

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES



PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN PRODUCTIVA PARA EL
MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE CILINDROS HIDRÁULICOS EN
UNA EMPRESA METALMECÁNICA APLICANDO TÉCNICA DE
SIMULACIÓN”**

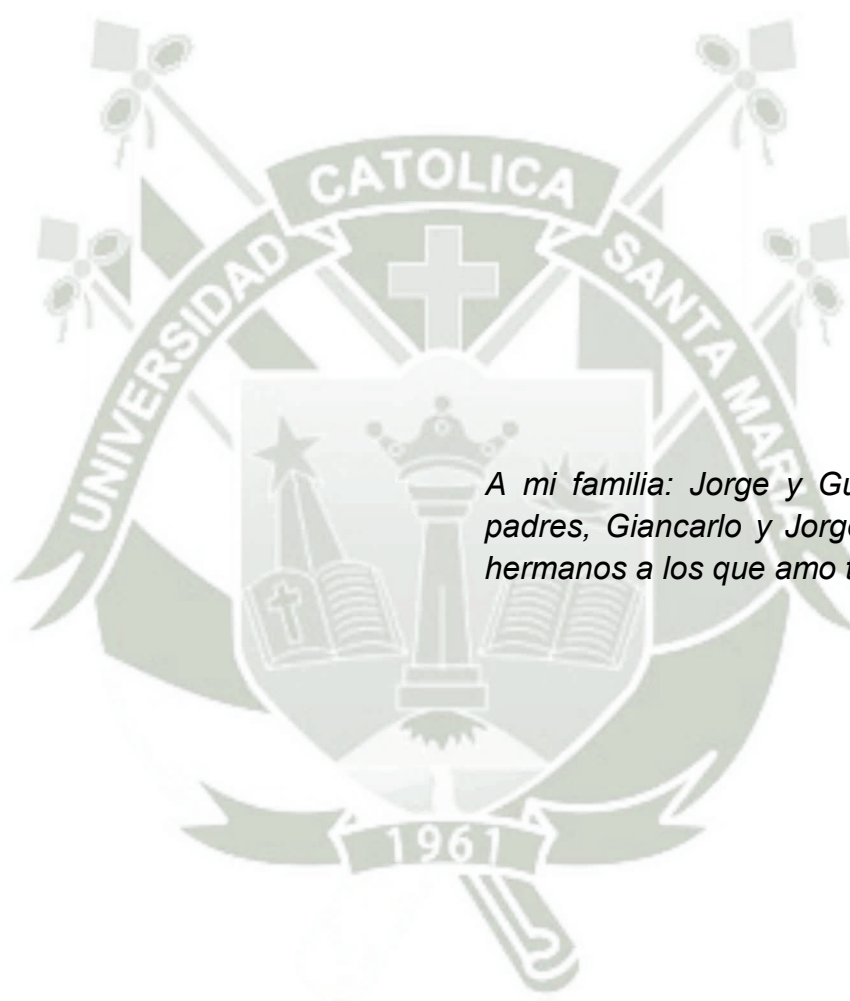
PRESENTADO POR EL BACHILLER:

CÉSAR LUIS PÉREZ COAGUILA

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

AREQUIPA-PERÚ

2015



*A mi familia: Jorge y Guillermina mis
padres, Giancarlo y Jorge Adriano mis
hermanos a los que amo tanto.*

RESUMEN

El trabajo que se presenta a continuación analiza el área de producción de la empresa Hydraulic Systems SAC sede Arequipa quienes brindan servicio de mantenimiento y/o reparación de cilindros hidráulicos generalmente a clientes mineros. El objetivo principal del trabajo es aumentar los índices de productividad en el área para que se pueda cumplir completamente o en su mayoría con la demanda para los próximos años

Primero se realizó un diagnóstico situacional de la empresa para observar el comportamiento de los recursos con el sistema y poder visualizar problemas, seguidamente se propuso un escenario que cumpla con los objetivos planteados incrementando así los índices de producción y cumplir con la demanda pronosticada comprobable con la salida de resultados del software Arena 14.0, plataforma con la que se trabajó.

