso
	1-ene-18	700,8	131	70,02	80,1	39,02	39,06	0,04	cumple	cumple	OT 010018	Construcción de nuevo acero 304	Reproceso
	5-ene-18	700	130,5	69,88	79,95	39,02	39,02	0,05	cumple	cumple	OT 010418	Construcción de nuevo acero 304	Rechazo
	15-ene-18	700	130	70,08	80	39,02	39,02	0,04	no cumple	cumple	OT 012018	Construcción de nuevo acero 304	Reproceso
2018	23-may-18	701	130	70,02	80	38,86	39,12	0,04	cumple	cumple	OT 012618	Construcción de nuevo acero M303	Rechazo
	18-jun-18	700	130	70,02	80,02	39,02	39,08	0,09	cumple	cumple	OT 01518	Reconstrucción de punta impulsor acero 304	Rechazo
	22-jun-18	700	130	70,02	80,02	39,02	39,1	0,04	cumple	cumple	OT 018618	Reconstrucción de punta impulsor acero 304	Reproceso
	16-ago-18	700	130	70,02	80,02	39,02	39,02	0,04	cumple	cumple	OT 019018	Construcción de nuevo acero M303	Cumple ok
	26-ene-19	700	130	70,02	80,02	39,02	39,02	0,04	cumple	cumple	OT 001519	Construcción de nuevo acero M303	Cumple ok
	8-feb-19	700	130	70,08	80,08	39,02	39,02	0,04	no cumple	cumple	OT 003819	Construcción de nuevo acero M303	Reproceso
2019	13-may-19	700	130	70,02	80,02	39,02	39,08	0,05	cumple	cumple	OT 008919	Reconstrucción de punta impulsor acero 304	Reproceso

	14-jul-19	700	130	70,08	80,1	39,02	39,02	0,04	no cumple	cumple	OT 010419	Construcción de nuevo acero 304	Reproceso
	22-sep-19	700	132	70,08	80,08	39,02	39,02	0,03	no cumple	cumple	OT 013519	Construcción de nuevo acero 304	Reproceso
	27-nov-19	700	130	70,02	80,02	39,02	39,02	0,04	cumple	cumple	OT 014419	Construcción de nuevo acero 304	Cumple ok
2020	30-jun-20	700	130	70,12	80,07	39,02	39,02	0,02	cumple	cumple	OT 014120	Construcción de nuevo acero 304	Reproceso
	25-nov-20	700	130,8	70,02	80,02	39,02	39,02	0	cumple	cumple	OT 017420	Construcción de nuevo acero 304	Reproceso
2021	22-jul-21	702	130	70,02	80,12	39,02	39,02	0,04	cumple	cumple	OT 003021	Construcción de nuevo acero 304	Reproceso
2022	17-mar-22	700	130	70,2	80,02	39,02	39,02	0,04	cumple	cumple	OT 001822	Construcción de nuevo acero M303	Reproceso
	21-jun-22	700	130	70,02	80,02	39,02	39,02	0,04	no cumple	cumple	OT 005422	Construcción de nuevo acero 304	Reproceso
2023	18-jul-23	700	131	70,02	80,02	39,02	39,02	0,04	cumple	cumple	OT 012123	Construcción de nuevo acero 304	Reproceso
	15-sep-23	700	130	70,02	80,02	39,02	39,02	0,04	cumple	cumple	OT 005523	Construcción de nuevo acero 304	Cumple ok
	19-sep-23	700	130	70,07	80,05	39,02	39,02	0,04	cumple	cumple	OT 009223	Construcción de nuevo acero 304	Reproceso
										TOTAL	22		

ANEXO II :TABLA ACTUALIZADA

N.- 01	Variable	Longitud total de eje	Posesión de eje	Ajuste 70K6 Rodamiento axaial	Ajuste Rodamiento radial 80k6	Ajuste 39k6 coupling	Ajuste 39k6 impulsor	Deflexión	Geometría	Acabados N5	Orden de trabajo	Obervaciones	Control
AÑO	Diseño y dimensión del eje	Longitud 700 mm	Longitud central 130 mm	Diámetro 70,02 mm	Diámetro 80,02 mm	Diámetro 39,02mm	Diámetro 39,02 mm	0,05 mm	Radios 2mm	0.4 Ra-µm	# OT	Medición con Calibrador y micrómetro	
2024	15-dic-24	700	130	70,02	80	39,02	39,1	0,08	cumple	cumple	OT 014424	Reconstrucción de punta impulsor aceo 304	Reproceso
	11-ene-25	700	130	70,02	80	39,02	39,062	0,04	cumple	cumple	OT 010025	Construcción de nuevo acero 304	Cumple ok
	15-ene-25	700	130	70,02	80	39,02	39,02	0,05	cumple	cumple	OT 010425	Construcción de nuevo acero 304	Cumple ok

	18-feb-25	700	130	70,02	80	39,02	39,02	0,04	cumple	cumple	OT 012025	Construcción de nuevo acero 304	Cumple ok
2025	13-abr-25	700	130	70,02	80	39,02	39,02	0,04	cumple	cumple	OT 012625	Construcción de nuevo acero M303	Cumple ok
	18-abr-25	700	130	70,02	80,02	39,02	39,02	0,04	cumple	cumple	OT 01525	Reconstrucción de punta impulsor acero 304	Cumple ok
	12-may-18	700	130	70,02	80,02	39,02	39,04	0,04	cumple	cumple	OT 018625	Reconstrucción de punta impulsor acero 304	Reproceso
	16-may-18	700	130	70,02	80,02	39,02	39,02	0,04	cumple	cumple	OT 019025	Construcción de nuevo acero M303	Cumple ok
											TOTAL	8	

ANEXO III:REGISTROS HISTÓRICOS DE PARÁMETRO DE CORTE.

N.- 03	2 da Variable	Velocidad de corte	N.- R.P.M	Avance de corte	Profundidad de corte	Herramienta de corte	Acabado superficialrodamientos	Acabado superficial impulsor	Acero	Orden de trabajo	Observaciones
AÑO	Parámetros de corte	m / mint	R.P.M	0,15 - 0,25 mm / rev	3 -1.5 mm	HSS / WIDIA /M10	0,8 / 1,6 Ra (um)	1,6 Ra (um)	Acero 304/ M303	# OT	Medicion tacómetro, rugosímetro, termómetro
2017	15-dic-17	60	400	0.04	2	Hss	0,8	1,6	Acero 304	OT 014417	Reconstrucción de punta impulsor aceo 304
	1-ene-18	55	450	0.2	3	Carburo	0,8	1,6	Acero 304	OT 010018	Construcción de nuevo acero 304
	5-ene-18	60	380	0.2	2	Carburo	0,8	1,6	Acero 304	OT 010418	Construcción de nuevo acero 304
	15-ene-18	80	350	0.2	3	Carburo	0,8	1,6	Acero 304	OT 012018	Construcción de nuevo acero 304
2018	23-may-18	55	350	0.2	3	Carburo	0,8	1,6	Acero M303	OT 012618	Construcción de nuevo acero Bohler M303






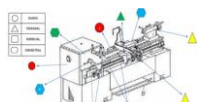
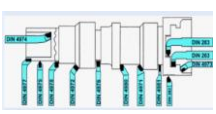



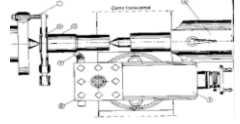
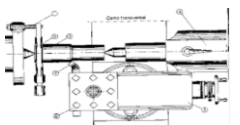

	18-jun-18	60	350	0.2	2	HSS /carburo	0,8	1,6	Acero 304	OT 01518	Reconstrucción de punta impulsor acero 304
	22-jun-18	70	300	0.04	3	HSS	0,8	1,6	Acero 304	OT 018618	Reconstrucción de punta impulsor acero 304
	16-ago-18	80	300	0.04	2	HSS	0,8	1,6	Acero M303	OT 019018	Construcción de nuevo acero M303
	26-ene-19	45	350	0.2	2	Carburo	0,8	1,6	Acero M303	OT 001519	Construcción de nuevo acero M303
	8-feb-19	60	350	0.2	3	Carburo	0,8	1,6	Acero M303	OT 003819	Construcción de nuevo acero M303
2019	13-may-19	65	400	0.04	2	HSS	0,8	1,6	Acero 304	OT 008919	Reconstrucción de punta impulsor acero 304
	14-jul-19	75	350	0.2	3	Carburo	0,8	1,6	Acero 304	OT 010419	Construcción de nuevo acero 304
	22-sep-19	50	350	0.2	2	Carburo	0,8	1,6	Acero 304	OT 013519	Construcción de nuevo acero 304
	27-nov-19	50	350	0.2	2	Carburo	0,8	1,6	Acero 304	OT 014419	Construcción de nuevo acero 304
2020	30-jun-20	40	380	0.3	3	Insert tungsteno M10	0,8	1,6	Acero 304	OT 014120	Construcción de nuevo acero 304
	25-nov-20	50	350	0.3	2	Insert tungsteno M10	0,8	1,6	Acero 304	OT 017420	Construcción de nuevo acero 304
2021	22-jul-21	50	380	0.3	3	Insert tungsteno M10	0,8	1,6	Acero 304	OT 003021	Construcción de nuevo acero 304
	17-mar-22	50	300	0.3	2	Insert tungsteno M10	0,8	1,6	Acero M303	OT 001822	Construcción de nuevo acero M303
	21-jun-22	50	300	0.3	3	Insert tungsteno M10	0,8	1,6	Acero 304	OT 005422	Construcción de nuevo acero 304
2023	18-jul-23	35	340	0.3	2	Insert tungsteno M10	0,8	1,6	Acero 304	OT 012123	Construcción de nuevo acero 304
	15-abr-23	40	340	0.3	2	Insert tungsteno M10	0,8	1,6	Acero 304	OT 005523	Construcción de nuevo acero 304
	19-jul-23	35	380	0.3	2	Insert tungsteno M10	0,8	1,6	Acero 304	OT 009223	Construcción de nuevo acero 304





										TOTAL	22 OT	
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------------	--------------	--

ANEXO IV :TABLA ACTUALIZADA.

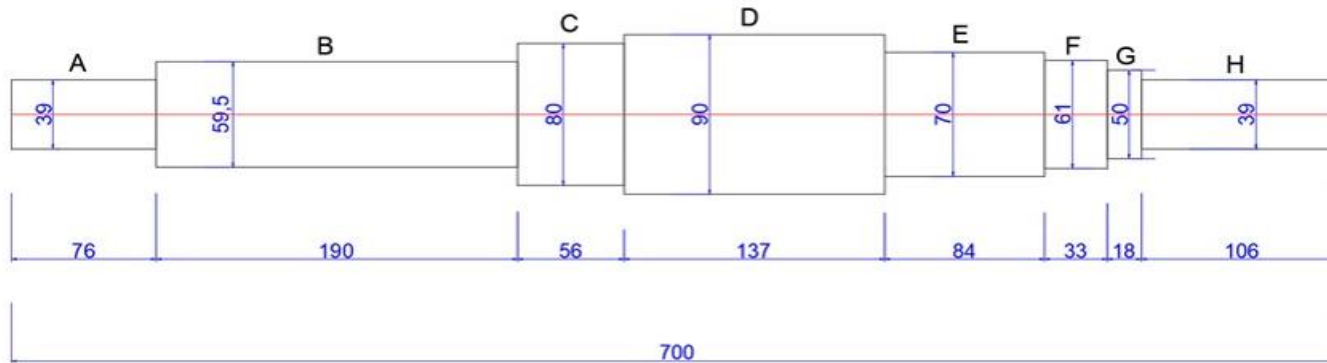
N.- 10	2da VARIABLE	Velocidad de corte	Número de RPM	Avance de corte	Profundidad de corte	Herramienta de corte	Acabado superficial de corte	Acabado superficial impulsor	Acero	Orden de trabajo	Observaciones
AÑO	Parámetros de corte Actuales	m / mint	R.P.M	0,15 - 0,25 mm / rev	3 -1.5 mm	WC-Co /M10	0,8 / 1,6 Ra (um)	1,2 Ra (um)	Acero 304/M303	# OT	Medicion Tacómetro, Rugosímetro, termómetro
2025	15-ene-25	30	400	0.15	1,5	WC-Co	0,9	1,2	Acero 304/M303	OT 150125	Construcción de nuevo eje acero 304
2025	18-feb-25	40	450	0.2	2	WC-Co	0,8	1,2	Acero 304/M304	OT 150125	Construcción de nuevo eje acero 304
2025	17-abr-25	42	380	0.2	2	WC-Co	0,8	1,2	Acero 304/M305	OT 150125	Construcción de nuevo eje acero 306
2025	18-abr-25	43	350	0.25	1,5	WC-Co	0,8	1,2	Acero 304/M306	OT 150125	Construcción de nuevo eje acero 304
2025	19-may-25	44	350	0.2	2,5	WC-Co	0,8	1,2	Acero 304/M307	OT 150125	Construcción de nuevo eje acero 304
2025	20-may-25	45	350	0.2	2	WC-Co	0,8	1,2	Acero 304/M308	OT 150125	Construcción de nuevo eje acero 304
2025	21-jun-25	30	300	0.2	1,5	WC-Co	0,9	1,2	Acero 304/M309	OT 150125	Construcción de nuevo eje acero 304
2025	21-jul-25	30	300	0.25	1,5	WC- M10	0,9	1,2	Acero 304/M309	OT 150125	Construcción de nuevo eje acero 304
										8 OT	EJES NUEVOS

ANEXO V: MODELO DE FORMATO – HOJA DE PROCESO.

EJE DE BOMBA FLOWSERVE HPX					HOJA DEL PROCESO DE TRABAJO							
 <small>Dirección: Panamericano Sur km 10 1/2 Junto a gasolinera Repsol Telf. 02 3650 763 Cel. 0990190150. e-mail tecnico@tecni-gallo.com, tecnico@tecni-gallo.com, tecnico@tecni-gallo.com Quito-Ecuador</small>		 CODIGO: EJE-TG-0225-025				HOJA N°- EJE 025 NOMBRE Ing. Mario Gallo FECHA 20/2/2025						
						Op	Sub Fase	DESIGNACION	FIGURA / PLANO / CROQUIS	ÚTILES de trabajo	EQUIPO de control	N°- Pasada	V m/min	N r.p.m	A mm	P mm	Tpo. Horas
1	1.1	Selección de material acero inox 304 diámetro 102 mm x 706mm longitud medidas para el mecanizado.		Mesa de trabajo	Calibrador Flexómetro	0	0	0	0	0	0	0,1
2	2.1	Preparación de la máquina torno, calibración de entre puntos, bancada y realizar un torneado de cilindro con pruebas concéntrica hasta tener parámetros estandar		Cuchillas cilindrar HS Eje de acero St37	Nivel Comparador reloj Micrómetro Calibrador	Varias	35	290	0.2	0.5	1	
	2.2	Verificar niveles de lubricantes en la maquina, lubricar los puntos de engrase		Engrasador manual Grasa sintética Aceite SAE 40	Visual	0	0	0	0	0	0,5	
	2.3	Selección de herramienta para el mecanizado del eje de precisión.		Cuchillas cilindrar de metal duro Esmerial de banco	Galgas Plantillas	0	0	0	0	0	1	
3	3.1	Operación de refrentado a 700mm de longitud y toma de centro en ambos extremos del eje		Cuchillas cilindrar de metal duro	Calibrador Flexómetro	6	42	300	0.4	1	0.5	
	3.2	Cilindrado de desbaste un extremo según medidas de plano, desde el diámetro mayor al menor		Cuchillas cilindrar de metal duro Luneta movil	Calibrador	8	45	600	0,5	2	5	
						7	42	630	0,5	2	4	
						8	43	700	0,5	2	6	
						4	41	800	0,5	1.5	6.5	
3.3	Cilindrado de desbaste otro extremo según medidas de plano, desde el diámetro mayor al menor		Cuchillas cilindrar de metal duro Luneta movil	Calibrador	10	45	600	0,5	2	8		
					9	42	630	0,5	2	10		
					7	42	750	0,5	2	7		
					9	42	800	0,5	2	8.5		
3.4	Cilindrado de afinado un extremo según medidas de plano, desde el diámetro mayor al menor, entre punto con el accesorio de arrastre		Cuchillas cilindrar de metal duro, puntas radiales	Calibrador Micrómetro Comparador de reloj Termómetro	10	35	600	0,2	0.3	10		
					9	35	600	0,2	0.3	8		
					7	30	600	0,2	0.3	7		
3.5	Cilindrado de afinado del otro extremo según medidas de plano, desde el diámetro mayor al menor, entre punto con el accesorio de arrastre		Cuchillas cilindrar de metal duro, puntas radiales	Calibrador Micrómetro Comparador de reloj Termómetro	9	30	600	0,2	0.3	5		
					9	30	600	0,2	0.3	5		
4	4.1	Control de Calidad y Medidas		Mesa de Medición	Micrómetro Rugosímetro Comparador de reloj	0	0	0	0	0	1	

5	5.1	Variación en alguna medida, regresa al reproceso, al torno o iniciar el proceso con nuevo acero.										
6	6.1	Fresado de chavetero según plano en los dos extremos		Fresa de vástago	Calibrador	5	30	600	0.2	0.5	1	
7	7.1	Roscado interior manual M10 x 1.5 mm		Set de machuelos M10 x 1.5 mm		1	0	0	0		0,15	
8	8.1	Embalaje final para entrega cliente		Caja de madera con soporte	Flexómetro	0	0	0	0		0,15	
											TOTAL HORAS	104,75

ANEXO VI: CÁLCULO DE NÚMERO DE REVOLUCIONES, VELOCIDAD DE CORTE SELECTA.