Finalmente los resultados fueron evaluados económicamente y se concluyó que la empresa deberá asumir el escenario propuesto para cumplir con la totalidad de reparaciones que los clientes del mercado requieren obteniendo así beneficios económicos y de imagen para la empresa.

ABSTRACT

The work presented here analyzes the production area of the Hydraulic Systems SAC in Arequipa, which offers services such as maintenance and/or repair of hydraulic cylinders mostly to mining customers. The main goal of this work is to increase the labor of productivity rates in the area so it can achieve completely the demand for coming years.

First, a situational analysis of the company was made in order to observe the behavior of the system resources and to display its problems; then, a scenario was planned in order to meet the predicted demand results with the Arena 14.0 software, the platform that was used.

Finally, the results were evaluated economically and concluded that the company must comply with the proposed scenario in order to repair what the market customers have by obtaining economic benefits and be satisfied with the company's image.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INDICE DE ILUSTRACIONES.....	10
INDICE DE TABLAS.....	11
INDICE DE GRÁFICAS	14
INDICE DE PLANOS.....	15
INDICE DE DIAGRAMAS.....	16
CAPITULO I:	
PLANTEAMIENTO TEÓRICO	
1.1. TÍTULO.....	18
1.2. INTRODUCCIÓN.....	18
1.3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.5.1.OBJETIVO PRINCIPAL	21
1.5.2.OBJETIVOS SECUNDARIOS	21
1.6. INTERROGANTES BÁSICAS.....	22
1.7. HIPÓTESIS	23
1.8. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	23
1.9. ALCANCE.....	23
1.10. JUSTIFICACIÓN.....	24
1.10.1. ASPECTO GENERAL.....	24
1.10.2. ASPECTO ECONÓMICO.....	24
1.10.3. ASPECTO SOCIAL	25
1.11. VARIABLES.....	25
1.11.1. VARIABLES INDEPENDIENTES	25

1.11.2. VARIABLES DEPENDIENTES	25
--------------------------------------	----

CAPITULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1. CILINDROS HIDRÁULICOS	26
2.1.1.COMONENTES DE UN CILINDRO HIDRÁULICO	28
2.1.2.TIPOS DE CILINDRO HIDRÁULICOS	32
2.1.3.MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE CILINDROS HIDRÁULICOS EN LA INDUSTRIA Y CLASIFICACIÓN SEGÚN LA FUNCIÓN QUE DESEMPEÑAN.....	34
2.2. SIMULACIÓN EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN	36
2.2.1.MODELOS DE SIMULACIÓN COMO ESTIMACIÓN DE DESEMPEÑO DE UN SISTEMA.....	36
2.2.2.CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN	36
2.2.3.SOFTWARE DE SIMULACIÓN ARENA 14.0.....	38
2.2.4.CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN	39
2.2.5.COSTOS Y RIESGOS EN LA SIMULACIÓN.....	49

CAPITULO III:

DESCRIPCIÓN Y DIAGNÓSTICO SITUACIONAL ACTUAL

3.1. LA EMPRESA.....	51
3.1.1.DATOS GENERALES.....	51
3.1.2.RESEÑA HISTÓRICA.....	52
3.1.3.MISIÓN	52
3.1.4.VISIÓN	53
3.1.5.SERVICIOS DE LA EMPRESA.....	53
3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE REPARACIÓN DE CILINDROS HIDRAULICOS.....	54