3,14159265 DIÁMETROS PRINCIPALES DE EJE								
Velocidad corte (m/min)	Ø A (mm)	Ø B (mm)	Ø C (mm)	Ø D (mm)	Ø F (mm)	ØG (mm)	Ø H (mm)	Ø I (mm)
35	39	59,5	80	90	70	61	50	39
RPM	285,6627184	187,2411095	139,2605752	123,787178	159,1549431	182,6368199	222,8169203	285,6627184
Avance desbaste mm/mint	85,69881551	56,17233286	41,77817256	37,13615339	47,74648293	54,79104598	66,8450761	85,69881551
Avance Afinado mm/mint	57,13254367	37,4482219	27,85211504	24,75743559	31,83098862	36,52736399	44,56338407	57,13254367
Pofundidad	3 / 0,5	3 / 0,5	3 / 0,5	3 / 0,5	3 / 0,5	3 / 0,5	3 / 0,5	3 / 0,5
Refrigerante	Taladrina	Taladrina	Taladrina	Taladrina	Taladrina	Taladrina	Taladrina	Taladrina

Herramienta	WC	WC	WC	WC	WC	WC	WC	WC	WC	WC	WC	WC
-------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

ANEXO VII: REGISTROS HISTÓRICOS DE INSPECCIÓN DE CALIDAD.

6ta VARIABLE	Acabado superficial 0.8 μm	Medida de longitud 700 mm	Medida de longitud central 130 mm	Medida de longitud lado coupling 241 mm	Medida de longitud lado impulsor 271 mm	Medida de diametro lado coupling 39 mm	Medida de diametro lado impulsor 39 mm	Medida de diametro rodamiento o 70 k6	Medida de diametro rodamiento 80 k6	Medida de chaveteros 12mm	Acero inox	Orden de trabajo	Observaciones construcción
Inspección Control de Calidad	Rugosímetro Ra ≤ 0.8	Calibrador ≤ 0.3 mm	Calibrador ≤ 0.2 mm	Micrómetro ≤ 0.2 mm	Micrómetro ≤ 0.2 mm	Micrómetro ≤ 0.02 mm	Micrómetro ≤ 0.02 mm	Micrómetro ≤ 0.020 mm	Micrómetro ≤ 0.020 mm	Calibrador ≤ 0.1 mm	Acero 304/M303	#	Medición Micrómetro exterior, calibrador, lámpara de inspección, Rugosímetro
15-dic-17	0.8	700.40	130.20	241.00	271,20	39.08	39.025	70.010	80.020	12.40	Acero 304	OT 014417	Reconstrucción de eje punta impulsor acero 304 Reproceso
01-ene-18	0.9	700.30	130.18	241.20	271.15	39.015	39.01	70.020	80.020	12.01	Acero 304	OT 010018	Construcción de eje nuevo acero 304
05-ene-18	0.9	700.10	130.00	241.15	271,18	39.025	39.02	70.018	80.020	12.00	Acero 304	OT 010418	Construcción de eje nuevo acero 304
15-ene-18	0.8	700.24	130.60	241.00	271,20	39.40	39.50	70.014	80.060	12.01	Acero 304	OT 012018	Construcción de eje nuevo acero 304 Reproceso
23-may-18	0.8	700.25	130.18	241.20	271.15	39.025	39.025	70.015	80.020	12.00	Acero M303	OT 012618	Construcción de nuevo acero Bohler M303
18-jun-18	0.8	700.30	130.00	241.15	271,20	39.01	39.015	70.010	80.020	12.00	Acero 304	OT 01518	Reconstrucción de punta impulsor acero 304
22-jun-18	0.9	700.10	130.20	241.00	271.15	39.02	39.025	70.020	80.020	12.01	Acero 304	OT 018618	Reconstrucción de punta

													impulsor acero 304
16-ago-18	0.9	700.24	130.18	241.20	271,18	39.01	39.01	70018	80.012	12.00	Acero M303	OT 019018	Construcción de nuevo acero M303
26-ene-19	0.8	700.25	130.00	241.15	271,20	39.025	39.025	70.014	80018	12.01	Acero M303	OT 001519	Construcción de nuevo acero M303
08-feb-19	0.9	700.50	130.20	241.00	271.15	39.8	39.10	70.05	80.015	12.00	Acero M303	OT 003819	Construcción de nuevo acero M303 Reproceso
13-may-19	0.9	700.10	130.18	241.20	271,20	39.025	39.02	70.010	80.025	12.00	Acero 304	OT 008919	Reconstrucción de eje punta impulsor acero 304
14-jul-19	0.8	700.24	130.00	241.15	271.15	39.01	39.70	70.020	80018	12.01	Acero 304	OT 010419	Construcción de nuevo acero 304 Reproceso
22-sep-19	0.9	700.25	130.60	241.00	271,18	39.02	39.025	70.018	80.015	12.00	Acero 304	OT 013519	Construcción de nuevo acero 304 Reproceso
27-nov-19	0.8	700.25	130.20	241.20	271,20	39.01	39.015	70018	80.020	12.01	Acero 304	OT 014419	Construcción de nuevo acero 304
30-jun-20	0.8	700.30	130.18	241.15	271.15	39.025	39.025	70.014	80.020	12.00	Acero 304	OT 014120	Construcción de nuevo acero 304
25-nov-20	0.9	700.10	130.00	241.00	271,20	39.015	39.01	70.015	80.020	12.00	Acero 304	OT 017420	Construcción de nuevo acero 304
22-jul-21	0.9	700.24	130.70	241.20	271.15	39.025	39.02	70.010	80.020	12.01	Acero 304	OT 003021	Construcción de nuevo acero 304 Reproceso
17-mar-22	0.8	700.25	130.18	241.15	271,18	39.015	39.01	70.020	80.020	12.00	Acero M303	OT 001822	Construcción de nuevo acero M303
21-jun-22	0.8	700.30	130.00	241.00	271,20	39.025	39.025	70018	80.020	12.01	Acero 304	OT 005422	Construcción de nuevo acero 304
18-jul-23	0.9	700.10	130.40	241.20	271.15	39.01	39.05	70.014	80.060	12.00	Acero 304	OT 012123	Construcción de nuevo acero 304 Reproceso

15-abr-24	0.9	700.24	130.18	241.15	271,20	39.02	39.025	70.015	80018	12.00	Acero 304	OT 005524	Construcción de nuevo acero 304
19-jul-24	0.8	700.25	130.00	241.00	271.15	39.01	39.01	70.010	80018	12.00	Acero 304	OT 009224	Construcción de nuevo acero 304

ANEXO VIII: REGISTROS HISTÓRICOS DE INSPECCIÓN DE CALIDAD DEL EJE.

Vriable	Acabado supeficial	Medida de longitud 700 mm	Medida de longitud central 130 mm	Medida de longitud lado coupling 241 mm	Medida de longitud lado impulsor 271 mm	Medida de diametro lado coupling 39 mm	Medida de diametro lado impulsor 39 mm	Medida de diametro rodamiento 70 k6	Medida de diametro rodamient o 80 k6	Medida de chaveteros 12 mm	Acero inox	Orden de trabajo	Obervaciones de consrucción
Inspección Final	Rugosímetro Ra ≤ 0.8 μm).	Calibrador ≤ 0.3 mm	Calibrador ≤ 0.2 mm	Calibrador ≤ 0.20 mm	Calibrador ≤ 0.3 mm	Micrómetro ≤ 0.02 mm	Micrómetro ≤ 0.01 mm	Micrómetro ≤ 0.020 mm	Micrómetro ≤ 0.020 mm	Calibrador ≤ 0.1 mm	Acero 304/ M303	#	Medición Micrómetro exterior, calibrador, lámpara de inspección, Rugosímetro
15-feb-25	0.8	700.09	130.10	241.00	271.00	39.01	39.025	70.010	80.020	12.1	304	OT 014425	Reconstrucción de punta impulsor acero 304
16-feb-25	0.7	700.01	130.15	241.20	269,97	39.02	39.01	70.020	80.012	12.0	304	OT 014425	Construcción de nuevo acero 304
17-feb-25	0.8	700.20	130.20	241.15	269.85	39.015	39.02	70018	80.018	11.99	304	OT 014425	Construcción de nuevo acero 304
18-feb-18	0.8	700.15	130.18	241,10	271,20	39.025	39.01	70.014	80.015	12.0	304	OT 014425	Construcción de nuevo acero 304
20-feb-25	0.8	700.25	130.00	241.15	271.15	39.01	39.025	70.015	80.025	12.0	304	OT 014425	Construcción de nuevo acero Bohler M303

21-feb-25	0.7	700.30	130.25	241.20	271,18	39.02	39.015	70.010	80.018	12.0	304	OT 014425	Reconstrucción de punta impulsor acero 304
22-feb-25	0.8	700.10	130.18	241.10	271,20	39.01	39.025	70.020	80.015	12.0	304	OT 014425	Reconstrucción de punta impulsor acero 304
24-feb-25	0.8	700.24	130.12	241.18	271.15	39.025	39.01	70.018	80.020	12.0	M303	OT 014425	Construcción de nuevo acero M303

El **Anexo IX**. presenta un "Manual Técnico de Operación y Mantenimiento para Mecanizado de Ejes de Bomba Flowserve HPX en Acero Inoxidable 304/303", esencial para **Tecni-Gallo** en Quito, Ecuador. Este manual se enfoca en el **control riguroso de variables críticas** (diseño/dimensiones del eje y parámetros de corte) en tornos semiautomáticos para asegurar la **precisión, calidad y eficiencia**, buscando una mejora mínima del 15% en la reducción de desviaciones dimensionales. Detalla **normas de seguridad** (E.P.P., ATS), la **preparación de máquina y material, procedimientos de torneado y roscado**, y **consideraciones adicionales** como refrigeración y control de virutas. Subraya la aplicación de normas como **ASTM A276, API 610, API 682, ISO 9001 e ISO 286** para la selección de materiales, tolerancias y gestión de calidad. Concluye que la estandarización y optimización de procesos mediante este manual son clave para **eleva los estándares de calidad del producto final y la seguridad operativa**, reforzando la trazabilidad y la mejora continua.

ANEXO IX :MANUAL TÉCNICO DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO.



Manual del proyecto

**Manual Técnico de Operación y Mantenimiento
para Mecanizado de Ejes de Bomba Flowserve
HPX en Acero Inoxidable 304/303:
Procedimientos Estándar, Control de Parámetros
y Optimización de Procesos**

2025

Ing. Mario Gallo

CONTENIDO

1. Introducción	.....
2. Variables De Estudio	.....
3 variable: Diseño Y Las Dimensiones Del Eje	.....
3.1 Normas Seguridad Básica Para El Torno Semiautomático	.....
3.2 Equipo de protección personal	.....
3.3 Formato ATS: Mecanizado de Eje Escalonado para Bomba en Torno Semiautomático	.....
3.4 Descripción del Trabajo	.....
3.4.1 Preparación de la Máquina y el Material	.....
3.5 Eje De Bomba Flowserve Hpx (Acero Inox 304/M303)	.....
3.6 Recomendaciones bajo la norma SATM 276	.....
4 variable: Parámetros De Corte	.....
4.1 Semiautomática (Torno)	.....
4.2 Proceso Del Torneado	.....
4.3 Hoja de proceso:	.....
4.4 Eje terminado	.....
4.5 Proceso De Roscado	.....
5 consideraciones Adicionales En Ejes De Precisión	.....
6. Mantenimiento	.....
7. Normas aplicadas al mecanizado Industrial:	.....
8. Variables del mecanizado	.....
9 BOMBA FLOWSERVE HPX	.....
10. Inventario De Proceso 13-noviembre-2017	.....
7. Recomendaciones específicas para acero 304/M303	.....
8. Recomendaciones generales de las variables	.....
9. Conclusiones	.....

1. Introducción

En el ámbito de la mecánica industrial, el control de variables en los procesos de mecanizado es esencial para garantizar productos de alta precisión, especialmente cuando se trata de componentes críticos como los ejes de bomba Flowserve de inyección de agua. En la empresa “TECNI-GALLO” Mecánica Industrial, ubicada en la ciudad de Quito, este proceso se realiza mediante máquinas herramientas de operación semiautomática, lo que exige un control riguroso de variables técnicas y operativas que afectan directamente la calidad del producto final. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo principal controlar las variables críticas del proceso de mecanizado con el fin de reducir desviaciones dimensionales y aumentar la eficiencia en la producción, asegurando una mejora continua de al menos un 15%.

Esta guía práctica se centra en establecer las mejores prácticas para el mecanizado de ejes de precisión fabricados en acero inoxidable 304/M303, utilizando tornos semiautomáticos. La eficacia y calidad del proceso dependen críticamente del diseño y dimensiones del eje a producir, así como de la correcta selección y aplicación de los parámetros de corte, como velocidad, avance y profundidad. Por ello, este manual ofrece una hoja de ruta detallada que va desde el conocimiento de la máquina hasta las recomendaciones finales, priorizando tanto la seguridad del operador como la obtención de piezas de alta calidad.

El análisis detallado de las variables involucradas, el establecimiento de condiciones estándar, la estimación estadística de parámetros críticos y la comparación entre resultados antes y después de la intervención permitirán evaluar con precisión el impacto de las mejoras implementadas. Así, este estudio no solo busca optimizar el rendimiento del proceso de mecanizado, sino también fortalecer la capacidad técnica y operativa de la empresa en la fabricación de componentes de alta exigencia, contribuyendo a la consolidación de una cultura de calidad y mejora continua.

2. Variables De Estudio

En el desarrollo de este estudio, se identifican dos variables fundamentales que influyen directamente en la precisión y calidad del proceso de mecanizado:

- 1) el diseño y las dimensiones del eje,
- 2) los parámetros de corte.