3.2.1.MATERIA PRIMA E INSUMOS	54
3.2.2.OPERACIONES DEL PROCESO DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CILINDROS HIDRÁULICOS	56
3.2.3.RECURSOS HUMANOS DE LA EMPRESA	63
3.2.4.ORGANIZACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	64
3.2.5.DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO	66
3.2.6.ANÁLISIS DE PRODUCTOS	78
3.2.7.DEMANDA HISTÓRICA	79
CAPITULO IV:	
MODELO DE SIMULACIÓN	
4.1. PROPIEDADES DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....	82
4.1.1VARIABLES EXÓGENAS	83
4.1.2VARIABLES ENDÓGENAS	85
4.2. RECOPIACIÓN DE DATOS.....	87
4.3. PERIODO DE TIEMPO DEL ESTUDIO.....	87
4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS	88
4.5. MODELO DE SIMULACIÓN.....	89
4.5.1.RECURSOS	90
4.5.2.PARÁMETROS	90
4.6. VALIDACIÓN DE MODELO DE SIMULACIÓN.....	95
4.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	96
CAPITULO V:	
PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN	
5.1. PLAN DE PRODUCCIÓN	99
5.1.1.ESQUEMA DE PLANEAMIENTO.....	100
5.1.2.PRONÓSTICOS	100

5.1.3.ELABORACIÓN DEL PLAN DE PRODUCCIÓN.....	103
5.2. PROPUESTA PARA OPTIMIZACIÓN.....	107
5.2.1.OBJETIVOS DE LA PROPUESTA	107
5.2.2.PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA	107
5.2.3.DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	109
5.3. SIMULACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO	120
5.3.1.VARIABLES.....	120
5.3.2.RECURSOS.....	121
5.3.3.PARÁMETROS	121
5.3.4.EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	125
CAPITULO VI:	
DETERMINACIÓN DE COSTOS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA	
6.1. DETERMINACIÓN DE COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA Y MATERIALES DIRECTOS	137
6.1.1.COSTO PERSONAL DE PRODUCCIÓN	137
6.1.2.BENEFICIOS SOCIALES	137
6.1.3.COSTO MATERIAL DIRECTO	138
6.2. DETERMINACIÓN DE COSTOS INDIRECTOS.....	140
6.2.1.COSTO MATERIAL INDIRECTO.....	140
6.2.2.COSTO ELECTRICIDAD MAQUINARIA	140
6.3. INVERSIÓN DE MAQUINARIA.....	143
6.3.1.ALTERNATIVA DE ADQUISICIÓN.....	143
6.3.2.DEPRECIACIÓN	144
6.3.3.VALOR DE RECUPERACIÓN.....	145
6.5. FLUJOS DE CAJA	146

CONCLUSIONES.....	149
RECOMENDACIONES	151
BIBLIOGRAFÍA	153
ANEXOS	155



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 01 – Estructura del cilindro Hidráulicos	27
Ilustración 02 – Cuerpo de Cilindro Hidráulicos	29
Ilustración 03 – Tapa externa o Cabeza Delantera	30
Ilustración 04 – Vástago de Cilindro Hidráulico	31
Ilustración 05 – Pistón de Cilindro Hidráulico	31
Ilustración 06 – Cilindros de Simple y doble efecto	33
Ilustración 07 – Desarme y Evaluación	57
Ilustración 08 – Proceso Productivo de Cilindro	58
Ilustración 09 – Proceso Productivo de Vástago	60
Ilustración 10 – Proceso Productivo de Tapa y Pistón	61
Ilustración 11 – Proceso de Armado	62
Ilustración 12 – Proceso de Pintado y Embalado	63
Ilustración 13 – Modelo de Simulación Actual	93
Ilustración 14 – Animación del Modelo de Simulación	94
Ilustración 15 – Modelo de Simulación Propuesto	123
Ilustración 16 – Animación del Modelo de Simulación Propuesto	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla n° 01 – Distribución Probabilística Actual	89
Tabla n° 02 – Lista de Recursos Actual	90
Tabla n° 03 – Horas trabajadas Actual	91
Tabla n° 04 – Número de Réplicas	92
Tabla n° 05 – Validación de Modelo	95
Tabla n° 06 – Resultados del Sistema Actual	96
Tabla n° 07 - Estadístico de Datos de Cilindros Hidráulicos	101
Tabla n° 08 – Estadístico de Datos de Vástagos	102
Tabla n° 09 – Pronóstico Cilindros Hidráulicos Datos	104
Tabla n° 10 – Pronósticos Vástagos Datos	105
Tabla n° 11 - Resultado OptQuest Software Arena 14.0	108
Tabla n° 12 – Tabla Resumen de cálculo de Área	113
Tabla n° 13 – Distribución de Recursos	114
Tabla n° 14 – Códigos para tabla relacional de Distribución	115
Tabla n° 15 – Resumen de Tabla Relacional	117
Tabla n° 16 – Tabla leyenda de Diagrama Relacional	117
Tabla n° 17 – Recursos para Modelo Propuesto	121