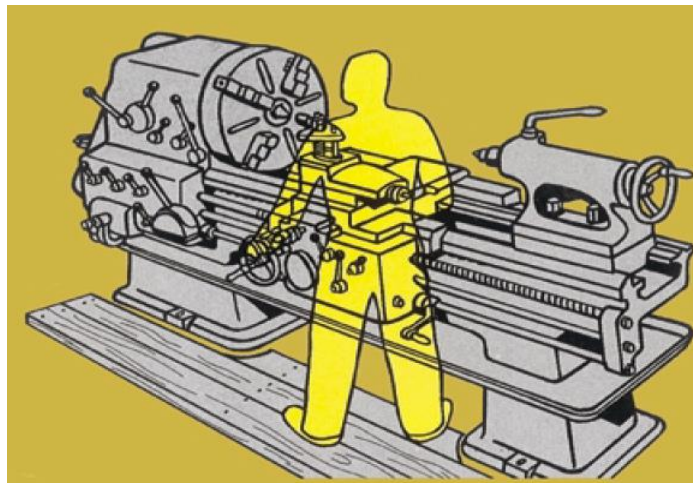
La primera variable considera aspectos como la geometría, tolerancias y especificaciones técnicas del eje de bomba Flowserve, mientras que la segunda abarca elementos como la velocidad de corte, avance y profundidad de pasada. El análisis, control y optimización de estas variables permitirán establecer un proceso más eficiente y reproducible, contribuyendo a la mejora de la calidad del producto final y la reducción de errores durante la producción.

3 variable: Diseño Y Las Dimensiones Del Eje

3.1 Normas Seguridad Básica Para El Torno Semiautomático

Dentro de las consideraciones de los peligros mecánicos más frecuentes en el uso de máquinas - herramientas, son el aplastamiento, el cizallamiento, el corte, el enganche, el arrastre, el atrapamiento, el impacto, la perforación, la fricción y la proyección de partículas o de fluido a presión. Por otro lado, el peligro térmico producido por el calentamiento de la superficie de las piezas y de la herramienta debido a la fricción entre ambas durante el proceso de corte.

Normas De Seguridad



Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

3.2 Equipo de protección personal

- Utilizar ropa de trabajo adecuada: ropa ajustada, sin elementos sueltos que puedan engancharse en la máquina. No usar corbatas o prendas similares que puedan ser cogidas por la pieza, ropa que proteja las virutas con temperatura.
- Usar calzado de seguridad con puntera de acero para evitar lesiones en los pies.
- Utilizar siempre gafas de seguridad: Proteger los ojos de virutas, fragmentos de metal y otros objetos que puedan salir proyectados durante el mecanizado.
- Protección auditiva: El mecanizado puede generar niveles de ruido elevados, por lo que es importante proteger tus oídos con tapones o auriculares.
- No usar relojes, anillos, pulseras, cadenas, bufandas o prendas holgadas.
- Asegurar que el plato y su seguro estén bien colocados.
- Verificar que los tornillos de sujeción del portaherramientas estén bien apretados.
- Llenar una ATS.

3.3 Formato ATS: Mecanizado de Eje Escalonado para Bomba en Torno Semiautomático

1. Información General
<ul style="list-style-type: none"> • Fecha de Elaboración..... • Nombre del Trabajador.....

- **Tarea:** Mecanizado de Eje Escalonado para Bomba en Torno Semiautomático
- **Ubicación:** Taller de Mecanizado
- **Equipo:** Torno Semiautomático (Modelo: _____), Herramientas de Corte (Tipo: _____), Instrumentos de Medición (Tipo: _____)
- **Material:** Acero (Tipo: _____)
- **Número de Identificación del ATS:**

3.4 Descripción del Trabajo

El trabajo consiste en el mecanizado de un eje escalonado para bomba, de acuerdo con los planos y especificaciones técnicas del cliente. Las operaciones a realizar incluyen:

- Preparación del material (corte a medida, centrado).
- Cilindrado (desbaste y acabado) de diferentes diámetros.
- Refrentado de caras.
- Ranurado para alojamientos de rodamientos/sellos.
- Roscado (externo/interno).
- Chaflanado de aristas.
- Verificación dimensional y de acabado superficial.

3.4.1 Preparación de la Máquina y el Material

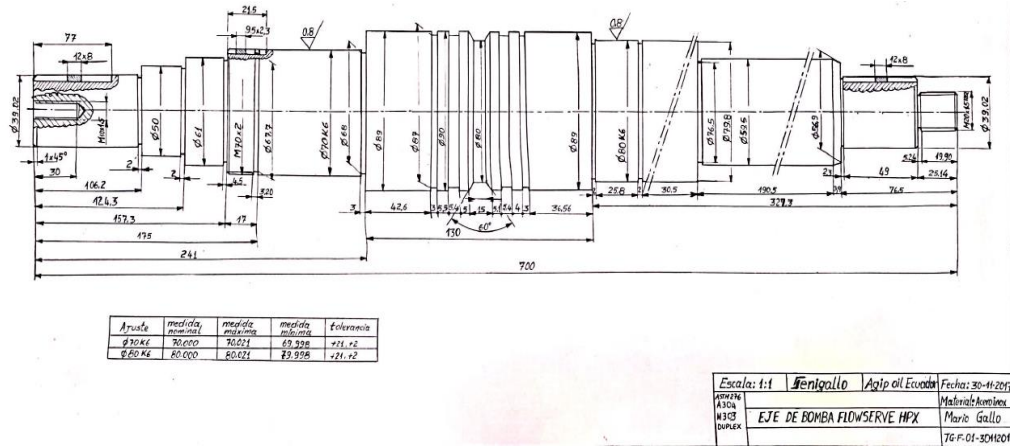
Preparación de la Máquina:

- Limpieza y Lubricación: Asegurar que el torno esté limpio y correctamente lubricado según el manual del fabricante.
- Verificación de Niveles: Comprobar los niveles de aceite y refrigerante.
- Calibración y Ajustes: Verificar la correcta calibración de la máquina y ajustar holguras si es necesario.
- Montaje del Plato/Sistema de Sujeción: Seleccionar y montar el sistema de sujeción adecuado al diseño y dimensiones del eje (tipo de plato, pinzas). Asegurar un montaje firme y centrado para evitar vibraciones y errores dimensionales.
- Montaje y Alineación del Contrapunto: Si es necesario, montar y alinear el contrapunto para soportar ejes largos, considerando la longitud del eje especificada en el diseño.

Selección y Montaje de Herramientas de Corte:

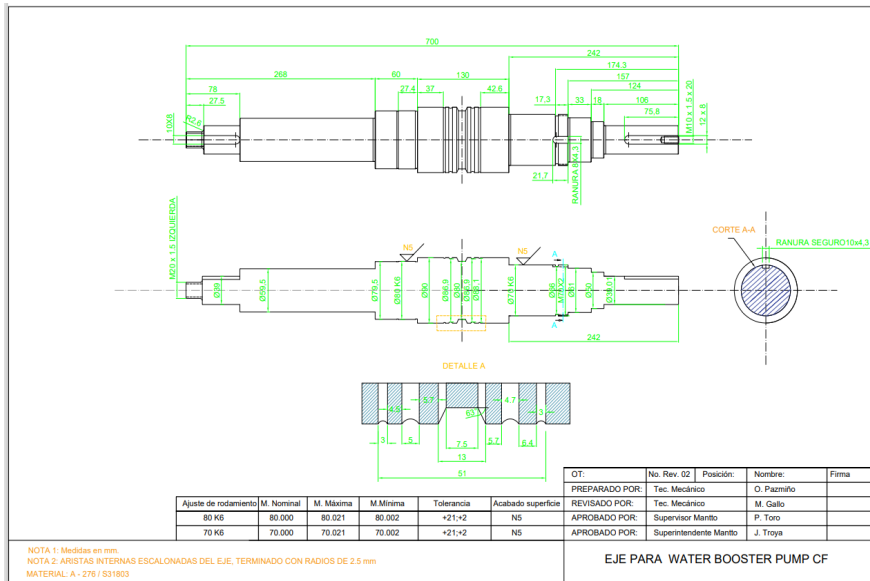
- Justificación basada en el Diseño y Dimensiones: Seleccionar el tipo de herramienta (desbaste, acabado, ranurado, roscado) y su geometría (ángulo de punta, radio de punta) en función de las dimensiones del eje y las características específicas (chaflanes, ranuras, roscas) definidas en el diseño.
- Justificación basada en los Parámetros de Corte: Elegir herramientas con insertos adecuados para el acero 304/M303, considerando las velocidades de corte y avances que se utilizarán.
- Montaje Seguro: Asegurar un montaje firme de la herramienta en el portaherramientas.
- Alineación de la Herramienta: Verificar que la herramienta esté correctamente alineada con el eje de la pieza.
- Inspección: Verifica que el material (acero 304/M303) esté libre de defectos y tenga las dimensiones correctas al plano de mecanizado.
- Calibración: Realizar un cilindrado con un eje similar en longitud la prueba y calibración simétrica entre puntos y con sujeción al mandril, comprobado con reloj, calibrador y micrómetro.
- Revisar niveles de lubricación: aceites en la caja principal, caja Norton y la bomba de refrigeración.
- Preparación de la herramienta de corte: cuchillas de forma geométricas a usar en material HSS y metal duro tanto para el desbaste como para el afinado. Adicional preparar herramientas extras como brocas, accesorios para el mecanizado.
- Implementación de las herramientas de medición, comparación y verificación: Calibrador, micrómetro, reloj comparador, galgas, termómetro, rugosímetro, etc.
- Corte: Cortar el material a la longitud deseada, dejando un margen de 5mm para el refrentado, en caso de adquirirlo en longitudes mayor al diseño.
- Refrentado: Se realiza una operación en ambos extremos del eje para obtener superficies planas y perpendiculares al eje.

3.5 Eje De Bomba Flowserve Hpx (Acero Inox 304/M303) PLANO DE DISEÑO DEL EJE FLOWSERVE HPX (INGENIERÍA INVERSA).



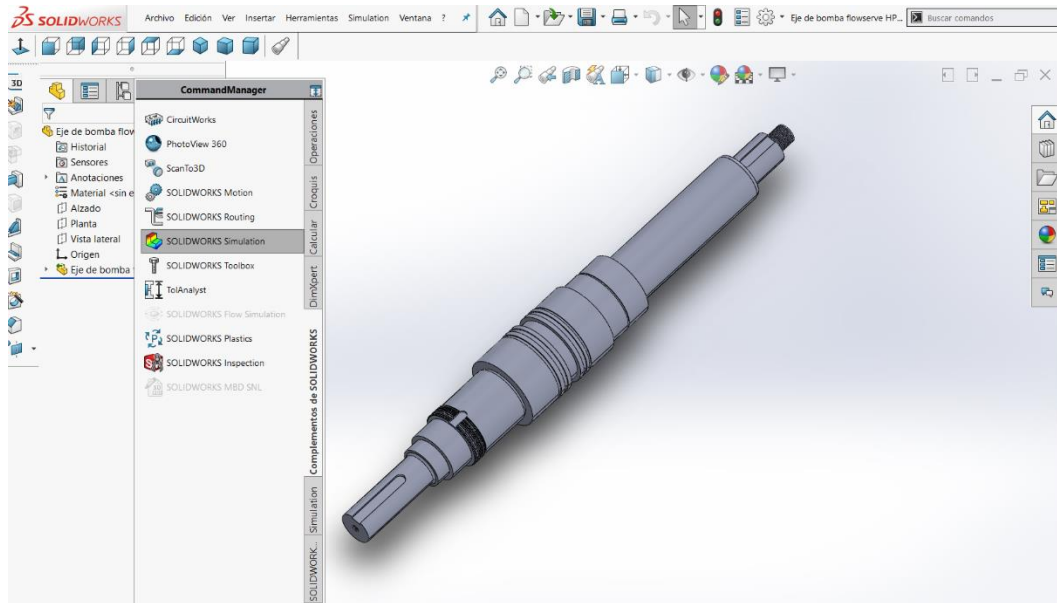
Fuente: taller TECNI-GALLO 2025.

PLANO DE DISEÑO DE EJE FLOWSERVE HPX EN AUTOCAD



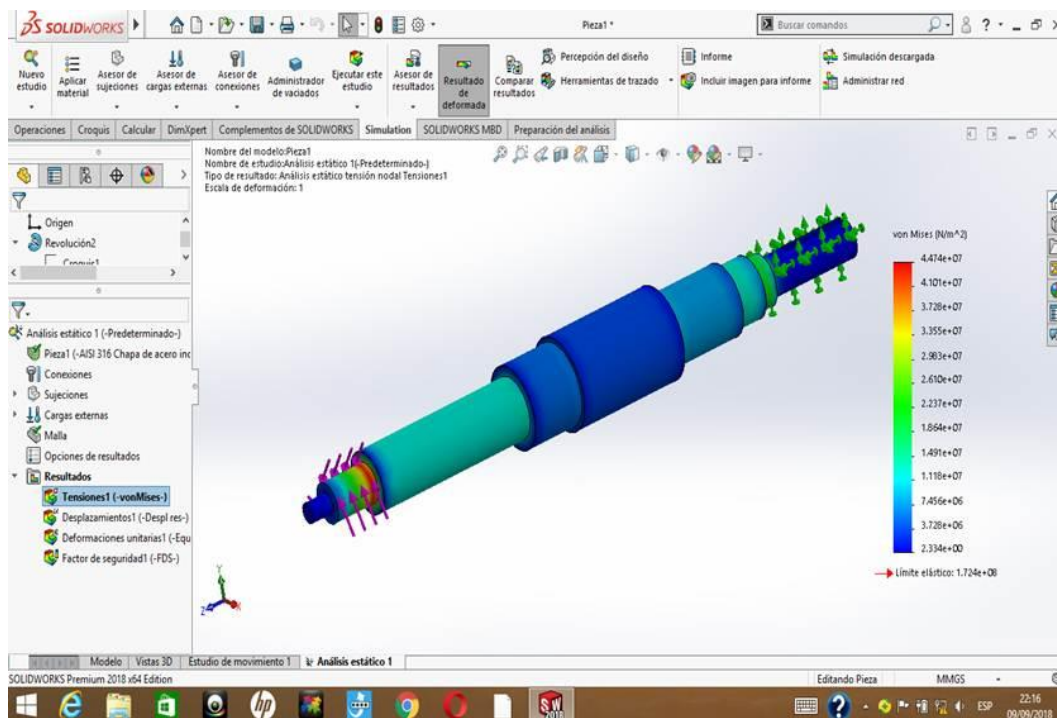
Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

DISEÑO DE EJE HPX EN SOLID WORKS.



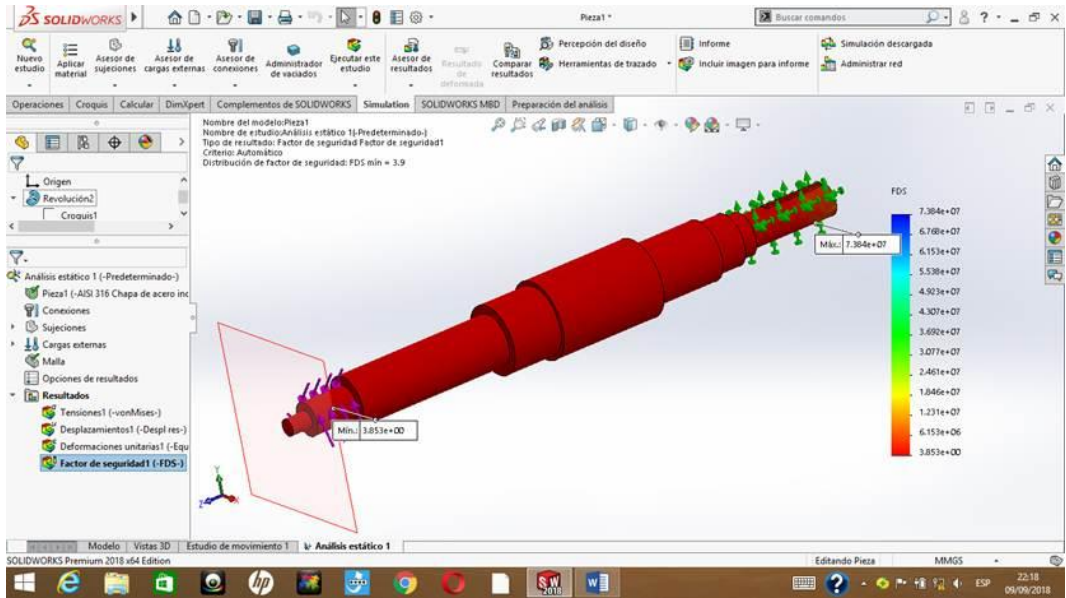
Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

PRUEBAS DE SIMULACIÓN DE ESFUERZOS EN PROGRAMA SOLID WORK



Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

PRUEBAS DE SIMULACIÓN DE ESFUERZOS



Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

Monitoreo de funcionamiento del equipo, las vibraciones en la caja de rodamientos se mantienen en: 0.12 in/sec. en sentido horizontal, y 0.13 in/sec. en sentido vertical, 0.08 in/sec. en sentido axial, presión descarga de la bomba: 21500 PSI, verificación de funcionamiento del sello mecánico, se monitorea nivel del seal pot, nivel se mantiene.

Vibraciones y temperaturas del equipo:

Motor Eléctrico

Lado Libre	Lado Coupling	Caja de rodamientos	Bomba
H = 0.04 in/sec.	H = 0.07 in/sec.	H = 0.12 in/sec.	H = 0.06 in/sec.
V = 0.03 in/sec.	V = 0.03 in/sec.	V = 0.13 in/sec.	V = 0.04 in/sec.
A = 0.08 in/sec.	A = 0.03 in/sec.	A = 0.09 in/sec.	A = 0.04 in/sec.
T°= 98 °F	T°= 123 °F	T°= 122 °F	T°= 114 °F

Presión de descarga de la bomba: 150 PSI

Nivel de aceite OK

Nivel del seal pot: OK.

Se adjunta en attached, informe técnico firmado. Trabajo terminado. Mario Gallo

INSPECCIÓN DE LA PLANTA DEL PROCESO PLUSPETROL.



Fuente: Empresa Pluspetrol 2025.

3.6 Recomendaciones bajo la norma ASTM 276.

Para garantizar la calidad y cumplimiento normativo en la fabricación de ejes de bomba Flowserve de inyección de agua, se recomienda seguir los lineamientos establecidos en la norma ASTM A276, que regula la producción de barras de acero inoxidable destinadas a procesos mecánicos y estructurales. A continuación, se presentan recomendaciones específicas alineadas con esta normativa:

Selección del material

- Utilizar acero inoxidable tipo 304/M303, según la clasificación química y mecánica establecida por la norma ASTM A276, asegurando el cumplimiento en cuanto a composición (contenido de C, Cr, Ni, Mn, S, etc.).
- Para aplicaciones que requieren mecanizado de alta precisión, se recomienda priorizar el tipo M303, que incorpora azufre controlado para mejorar la maquinabilidad, sin comprometer la resistencia a la corrosión.

Condición de suministro

- Adquirir el material en condición laminada en frío cuando se requiere mayor precisión dimensional y acabado superficial.
- Verificar que las barras cumplan con los requisitos de rectitud, redondez y ausencia de defectos superficiales visibles.

Dimensiones y tolerancias

- Asegurar que las barras cumplan con las tolerancias dimensionales según las tablas de la norma ASTM A276 para el diámetro nominal requerido por el diseño del eje.
- Realizar inspecciones dimensionales periódicas antes del mecanizado para prevenir errores en la fabricación.

Mecanizado

- Ajustar los parámetros de corte (velocidad, avance y profundidad) de acuerdo con la dureza y propiedades mecánicas del acero seleccionado, teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante de herramientas de corte.
- Usar refrigerantes adecuados para minimizar la generación de calor y evitar la alteración de las propiedades metalúrgicas.

Control de calidad

- Realizar ensayos destructivos y no destructivos según lo requiera el cliente o la aplicación (como pruebas de tracción, dureza o ensayos por ultrasonido) siguiendo los procedimientos referenciados en ASTM.
- Documentar los certificados de conformidad del material, que deben incluir el número de colada, análisis químico y propiedades mecánicas garantizadas.

Seguridad y trazabilidad

- Marcar las barras conforme a lo indicado por la norma, asegurando la trazabilidad del material durante todo el proceso de producción.
- Asegurar que el personal que manipula el material y realiza el mecanizado esté capacitado y utilice equipos de protección personal (EPP) adecuados, priorizando la seguridad en cada etapa.

4 variable: Parámetros De Corte.

4.1 Semiautomática (Torno)

Familiarizarse con los controles, antes de operar el torno, asegurase de conocer la función de cada control y cómo utilizarlos correctamente durante la operación:

- Tipos de Tornos Semiautomáticos: Identificación de las características específicas del torno a utilizar (tipo de control, capacidad, accesorios)

- Componentes Principales: Familiarización con el cabezal, contrapunto, carro portaherramientas, plato, luneta (si aplica), y sistemas de lubricación y refrigeración.
- Funcionamiento Básico: Entender el movimiento de los ejes (longitudinal y transversal), el cambio de velocidades y avances, y el sistema de sujeción de la pieza y la herramienta.
- Sistemas de Seguridad Integrados: Identificación y comprensión del funcionamiento de resguardos, paradas de emergencia y otros dispositivos de seguridad de la máquina.
- Asegurar firmemente la pieza de trabajo antes de comenzar el mecanizado.
- Mantener el área de trabajo limpia y ordenada, libre de virutas y otros residuos.
- Prestar atención a las señales de advertencia y sigue las normas de seguridad del taller.

4.2 Proceso Del Torneado

- Montaje: Montar el eje de acero 304/M303 en el mandril de la máquina, asegurándose de que esté centrado y bien sujeto, se debe tomar en cuenta que es un dispositivo de sujeción que gira la pieza de trabajo, siempre revisar el ajuste del montaje durante el proceso de mecanizado. Es crucial asegurarse de que el eje esté perfectamente centrado en el mandril para evitar vibraciones y garantizar la precisión del mecanizado.
- Herramientas: Para mecanizado de acero inoxidable por lo general se debe utilizar herramientas de corte de metal duro (carburo) adecuadas a formas y geometría. El uso de herramientas de corte de metal duro, también conocidas como herramientas de carburo, se debe a su alta dureza y resistencia al desgaste, lo que las hace ideales para mecanizar acero inoxidable. La elección de la herramienta adecuada dependerá del tipo de operación de torneado (desbaste o acabado) y de las dimensiones del eje.
- Velocidad y avance: Ajustar la velocidad de corte y el avance según las dimensiones de la operación que se encuentre recomendaciones del fabricante de la herramienta y las características del material (según hoja de trabajo).

La velocidad de corte se refiere a la velocidad a la que la herramienta de corte se mueve sobre la superficie de la pieza de trabajo.

El avance se refiere a la distancia que la herramienta de corte se desplaza a lo largo de la pieza de trabajo por cada revolución del mandril.

Estos parámetros se ajustan según las recomendaciones del fabricante de la herramienta y las características del material (acero 304/M303)

- Pasadas: Realizar las pasadas sucesivas para reducir el diámetro del eje hasta la medida deseada, dejando un margen para el acabado.
- El torneado generalmente se realiza en varias pasadas sucesivas, especialmente cuando se requiere reducir significativamente el diámetro del eje.

Cada pasada elimina una capa de material, acercando gradualmente el eje a las dimensiones deseada, dejando un margen para la pasada de acabado, que se realiza con parámetros de corte diferentes para obtener una superficie de alta calidad.




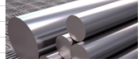
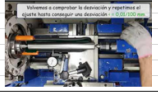
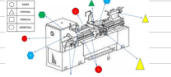
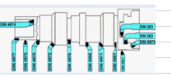



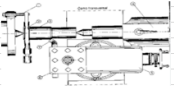
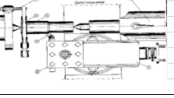
- Acabado: Realizar una pasada final con una velocidad de corte más alta y un avance más lento para obtener un buen acabado superficial (según hoja de trabajo).






La pasada final se realiza con una velocidad de corte más alta y un avance más lento en comparación con las pasadas anteriores.

Esto permite obtener un buen acabado superficial, reduciendo la rugosidad y mejorando la precisión dimensional del eje.

- Roscado: Reduce la velocidad de la máquina para el roscado, usando lubricante de corte, verificar la calidad de la rosca con un calibrador de roscas y comprobando el roscado con la tuerca muestra.

4.3 Hoja de proceso:

		EJE DE BOMBA FLOWSERVE HPX	PLUSPETROL	NOMBRE							
				Ing. Mario Gallo							
HOJA DEL PROCESO DE TRABAJO		EJE-FS-003-25	FECHA: 20/02/2025	HOJA N°-		EJE 003					
Op	Sub Fase	DESIGNACION	CROQUIS	ÚTILES de trabajo	EQUIPO de control	Nº. Pasada	V m/min	N r.p.m	A mm	P m m	Tpo. Horas
1	1.1	Selección de material acero inox 304 diámetro 102 mm x 706mm longitud medidas para el mecanizado.		Mesa de trabajo	Calibrador Flexómetro	0	0	0	0	0	0,1
2	2.1	Preparación de la máquina tomo, calibración de entre puntos, bancada y realizar un torneado de cilindrado con pruebas concéntrica hasta tener parámetros estandar		Cuchillas cilindrar HSS Eje de acero St37	Nivel Comparador reloj Micrómetro Calibrador	Varias	35	750	0.2	0.5	1
	2.2	Verificar niveles de lubricantes en la maquina lubricar los puntos de engrase		Engrasador manual Grasa sintética Aceite SAE 40	Visual	0	0	0	0	0	0,5
	2.3	Selección de herramienta para el mecanizado del eje de precisión.		Cuchillas cilindrar de metal duro Esmeril de banco	Galgas Plantillas	0	0	0	0	0	1
3	3.1	Operación de refrentado a 700mm de longitud y toma de centro en ambos extremos del eje		Cuchillas cilindrar de metal duro	Calibrador Flexómetro	6	42	630	0.4	1	0.5
	3.2	Cilindrado de desbaste un extremo según medidas de plano, desde el diámetro mayor al menor		Cuchillas cilindrar de metal duro Luneta movil	Calibrador	8	45	600	0.5	2	5
						7	42	630	0.5	2	4
						8	43	700	0.5	2	6
						4	41	800	0.5	1.5	6.5
	3.3	Cilindrado de desbaste otro extremo según medidas de plano, desde el diámetro mayor al menor		Cuchillas cilindrar de metal duro Luneta movil	Calibrador	10	45	600	0.5	2	8
						9	42	630	0.5	2	10
						7	42	750	0.5	2	7
						9	42	800	0.5	2	8.5
	3.4	Cilindrado de afinado un extremo según medidas de plano, desde el diámetro mayor al menor, entre punto con el accesorio de arrastre		Cuchillas cilindrar de metal duro, puntas radiales	Calibrador Micrómetro Comparador de reloj Termómetro	10	35	600	0.2	0.3	10
9						35	600	0.2	0.3	8	
7						30	600	0.2	0.3	7	
9						30	600	0.2	0.3	5	
3.5	Cilindrado de afinado del otro extremo según medidas de plano, desde el diámetro mayor al menor, entre punto con el accesorio de arrastre		Cuchillas cilindrar de metal duro, puntas radiales	Calibrador Micrómetro Comparador de reloj Termómetro	10	35	600	0.2	0.3	10	
					9	35	600	0.2	0.3	8	
					7	30	600	0.2	0.3	7	
					9	30	600	0.2	0.3	5	

4	4.1	Control de Calidad y Medidas		Mesa de Medición	Micrómetro Rugosímetro Comparador de reloj	0	0	0	0	0	1
5	5.1	Variación en alguna medida, regresa al reproceso, al torno o iniciar el proceso con nuevo acero.									
6	6.1	Fresado de chavetero según plano en los dos extremos		Fresa de vástago	Calibrador	5	30	600	0.2	0.5	1
7	7.1	Roscado interior manual M10 x 1.5 mm		Set de machuelos M10 x 1.5 mm		1	0	0	0		0.15
8	8.1	Embalaje final para entrega cliente		Caja de madera con soporte	Flexómetro	0	0	0	0		0.15
TOTAL											104.75

Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

4.4 Eje terminado EJE HPX DE ESTUDIO TERMINADO



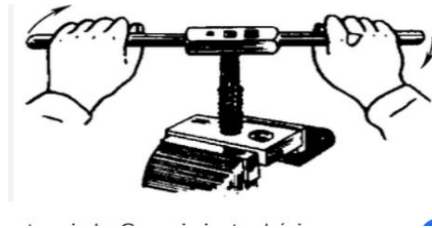
Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

4.5 Proceso De Roscado

- Herramienta: Utilizar un macho de roscar adecuado para el tipo de rosca deseada. (según hoja de trabajo M10 x 1,5 mm).
- Velocidad: Roscado manual.

- Lubricación: Aplica lubricante de corte para facilitar el roscado y mejorar el acabado.
- Verificación: Verifica la calidad de la rosca con un calibrador de roscas.

PROCESO DE ROSCADO MANUAL



Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

Cinco consideraciones Adicionales En Ejes De Precisión

- Refrigeración: Utilizar refrigerante de corte todo el tiempo para evitar el sobrecalentamiento de la herramienta y la pieza de trabajo, teniendo así menos variación en las medidas por dilatación térmica como también mejor calidad superficial, este acero inoxidable tiene una particularidad en el mecanizado seco de tomar mayor dureza por lo que disminuirá el filo de corte en la herramienta si no se cumple con una buena refrigeración.

SISTEMA DE REFRIGERACIÓN (TALADRINA).



Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

- Virutas: Retirar las virutas de forma segura usando un gancho manual y regular para evitar obstrucciones y accidentes.

GANCHO COLECTOR DE VIRUTA.



Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

- Medición: Verificar las dimensiones del eje con un calibrador o micrómetro después de cada pasada para asegurarte de que se está alcanzando la precisión deseada verificada con el plano.

MEDICIÓN CON MICRÓMETRO



Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

- Tolerancias: Definir claramente las tolerancias dimensiones y geométricas requeridas para el eje.
- Rugosidad superficial: Especificar la rugosidad superficial deseada y utilizar técnicas de acabado adecuadas para lograrla.

- Excentricidad: Minimizar la excentricidad del eje mediante un montaje y centrado precisos.
- Cilíndrico: El control de la redondez y la cilíndricidad del eje se efectúa mediante pasadas de acabado precisas, empleando herramientas de corte de.
- Tratamiento térmico: Considerar la posibilidad de realizar un tratamiento térmico para mejorar las propiedades mecánicas del eje, si lo es necesario.

6. Mantenimiento

- Limpieza: Como disciplina diaria limpiar la máquina y las herramientas después de cada uso.
- Lubricación: Lubricar las partes móviles de la máquina herramienta según las recomendaciones del fabricante, (bancada y carros).
- Afilado: Afilarse o reemplazar las herramientas de corte cuando sea necesario.

MANTENIMIENTO DE EQUIPO DE MECANIZADO.



Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

7. Normas aplicadas al mecanizado Industrial:

- API 610: (Instituto Americano del Petróleo) es un estándar técnico que establece los requisitos para el diseño, fabricación, y prueba de bombas centrífugas.

- API 682: que establece los requisitos para el diseño, prueba y selección de sellos mecánicos para bombas centrífugas y rotativas en todas las aplicaciones industriales y de proceso.
- ASTM A 276: Esta norma define a selección de un tipo de acero inoxidable con relación a sus propiedades mecánicas y químicas.
- ISO 9001: Esta norma establece los requisitos para un sistema de gestión de calidad. Aunque no especifica detalles técnicos del mecanizado, asegura que los procesos involucrados sean consistentes, documentados y orientados a la mejora continua.
- ISO 286: Sistemas de ajuste y tolerancias para dimensiones lineales. Permite seleccionar y especificar ajustes adecuados para piezas acopladas como ejes y cojinetes.

8. Variables del mecanizado

VARIABLES DE MECANIZADO EJE	DISEÑO Y DIMENSIONES DEL EJE	PARÁMETROS DE CORTE
Equipo de Protección personal	Importante por el uso de equipos y herramientas del taller metalmecánico	Muy útil en la operación de mecanizado usar el equipo de protección personal ya que la operación es con equipo rotativo.
Conocimiento de la Máquina Herramienta	Está ligado a la seguridad porque es necesario parar y medir el control dimensional.	Operar un equipo rotativo implica conocer el funcionamiento del equipo, palancas, botones para poder controlar
Preparación de la Máquina y Material	Siempre está ligado en un taller metalmecánica requiere medir las dimensiones de operaciones del eje.	Aplicar la norma ASTM 276, para mecanizar el acero inoxidable 304/M303
Proceso del Torneado	Cumplir con las normas API 610, dimensiones del eje para bomba flowserve HPX.	Selección de parámetros de corte en el proceso de mecanizado
Proceso de Roscado manual	Dimensiones de rosca M10	
Consideraciones adicionales	Refrigeración para mantener las dimensiones de diseño.	

Mantenimiento del Equipo		Realizar mantenimiento preventivo del equipo para tener los mandos correcto en el proceso de mecanizado.
--------------------------	--	--

Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

9. BOMBA FLOWSERVE HPX

DATA SHEET

Documento técnico que resume las características clave, especificaciones, propiedades y recomendaciones de uso de un producto, componente, material o equipo. Es ampliamente utilizado en ingeniería, manufactura, electrónica, mecánica, química, y otras disciplinas técnicas, los cuales contiene;

Descripción general del producto.

- Especificaciones técnicas
- Dimensiones físicas
- Propiedades mecánicas (resistencia, dureza, etc.)
- Propiedades químicas (composición, resistencia a la corrosión)
- Tolerancias y límites aceptables
- Condiciones de operación (temperatura, presión, etc.)

Normas aplicables

- ASTM A276
- Instrucciones de uso o recomendaciones técnicas
- Parámetros de mecanizado, montaje, almacenamiento, etc.
- Precauciones de seguridad
- Riesgos, manejo adecuado, EPP (equipo de protección personal), etc.
- Gráficos, tablas o diagramas
- Que ayuden a interpretar datos técnicos o mostrar comparaciones.

HOJA DE DATA SHEET DE EJE HPX



Hoja de datos

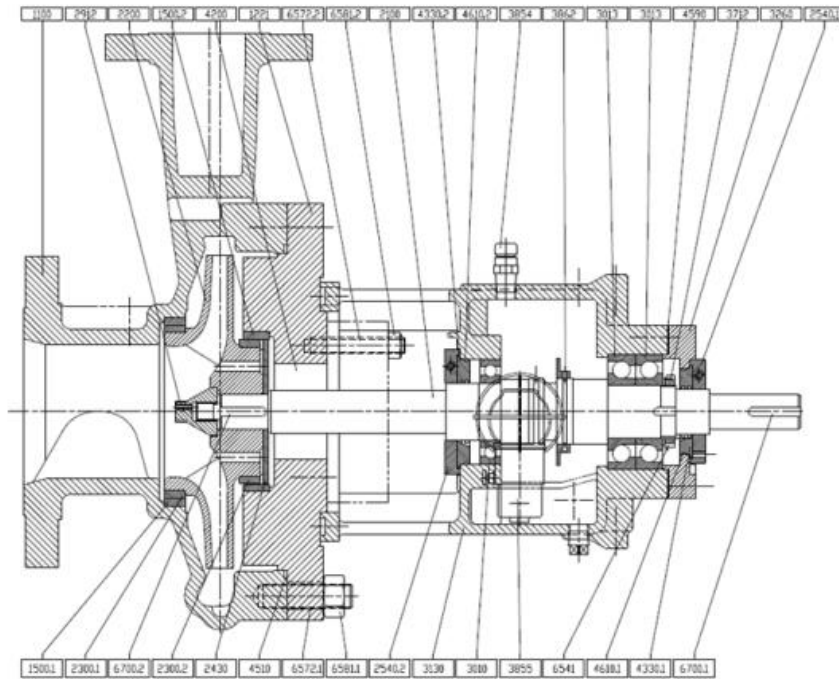
Cliente : AGIP Oil Ecuador Referencia del Cliente : EQ-104967 Item No. : CF16-PUI-002/A/B/C_rerate Servicio : Booster					Pump / Stages : 3HPX13A / 1 Curva No. : 3HPX13A-1-2 Ref. IDP : 4063-60053 Fecha : marzo 4, 2008				
Construction					Driver Information				
Nozzles	Size	Rating	Face	Pos'n	Manufacturer	:-			
Suction	6 inch	ANSI 300#	RF	End	Power	: 150 hp / 112 kW			
Discharge	3 inch	ANSI 300#	RF	Top	Service factor (req'st / act)	: 1.15 / 1.15			
Casing mounting : Center-line					Speed	: 3600 rpm			
Casing split : Radial					Orientation / Mounting	: Horizontal / Foot			
Impeller type : Closed 5 vanes					Driver Type	: NEMA MOTOR			
Bearing Type (Rad/Thr) : Ball / Ball					Frame-size / material	: 444TS / -			
Bearing lubrication : Flinger					Enclosure	: Severe Dty			
Rotation (view from cplg) : CCW per Hyd. Institute					Hazardous area class	:-			
Materials					Explosion 'T' rating	:-			
Casing	: Duplex				Volts / Phase / Hz	: 230/460 / 3 / 60			
Impeller	: A890 Gr.3A				Amps-full load/locked rotor	:- / -			
Case wear ring	:-				Motor starting	: Direct on line (DOL)			
Impeller wear ring	:-				Insulation	: F			
Inducer	: N/A				Temperature rise	: 80 °C			
Shaft	: Duplex SS				Motor mounted by	: FPD			
Sleeve	: See Mechanical Seal				Seal, Gland and Piping				
Baseplate, Coupling and Guard					Arrangement	: Single			
Baseplate type	: Grouted Drain Pan				Size	: 59.5 mm			
Baseplate material	: Fabricated Steel				Manufacturer / Type	: Non std. / Sngl.Push.			
Coupling manufacturer	:-				Material code (Man/API)	:- / -			
Coupling size	: AG 275-6				Internal neck bushing	:-			
Coupling / Shaft guard	: Aluminium				Gland material	:-			
Weights (Approx.)					Flush	: 3/4 inch NPT			
Bareshaft pump(net)	: 573.2 lb				Vent	: None			
Baseplate(net)	: 793.7 lb				Drain	: 1/2 inch NPT			
Driver(net)	:-				Auxiliary sealing device	:-			
Shipping gross weight/vol.	: 2645.5 lb / 0.00 cu.ft				Seal flush plan	: Plan 11			
					Seal flush material	: Stainless steel			
					Aux seal flush plan	: None			
					Aux seal flush material	:-			

4x4 Suction Nozzle Size: 6" ANSI 300 RF
 Discharge Nozzle Size: 3" ANSI 300 RF

Todas las dimensiones en pulgadas excepto cuando se indique lo contrario

Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

DETALLES DE PARTES



Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

Tabla de observaciones del porque ocurre las fallas con demostraciones de imagen con recomendación del por qué no se debe usar.

FALLAS DE ROTURAS EN EJE HPX





Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

10. Inventario De Proceso 13-noviembre-2017

Desmontaje de la bomba del skid por presentar variación en las vibraciones de la bomba de 0.10 hasta 0.14 in/sec., traslado al taller de mantenimiento, desarmado de la bomba, se realiza medición preliminar de holguras del eje e impulsor, observándose que las holguras del eje con respecto al impulsor están fuera de tolerancia, 1,5 milésimas de pulgada (0,0015"), se desmontan los rodamientos y partes del eje. Pendiente instalar rodamientos en otro eje que se está reparando.

7. Recomendaciones específicas para acero 304/M303

- El acero 304/M303 es un acero inoxidable austenítico con buena maquinabilidad, pero tiende a generar virutas largas y tenaces.
- Utilizar herramientas de corte con ángulos adecuados para romper virutas de menor longitud para facilitar la evacuación de virutas.
- El acero 304/M303 tiende a endurecerse por trabajo, por lo que se recomienda utilizar velocidades de corte moderadas y avances constantes.



8. Recomendaciones generales de las variables

- Dimensiones importantes rechazo, económico, cliente
- Tabla de Ventajas y desventajas dimensiones y tolerancias
- Resaltar el programa de diseño para el mecanizado
- El cuidado en el embalaje y transporte del eje terminado

9. Conclusiones

El control riguroso de las variables críticas en el proceso de mecanizado de ejes de bomba Flowserve específicamente el diseño y las dimensiones del eje, así como los parámetros de corte resulta fundamental para garantizar la precisión, calidad y eficiencia de la producción en entornos industriales con maquinaria semiautomática, como es el caso de la empresa TECNI-GALLO. La implementación de una guía práctica orientada al mecanizado de acero inoxidable 304/M303, basada en las recomendaciones de la norma ASTM A276, permite estandarizar procedimientos, reducir errores, y mejorar significativamente los resultados del proceso.

El enfoque técnico adoptado en este estudio no solo proporciona una ruta clara para la mejora continua en la fabricación de componentes críticos, sino que también contribuye a fortalecer la seguridad operativa y la trazabilidad del material. Al establecer condiciones óptimas de corte y aplicar controles dimensionales antes y después del mecanizado, es posible alcanzar una reducción de al menos un 15% en desviaciones dimensionales, cumpliendo con los objetivos propuestos.

En definitiva, la integración de buenas prácticas de mecanizado, criterios normativos internacionales y análisis estadístico de variables, permite no solo optimizar el rendimiento del proceso, sino también elevar los estándares de calidad del producto final, aportando valor tanto a la empresa como al cliente final.

IMAGEN DE EJE EN EL CONTROL DE CALIDAD



Fuente: Taller TECNI-GALLO 2025.

El **Anexo X**, detalla dos cursos de capacitación esenciales para los técnicos operadores de torno de **Tecni-Gallo**, impartidos por el Ing. Mario Gallo. El **Curso 1**, "Interpretación y Aplicación de la Hoja de Proceso para el Mecanizado del Eje de Bomba Flowserve AHPX", de 6 horas, busca optimizar la eficiencia, calidad y seguridad en la fabricación del eje, cubriendo desde la comprensión de la hoja de proceso hasta la aplicación de parámetros de corte y normas de seguridad. El **Curso 2**, "Curso de Actualización Práctico de Metrología", de 8 horas, se centra en reforzar conocimientos, actualizar técnicas de medición, mejorar la precisión en ejes, identificar y corregir errores, e incluye un examen práctico final. Ambos cursos, con enfoque teórico-práctico y dirigidos a Ufredo, Robinson, Fredy y Xavier Gallo, subrayan el compromiso de Tecni-Gallo con la mejora continua de las habilidades técnicas de su personal para garantizar la calidad y precisión en el mecanizado de componentes críticos.

ANEXO X: *Capacitación Al Personal*

CURSO 1

Título del Curso: Interpretación y Aplicación de la Hoja de Proceso para el Mecanizado del Eje de Bomba Flowserve AHPX

Fecha: 22 de marzo de 2025 a las 8 am

Lugar: Taller TECNIGALLO

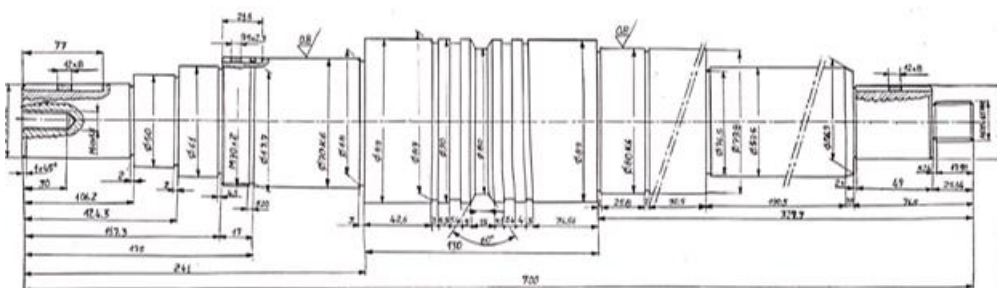
Instructor: Ing. Mario Gallo

Dirigido a: Técnicos Operadores de Torno: Ufredo Gallo, Robinson Gallo, Fredy Avilés, Xavier Gallo

Hoja De Proceso

Op		Sub Fase	DESIGNACIÓN	CROQUIS	ÚTILES de trabajo	EQUIPO de control	Nº Pasada	V m/min	N r.p.m	A mm	P mm	Tpo. Horas
1	1.1		Selección de material acero inox 304 diámetro 102 mm x 706mm longitud medidas para el mecanizado.		Mesa de trabajo	Calibrador Flexómetro	0	0	0	0	0	0.1
2	2.1		Preparación de la máquina torno, calibración de entre puntos, bancada y realizar un torneado de cilindrado y realizar un torneado de cilindrado con pruebas concéntrica hasta tener parámetros estándar.		Cuchillas cilindrar HS Eje de acero Si37	Nivel Comparador reloj Micrómetro Calibrador	Varias	35	750	0.2	0.5	1
	2.2		Verificar niveles de lubricantes en la máquina lubricar los puntos de engrase		Engrasador manual Grasa sintética Aceite SAE 40	Visual	0	0	0	0	0	0.5
	2.3		Selección de herramienta para el mecanizado del eje de precisión.		Cuchillas cilindrar de metal duro Esmeril de banco	Gaigas Plantillas	0	0	0	0	0	1
3	3.1		Operación de retentado a 700mm de									

Eje de Bomba Flowserve AHPX



Duración: 6 horas

Objetivo General del Curso:

Al finalizar este curso, los participantes serán capaces de interpretar y aplicar correctamente la hoja de proceso de mecanizado específica para el eje de bomba Flowserve AHPX, optimizando la eficiencia, la calidad y la seguridad en el proceso de fabricación.

Objetivos Específicos Del Curso:

- Comprender la importancia y el propósito de la hoja de proceso en el mecanizado de precisión.
- Identificar y comprender cada sección y elemento de la hoja de proceso del eje Flowserve AHPX.
- Interpretar correctamente las dimensiones, tolerancias y acabados superficiales especificados en la hoja de proceso.
- Aplicar los parámetros de corte recomendados (velocidad de corte, avance, profundidad de corte) según la hoja de proceso y el material del eje.

- Seleccionar y utilizar las herramientas de corte adecuadas según las indicaciones de la hoja de proceso.
- Comprender la importancia de los ajustes y las secuencias de mecanizado especificadas.
- Identificar los puntos críticos de control de calidad durante el proceso de mecanizado del eje AHPX.
- Aplicar las normas de seguridad relevantes durante el proceso de mecanizado.

Metodología del Curso:

El curso se combinó teoría y práctica para asegurar una comprensión completa y la aplicación efectiva de los conocimientos.

- **Presentaciones Teóricas:** Explicación de los conceptos fundamentales y la estructura de la hoja de proceso.
- **Análisis Detallado de la Hoja de Proceso AHPX:** Revisión exhaustiva de cada sección y elemento específico de la hoja de proceso del eje Flowserve AHPX.
- **Ejercicios Prácticos:** Interpretación de secciones específicas de la hoja de proceso y discusión en grupo sobre su aplicación.
- **Estudio de Caso:** Análisis de situaciones reales o simuladas relacionadas con la interpretación y aplicación de la hoja de proceso.
- **Demostración Práctica (Opcional):** Si es posible, una breve demostración en un torno sobre la aplicación de los parámetros de la hoja de proceso.
- **Discusión y Puesta en Común:** Espacio para preguntas, respuestas y compartir experiencias entre los participantes.

Contenido Detallado del Curso (6 horas):

Módulo	Tema	Duración (Aprox.)	Actividades
Módulo 1: Introducción a la Hoja de Proceso (1 hora)	1.1 Importancia y propósito de la hoja de proceso en el mecanizado. 1.2 Beneficios de una correcta interpretación y aplicación. 1.3 Normativa relevante (ISO, etc.). 1.4 Introducción al eje de bomba Flowserve AHPX y su importancia.	1 hora	Presentación teórica, discusión grupal sobre la experiencia de los participantes con hojas de proceso.

Módulo 2: Desglosando la Hoja de Proceso del Eje AHPX (2 horas)	<p>2.1 Estructura general de la hoja de proceso del eje AHPX.</p> <p>2.2 Identificación y significado de cada sección (datos generales, material, operaciones, herramientas, parámetros de corte, tolerancias, etc.).</p> <p>2.3 Simbología y abreviaturas comunes.</p> <p>2.4 Interpretación de las vistas y detalles del plano técnico asociado.</p>	<p>2 horas</p>	<p>Presentación detallada, análisis guiado de la hoja de proceso AHPX (sección por sección), ejercicios de identificación de elementos.</p>
Módulo 3: Parámetros de Corte y Herramientas (1.5 horas)	<p>3.1 Interpretación de los parámetros de corte especificados (velocidad de corte, avance, profundidad de corte).</p> <p>3.2 Relación entre parámetros de corte, material del eje y herramienta.</p> <p>3.3 Selección y codificación de las herramientas de corte según la hoja de proceso.</p> <p>3.4 Consideraciones sobre refrigeración y lubricación.</p>	<p>1.5 horas</p>	<p>Presentación teórica, ejercicios prácticos de cálculo e interpretación de parámetros, discusión sobre la selección de herramientas.</p>
Módulo 4: Ajustes, Secuencia de Mecanizado y Control de Calidad (1 hora)	<p>4.1 Comprensión de los ajustes y tolerancias (H7/k6 como ejemplo, si aplica).</p> <p>4.2 Importancia de la secuencia de mecanizado especificada.</p> <p>4.3 Identificación de los puntos críticos de control dimensional y de acabado superficial.</p> <p>4.4 Uso de instrumentos de medición (calibrador, micrómetro, comparador) para verificar dimensiones.</p>	<p>1 hora</p>	<p>Presentación teórica, estudio de caso sobre la importancia de la secuencia, discusión sobre los puntos de control de calidad y el uso de instrumentos de medición.</p>
Módulo 5: Seguridad y Mejores	<p>5.1 Normas de seguridad específicas para el mecanizado de ejes.</p>	<p>0.5 horas</p>	<p>Presentación sobre seguridad, discusión</p>

Prácticas (0.5 horas)	5.2 Uso correcto de equipos de protección personal (EPP). 5.3 Mejores prácticas para optimizar el proceso y reducir errores. 5.4 Mantenimiento básico del torno relacionado con la hoja de proceso.		sobre mejores prácticas y mantenimiento básico.
------------------------------	---	--	---

Recursos Necesarios:

- Proyector y pantalla.
- Pizarra o portafolio.
- Copias de la hoja de proceso del eje de bomba Flowserve AHPX (una por participante).
- Muestras de ejes o componentes similares (opcional).
- Herramientas de medición (calibrador, micrómetro, comparador) para demostración (opcional).
- Equipos de protección personal (EPP) para demostración (opcional).
- Material de escritura para los participantes.

Evaluación del Curso:

La evaluación será principalmente formativa, basada en la participación activa de los operadores durante las discusiones y la resolución de ejercicios. Se puede considerar una breve evaluación práctica al final del curso para verificar la comprensión de la hoja de proceso.

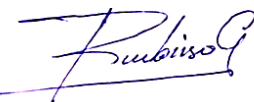
Plan de Implementación:

1. **Preparación del Material:** Reunir y organizar todos los recursos necesarios, incluyendo copias de la hoja de proceso.

Este plan de curso proporciona una estructura sólida para capacitar a tus operadores en la correcta interpretación y aplicación de la hoja de proceso del eje de bomba Flowserve AHPX.

Registro de asistencia

Ufredo Gallo 

Robinson Gallo 

Fredy Avilés 

Xavier Gallo 

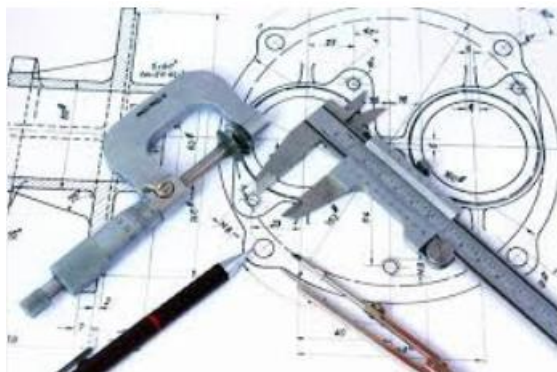


Instructor.

Ing. Mario Gallo

CURSO 2

Título del Curso: Curso de Actualización Práctico de Metrología



Fecha: 5 de marzo de 2025

Duración: 8 horas

Lugar: Taller TECNIGALLO

Participantes: 4 operadores técnicos de torno de la empresa TECNIGALLO

Instructor: (Ing. Mario Gallo)

Objetivos Del Curso

1. Reforzar los conocimientos sobre los principios de metrología aplicados al mecanizado de ejes.
2. Actualizar los participantes sobre las herramientas y técnicas de medición más recientes.
3. Mejorar la precisión y la calidad en el proceso de medición de ejes.
4. Enseñar a identificar errores comunes en las mediciones y cómo corregirlos.
5. Realizar ejercicios prácticos en torno a la medición de ejes y piezas mecanizadas.

Agenda del Curso

Módulo 1: Introducción a la Metrología y Principios Básicos (1 hora)

- **Objetivos:**
 - Revisión de los principios fundamentales de la metrología (exactitud, precisión, incertidumbre de medición).
 - La importancia de la metrología en el mecanizado de ejes.
- **Contenido:**
 - Definiciones clave (medición, tolerancia, calibración).
 - Tipos de instrumentos de medición en mecanizado.
 - Impacto de la metrología en la calidad del producto final.
- **Actividad:**
 - Preguntas y respuestas, resolución de dudas sobre los conceptos teóricos.

Módulo 2: Instrumentos de Medición y su Uso Correcto (2 horas)

- **Objetivos:**
 - Familiarizar a los participantes con los principales instrumentos de medición utilizados en el mecanizado de ejes.

- Asegurar el uso adecuado de micrómetros, calibradores, comparadores, y otros dispositivos de medición.
- **Contenido:**
 - Tipos de micrómetros (interiores, exteriores, profundidades, etc.).
 - Calibradores digitales y analógicos.
 - Indicadores de dial, comparadores y su uso en ejes.
 - Errores comunes al utilizar estos instrumentos y cómo evitarlos.
- **Actividad:**
 - Ejercicios prácticos en parejas con los instrumentos de medición.
 - Análisis de tolerancias y verificación de piezas previamente mecanizadas.

Módulo 3: Técnicas de Medición en Mecanizado de Ejes (2 horas)

- **Objetivos:**
 - Capacitar a los participantes en técnicas específicas para medir ejes de manera precisa.
 - Reconocer y corregir posibles desajustes durante el proceso de medición.
- **Contenido:**
 - Cómo medir diámetros exteriores e interiores de un eje.
 - Medición de longitudes y profundidades.
 - Evaluación de formas y acabados superficiales.
 - Verificación de la concentricidad y el alineamiento de los ejes.
- **Actividad:**
 - Prácticas de medición en piezas reales, con supervisión.
 - Discusión de posibles errores y su corrección durante el proceso.

Módulo 4: Control de Calidad y Procedimientos de Calibración (1.5 horas)

- **Objetivos:**
 - Explicar cómo realizar el control de calidad de las mediciones.
 - Capacitar en la calibración de los instrumentos de medición.
- **Contenido:**
 - Procedimientos estándar de calibración de equipos de medición.
 - Tolerancias y su interpretación en el contexto de los ejes.
 - Gestión de la incertidumbre en los procesos de medición.
 - Métodos de control de calidad en la producción de ejes.
- **Actividad:**
 - Simulación de procesos de calibración.
 - Ejercicios de medición bajo condiciones controladas.

Módulo 5: Resolución de Casos Prácticos y Preguntas (1.5 horas)

- **Objetivos:**
 - Aplicar los conocimientos adquiridos en situaciones reales.
 - Responder dudas finales y asegurar la comprensión completa de los temas tratados.
- **Contenido:**
 - Casos prácticos relacionados con medición de ejes (análisis de piezas defectuosas, ajustes de tolerancia, etc.).
 - Resolución de problemas comunes en la medición de piezas.
 - Revisión de conceptos clave a lo largo del curso.
- **Actividad:**
 - Resolución de problemas prácticos, con discusión de las mejores prácticas.
 - Feedback directo a cada uno de los participantes sobre sus resultados.

Módulo 6: Evaluación Final y Conclusiones (30 minutos)

- **Objetivos:**
 - Evaluar los conocimientos adquiridos durante el curso.
 - Dar retroalimentación a los participantes y recomendaciones para el futuro.
- **Contenido:**
 - Examen práctico (medición de ejes con instrumentos).
 - Retroalimentación del instructor a cada participante sobre su desempeño.
 - Conclusiones y recomendaciones finales.
- **Actividad:**
 - Examen práctico y cuestionario de evaluación.

Materiales Necesarios

- Micrómetros (interiores y exteriores).
- Calibradores digitales y analógicos.
- Comparadores y equipos de medición especializados.
- Piezas de ejes a medir (de diferentes tipos y tolerancias).
- Hojas de ejercicios y formatos de medición.
- Pizarra o proyector para presentaciones.

Preparación Previa: Se prepara los instrumentos calibrados y listos para las prácticas, así como las piezas que se usarán en los ejercicios prácticos.

Enfoque Práctico didáctico: Como ex docente técnico y técnico petrolero de experiencia; debido al perfil de los participantes, se preparó una alta dosis de

prácticas directas con los instrumentos. Los operadores deben sentir que han adquirido nuevas habilidades que podrán implementar de inmediato.

Registro de asistencia

Ufredo Gallo	
Robinson Gallo	
Fredy Avilés	
Xavier Gallo	

CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN FINAL

Parte I: Conceptos Teóricos (30 minutos)

1. **Definición de Metrología:**
 - ¿Qué es la metrología y cuál es su importancia en el mecanizado de precisión?
 - Explica la diferencia entre precisión y exactitud en las mediciones.
2. **Instrumentos de Medición:**
 - Enumera y describe brevemente al menos 5 instrumentos de medición utilizados en el mecanizado de ejes.
 - ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de utilizar un micrómetro en comparación con un calibrador vernier?
3. **Tolerancias y Ajustes:**
 - ¿Qué son las tolerancias dimensionales y por qué son importantes en el mecanizado de ejes?
 - Explica los diferentes tipos de ajustes (holgado, ajustado, indeterminado) y proporciona ejemplos de su aplicación en el mecanizado de ejes.
 - ¿Cómo se relacionan las tolerancias y los ajustes en el proceso de mecanizado del Eje de Bomba Flowserve AHPX?
4. **Errores de Medición:**
 - Identifica y describe al menos 3 fuentes comunes de errores en las mediciones.
 - ¿Cómo se pueden minimizar o corregir estos errores?
5. **Normativa y Estándares:**
 - ¿Cuáles son algunas de las normas y estándares relevantes para la metrología en el mecanizado de ejes?
 - ¿Por qué es importante seguir estas normas y estándares?

Parte II: Aplicación Práctica (60 minutos)

- **Medición de Ejes:**
 - Realiza mediciones de un eje de muestra utilizando los instrumentos proporcionados (micrómetro, calibrador vernier, comparador de cuadrante, etc.).
 - Registra tus mediciones y calcula las tolerancias y ajustes necesarios.
 - Identifica posibles errores en tus mediciones y explica cómo los corregirías.
- **Selección de Ajustes:**

- Dado un conjunto de especificaciones para el Eje de Bomba Flowserve AHPX, selecciona los ajustes adecuados para diferentes partes del eje.
- Justifica tus selecciones basándote en los requisitos de funcionamiento y las tolerancias especificadas.

Parte III: Preguntas Específicas del Eje Flowserve AHPX (30 minutos)

1. ¿Qué tolerancias específicas son críticas para el correcto funcionamiento del Eje de Bomba Flowserve AHPX?
2. ¿Qué tipos de ajustes son comunes en el mecanizado de este eje y por qué?
3. ¿Cómo afectan las tolerancias y ajustes a la vida útil y el rendimiento del eje?

Criterios de Evaluación:

- Precisión y exactitud en las mediciones.
- Comprensión de los conceptos teóricos.
- Capacidad para aplicar los conocimientos en situaciones prácticas.
- Identificación y corrección de errores de medición.
- Selección adecuada de ajustes y justificación de las decisiones.
- Conocimiento específico sobre el Eje de Bomba Flowserve AHPX.

Retroalimentación y Conclusiones:

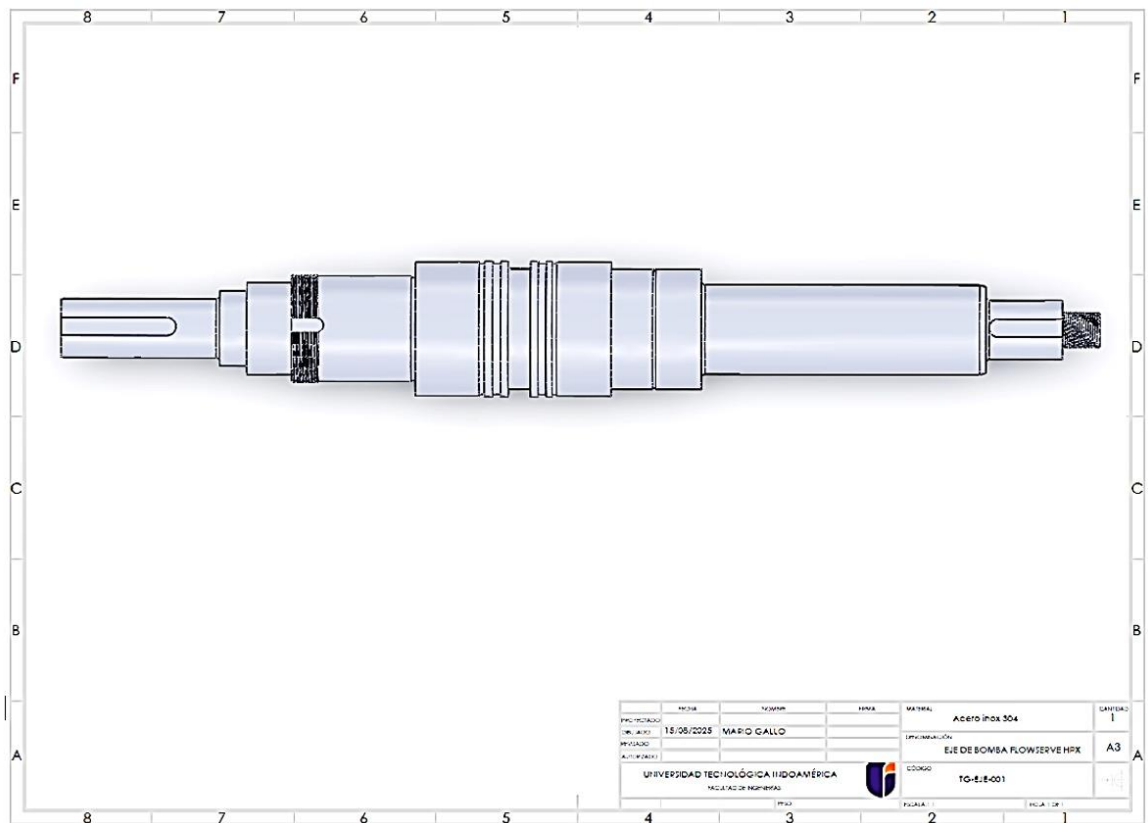
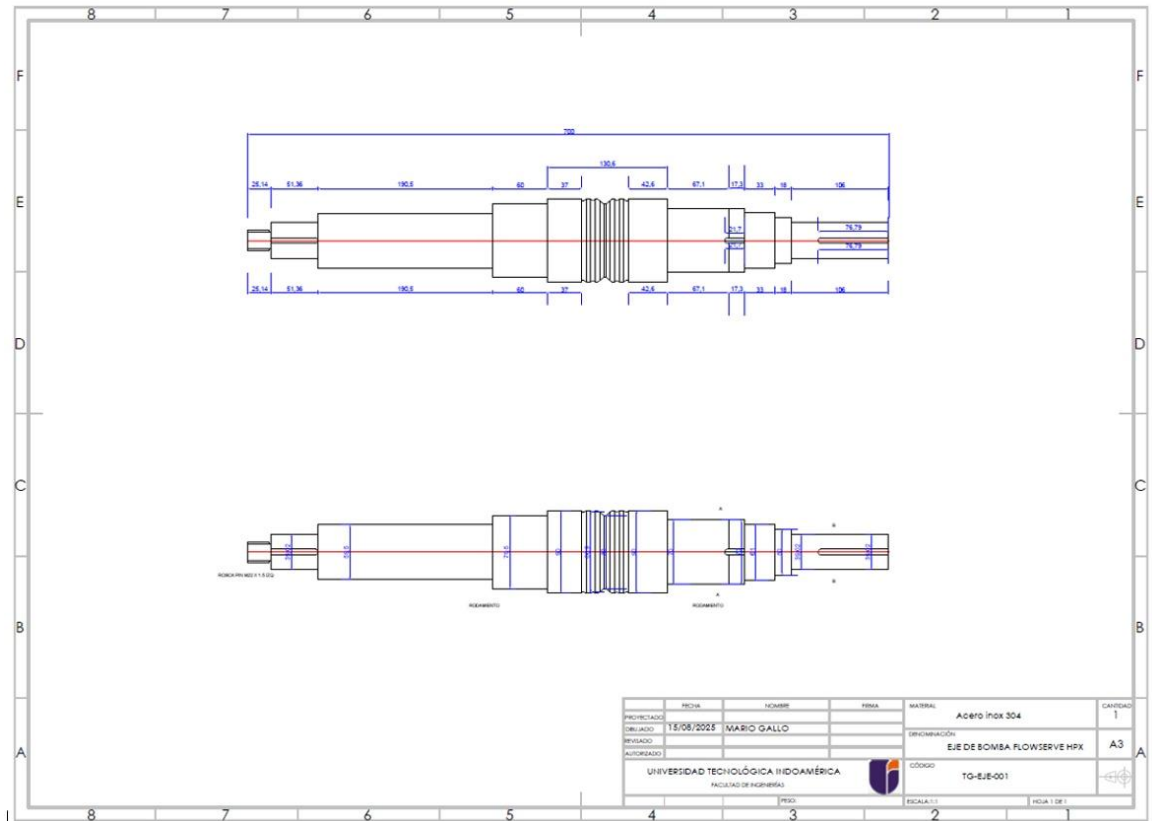
- El instructor revisará las respuestas y mediciones de cada participante.
- Se proporcionará retroalimentación individualizada sobre el desempeño de cada participante.
- Se discutirán las conclusiones principales del curso y se ofrecerán recomendaciones para el futuro.



Instructor.

Ing. Mario Gallo

ANEXO XI: PLANOS DIGITALIZADOS SOLIDWORDS.



ANEXO XII: INFORME DE ANÁLISIS DE SIMULACIÓN DE ESFUERZO PREVIO.

Simulación de Eje de bomba flowserve HPX

Fecha: jueves, 10 de enero de 2025

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 1

Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

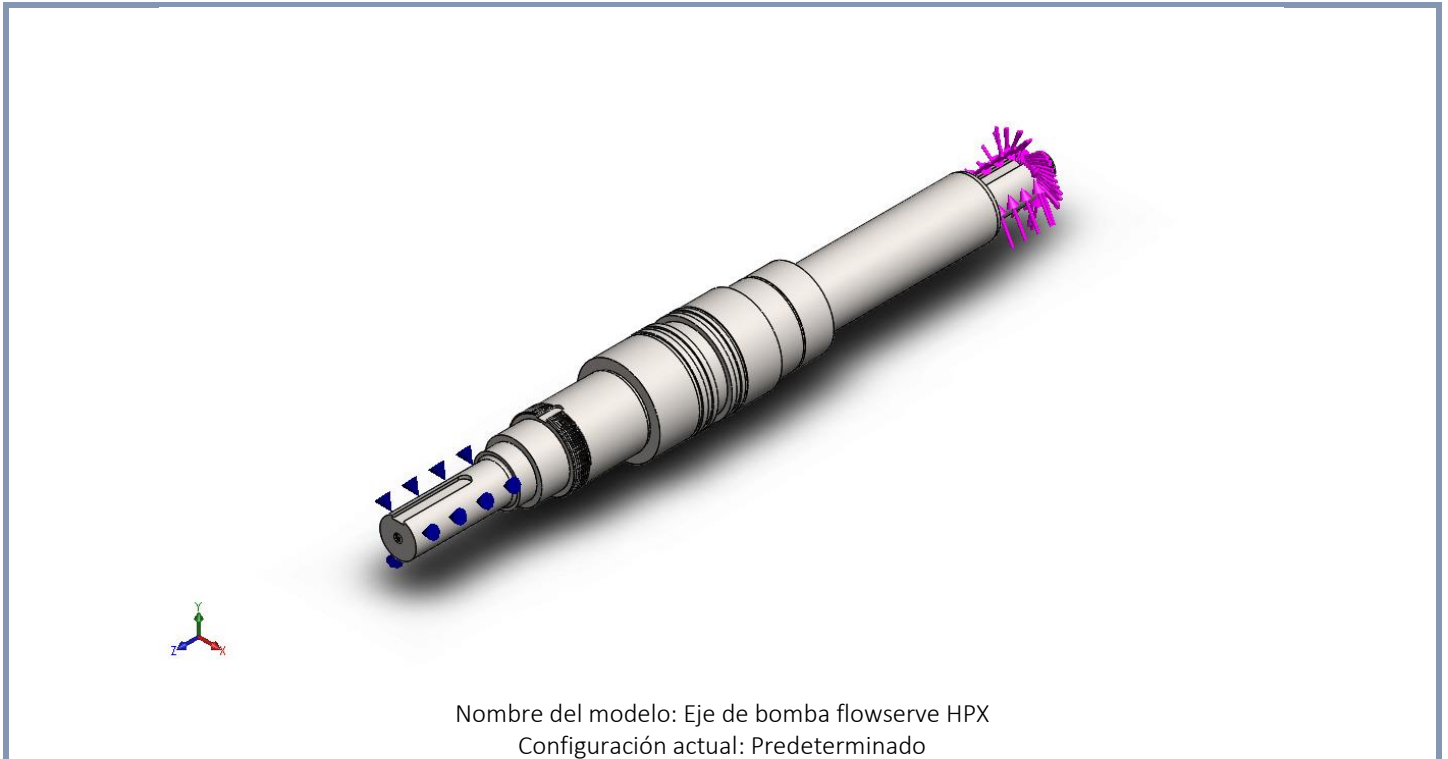
Descripción.....	45
Suposiciones.....	46
Información de modelo	46
Propiedades de estudio.....	46
Unidades	47
Propiedades de material	47
Cargas y sujeciones	47
Definiciones de conector.....	48
Información de contacto	48
Información de malla	48
Detalles del sensor	49
Fuerzas resultantes	49
Vigas.....	49
Resultados del estudio	49
Conclusión	¡Error! Marcador no definido.




Descripción
No hay datos

Suposiciones

Información de modelo



Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 Redondeo3	Sólido	Masa:18.0989 kg Volumen:0.00226236 m ³ Densidad:8,000 kg/m ³ Peso:177.369 N	C:\Users\INTEL 2019\Downloads\Eje de bomba flowserve HPX.SLDPR T Aug 14 12:41:40 2025

Propiedades de estudio


Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin

Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\INTEL 2019\Downloads)

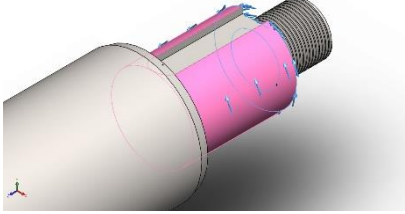
Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

Propiedades de material

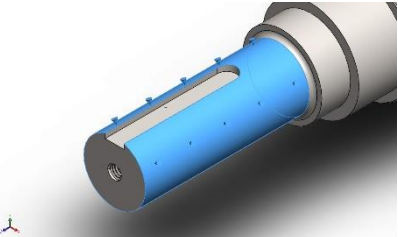
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: AISI 304 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2.06807e+08 N/m² Límite de tracción: 5.17017e+08 N/m² Módulo elástico: 1.9e+11 N/m² Coeficiente de Poisson: 0.29 Densidad: 8,000 kg/m³ Módulo cortante: 7.5e+10 N/m² Coeficiente de dilatación térmica: 1.8e-05 /Kelvin	Sólido 1(Redondeo3)(Eje de bomba flowserve HPX)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Torsión-1		Entidades: 1 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar momento torsor Valor: 2,500 N.m

Definiciones de conector

Conector de pasador/perno/rodamiento

Referencia de modelo	Detalles del conector	Detalles de resistencia
 Soporte de rodamiento-1	Entidades: 1 cara(s) Tipo: Rodamiento	No hay datos

Fuerzas del conector

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-0	-0	-11,942	-11,942
Fuerza cortante (N)	-38,232	2,009.1	0	38,285
Momento flector (N.m)	0	0	0	0

Información de contacto

No hay datos

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	28.8868 mm
Tamaño mínimo del elemento	1.93638 mm

Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
------------------	-------------------------------------

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	60165
Número total de elementos	38179
Cociente máximo de aspecto	1,127.6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	80.2
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	10.5
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:16
Nombre de computadora:	

Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0	0	0	1e-33

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	13,792.4	8,769.9	-7,610.28	18,029.4

Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

Vigas

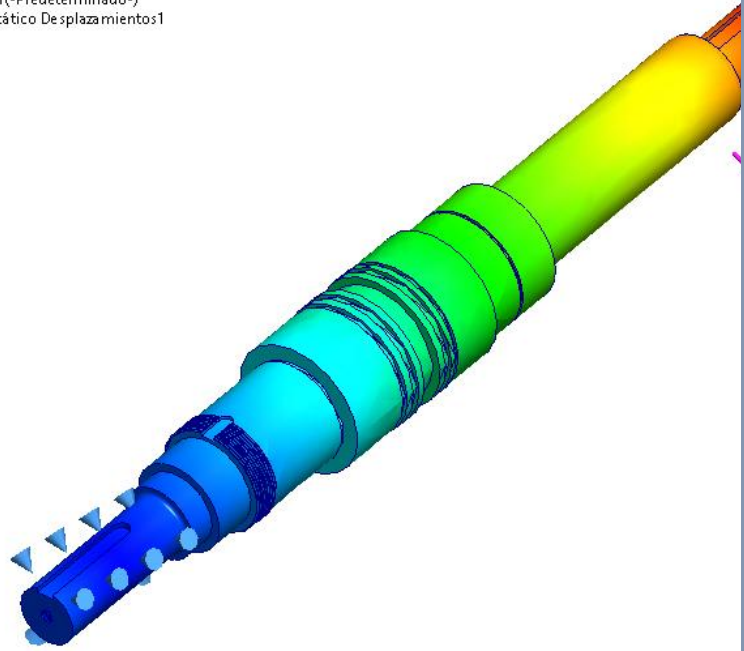
No hay datos

Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	1.564e+08mm Nodo: 58107	6.137e+10mm Nodo: 1595

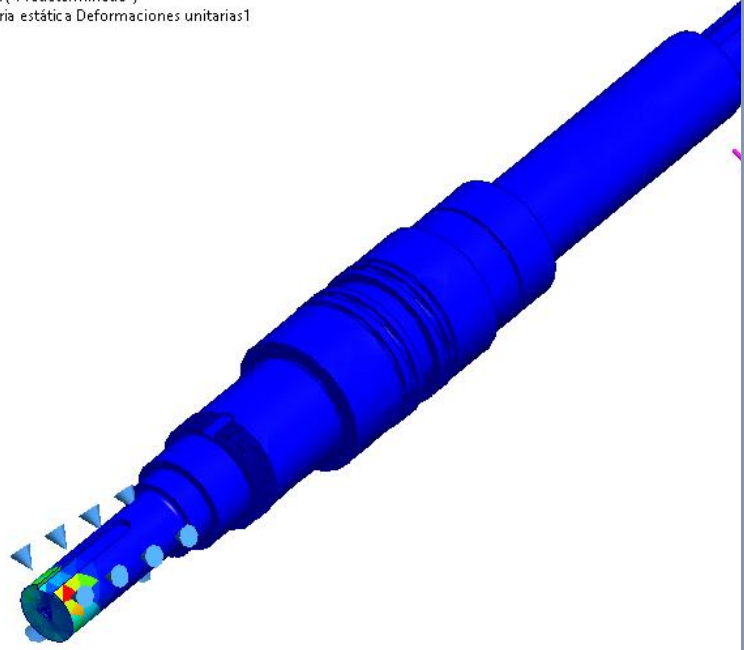
Nombre del modelo: Eje de bomba flowserve HPX
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 1.41078e-09



Eje de bomba flowserve HPX-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	8.051e-06 Elemento: 4292	2.205e+01 Elemento: 12297

Nombre del modelo: Eje de bomba flowserve HPX
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
Escala de deformación: 1.41078e-09



Eje de bomba flowserve HPX-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

ANEXO XII :INFORME DE ANÁLISIS POSTERIOR.



Descripción
No hay datos.

Simulación de Eje de bomba flowserve HPX

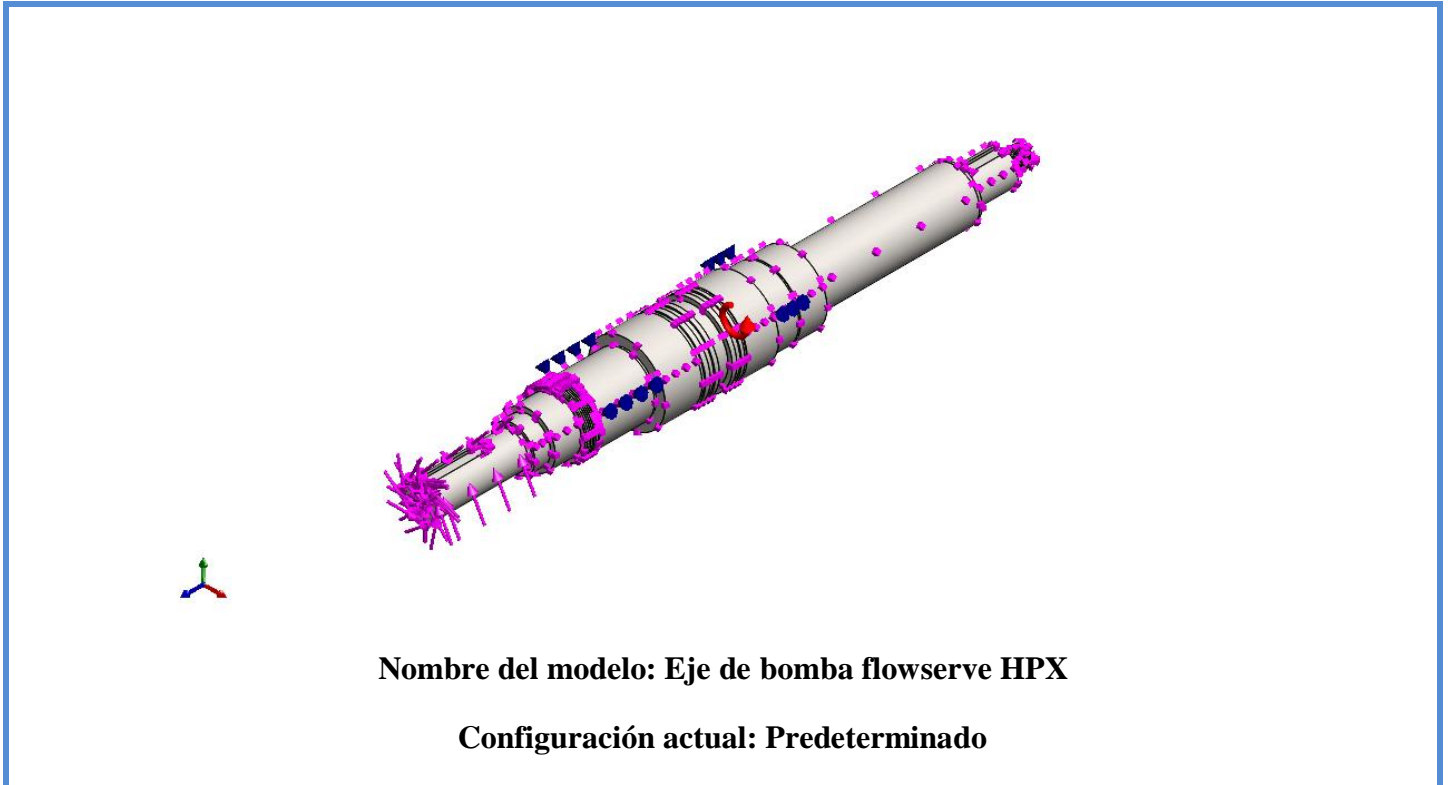
Fecha: jueves, 14 de agosto de 2025
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Análisis estático 1
Tipo de análisis: Análisis estático

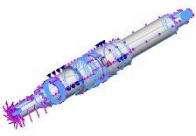
Tabla de contenidos

Descripción	1
Suposiciones.....	2
Información de modelo.....	2
Propiedades de estudio.....	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	4
Definiciones de conector.....	5
Información de interacción	6
Información de malla	7
Detalles del sensor	7
Fuerzas resultantes	8
Vigas.....	8
Resultados del estudio.....	9
Conclusión	12

Suposiciones

Información de modelo



Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo3 	Sólido	Masa:18,0989 kg Volumen:0,00226236 m³ Densidad:8.000 kg/m³ Peso:177,369 N	H:\bomba 2025\Eje de bomba flowserve HPX.SLDPRT Aug 14 18:04:26 2025

Propiedades de estudio

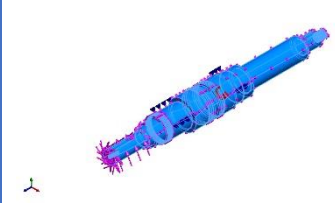
Nombre de estudio	Análisis estático 1
-------------------	---------------------

Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (H:\bomba 2025)

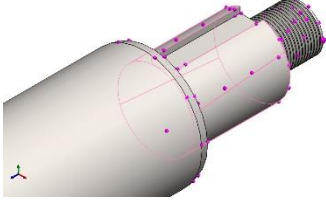
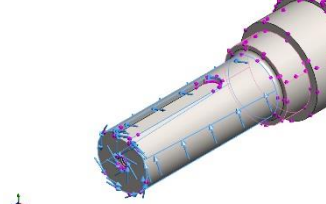
Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg

Presión/Tensión	N/m ²
-----------------	------------------

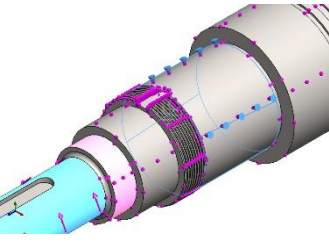
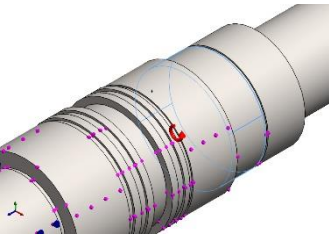
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: AISI 304</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 2,06807e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 5,17017e+08 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 1,9e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,29</p> <p>Densidad: 8.000 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7,5e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1,8e-05 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Redondeo3)(Eje de bomba flowserve HPX)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		

Cargas y sujeciones

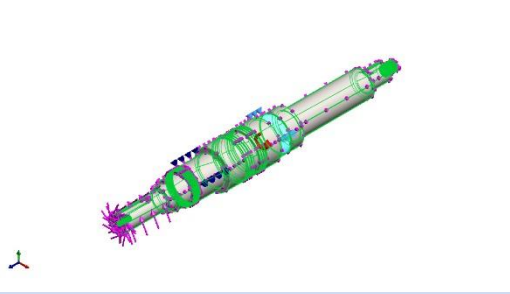
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Centrífuga -1		<p>Centrífuga, Ref: Cara< 1 ></p> <p>Velocidad angular: 373,849rad/s</p> <p>Aceleración angular: 0rad/s²</p>
Torsión-2		<p>Entidades: 2 cara(s)</p> <p>Referencia: Cara< 1 ></p> <p>Tipo: Aplicar momento torsor</p> <p>Valor: 299,2 N.m</p>

Definiciones de conector

Conector de pasador/perno/rodamiento

Referencia de modelo	Detalles del conector	Detalles de resistencia		
 Soporte de rodamiento-1	Entidades: 1 cara(s) Tipo: Rodamiento	No hay datos		
Fuerzas del conector				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	0	0	1.338	1.338
Fuerza cortante (N)	-4.261,9	74,654	0	4.262,5
Momento flector (N.m)	0	0	0	0
 Soporte de rodamiento-2	Entidades: 1 cara(s) Tipo: Rodamiento	No hay datos		
Fuerzas del conector				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-0	-0	-1.338	-1.338
Fuerza cortante (N)	2.138,9	42,582	0	2.139,3
Momento flector (N.m)	0	0	0	0

Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción entre componentes-1		<p>Tipo: Unión rígida</p> <p>Componentes: 1 Sólido(s)</p> <p>Opciones: Mallado independiente</p>

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	26,2608 mm
Tamaño mínimo del elemento	1,76034 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

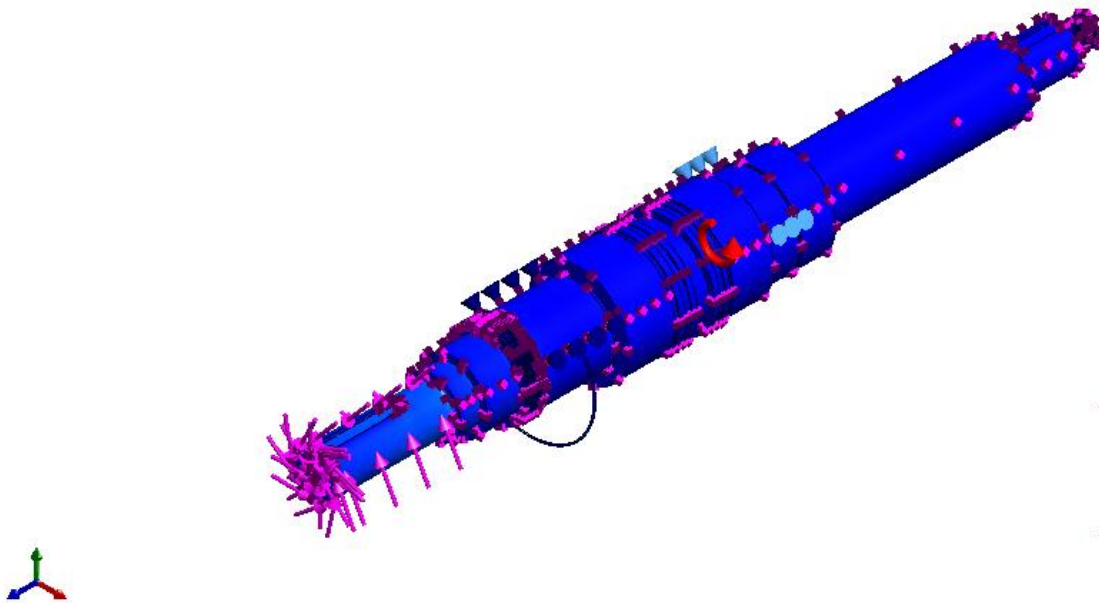
Número total de nodos	241797
Número total de elementos	162015
Cociente máximo de aspecto	108,18
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	91,9
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	1,61
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:02:10

Vigas
No hay datos

Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	4,648e+03N/m ² Nodo: 36650	9,737e+08N/m ² Nodo: 74008

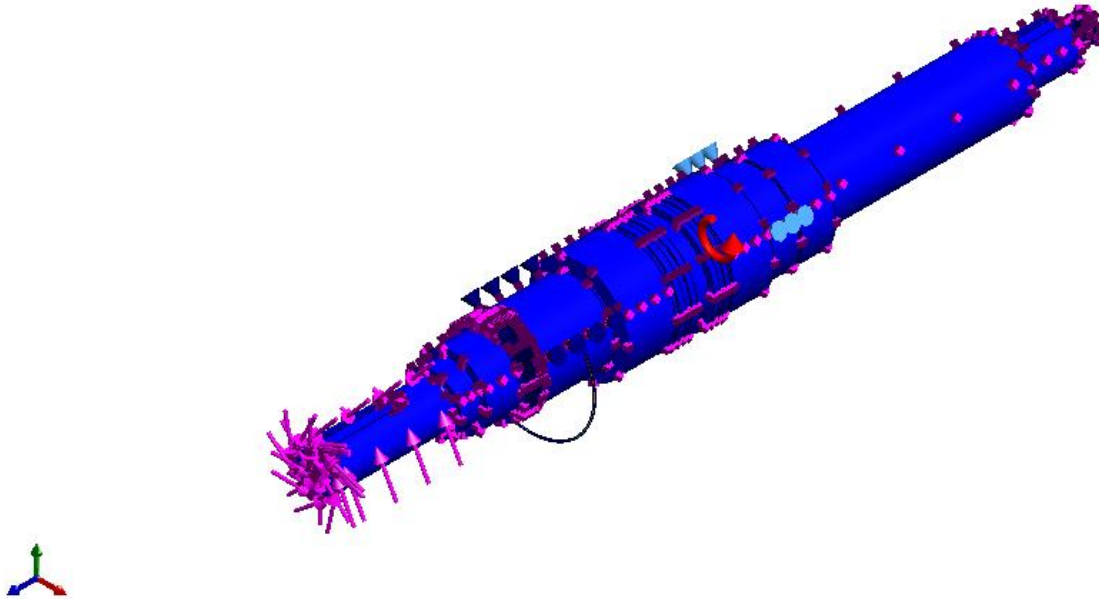
Nombre del modelo: Eje de bomba flowserve HPX
Nombre de estudio: Análisis e estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1,58023



Eje de bomba flowserve HPX-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	3,248e-06mm Nodo: 139150	4,443e+01mm Nodo: 38

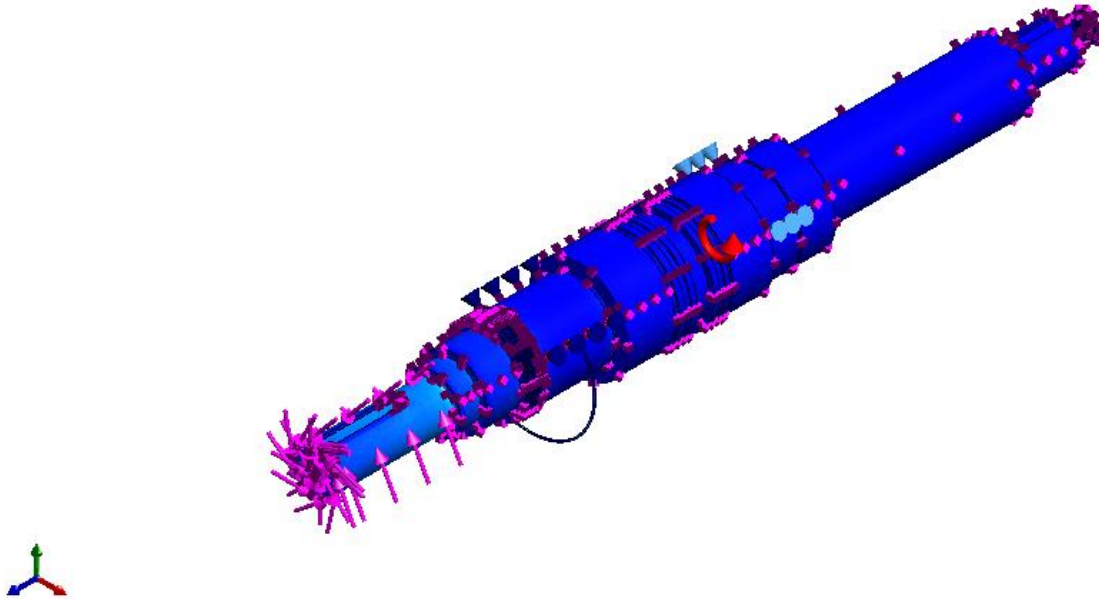
Nombre del modelo: Eje de bomba flowserve HPX
 Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 1,58023



Eje de bomba flowserve HPX-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	4,952e-08 Elemento: 704	2,493e-03 Elemento: 12168

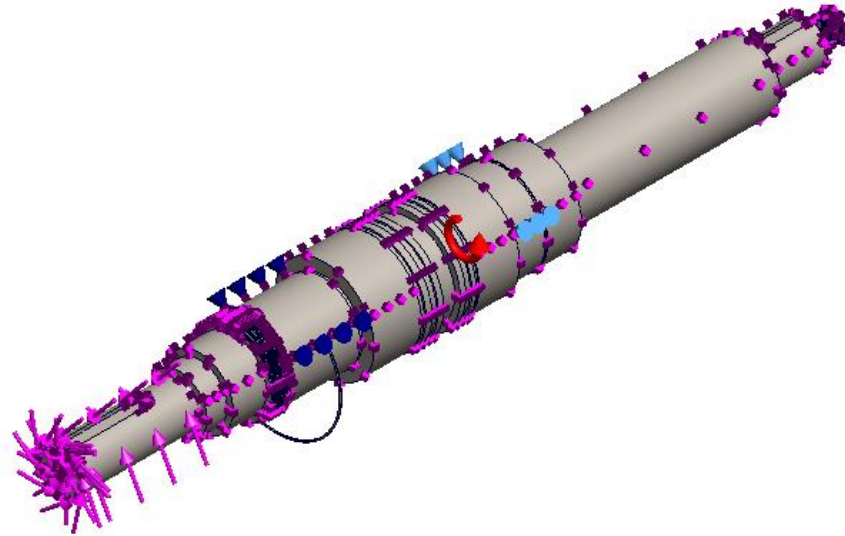
Nombre del modelo: Eje de bomba flowserve HPX
Nombre de estudio: Análisis e estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
Escala de deformación: 1,58023



**Eje de bomba flowserve HPX-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-
Deformaciones unitarias1**

Nombre	Tipo
Desplazamientos1{1}	Deformada

Nombre del modelo: Eje de bomba flowserve HPX
 Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformada Desplazamientos1{1}
 Escala de deformación: 1,58023



Eje de bomba flowserve HPX-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1{1}

cálculos

$$Potencia (w) = \frac{2\pi torque * RPM}{60}$$

$$1 torque = \frac{Potencia (w) * 60}{62\pi * RPM}$$

$$150Hp \times 7115,7 \frac{w}{Hp} = 11,855 W$$

- A 3000 RPM:

$$Torque = \frac{11,855 W * 60}{62\pi * 3000} = 356,2 \frac{N}{m}$$

- A 1500 RPM:

$$Torque = \frac{11,855 W * 60}{62\pi * 1500} = 712,4 \frac{N}{m}$$

- A 3570 RPM:

$$Torque = \frac{11,855 W * 60}{62\pi * 3570} = 299,2 \frac{N}{m}$$

Torque en el eje

$$T = \frac{\Delta p Q}{n\omega} = \frac{\Delta p Q 60}{n 2\pi n}$$

$$T = \frac{1,034,213.6 x 0,0441631}{0,70 x 373,8495}$$

$$T = 174,5 \frac{N}{m}$$