Tabla n° 18 - Horas Trabajadas Propuesto	122
Tabla n°19 - Resultados del Sistema Propuesto	125
Tabla n° 20 – Índice de producción Cilindros Hidráulicos	132
Tabla n° 21 – Mantenimiento y/o reparación de CH	132
Tabla n° 22 – Mantenimiento y/o reparación de vástagos	133
Tabla n° 23 –Tiempo de fabricación de cilindro Hidráulico	134
Tabla n° 24 –Tiempo de fabricación de Vástago Solo	134
Tabla n° 25 – Ratio de mantenimiento y/o reparación de CH	135
Tabla n°26 – Costo Personal de Producción	137
Tabla n°27 – Beneficios Sociales	138
Tabla n°28 – Costo Total de Mano de Obra de Producción	138
Tabla n°29 – Costeo Material Directo Modelo Actual	139
Tabla n°30 – Costeo Material Directo Modelo Propuesto	139
Tabla n°31 – Costeo Material Indirecto Modelo Actual	141
Tabla n°32 – Costeo Material Indirecto Modelo Propuesto	141
Tabla n°33 – Costeo Electricidad Maquinaria Modelo Actual	142
Tabla n°34 – Costeo Electricidad Maquinaria Modelo Propuesto	142
Tabla n°35 – Cotización torno Torno Nuevo	143

Tabla n°36 – Cotización torno máquina para soldar	144
Tabla n°37 – Depreciación de maquinaria	144
Tabla n°38 – Venta de Equipos	145
Tabla n°39 – Flujo de Caja Modelo Actual	147
Tabla n°40 – Flujo de Caja Modelo Propuesto	147



ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 01 –Demanda Cubierta de Cilindros Hidráulicos y Vástagos	81
Gráfica 02 – Pronóstico Cilindros Hidráulicos	101
Gráfica 03 – Pronóstico Vástagos	103
Gráfica 04 – Plan de producción acumulado 2016	106
Gráfica 05 – Índice de Producción	127
Gráfica 06 – Utilización de Torno	128
Gráfica 07 – Utilización de Tornero	128
Gráfica 08 – Utilización Evaluadores	129
Gráfica 09 – Utilización Soldadores	130
Gráfica 10 – Utilización Bruñidora	131
Gráfica 11 – Utilización Fresadora	131

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 01 –Distribución Actual de Planta	65
Plano 02 – Distribución de Planta Propuesto	119



ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 01 – Diagrama de Bloques de Construcción de Modelos de Simulación	39
Diagrama 02 – Diagrama de bloques del Proceso de reparación y Mantenimiento de Cilindros hidráulicos	56
Diagrama 03 - DAP Desarmado de cilindro hidráulico	66
Diagrama 04 – DAP Evaluación de Camisa	67
Diagrama 05– DAP Evaluación de vástago	68
Diagrama 06 – DAP Evaluación de Tapa	69
Diagrama 07– DAP Evaluación de Pistón	70
Diagrama 08– DAP Fabricación de Camisa de Cilindro	71
Diagrama 09– Fabricación de Vástago	72
Diagrama 10– Fabricación de Tapa	73
Diagrama 11– Fabricación de Pistón	74
Diagrama 12– DAP Armado de Cilindros Hidráulicos	75
Diagrama 13– DAP Prueba Hidráulica	76
Diagrama 14– DAP Pintado y Embalado	77

Diagrama 15– Diagrama de Pareto de Cilindro Hidráulico Completo	77
Diagrama 16– Diagrama de Pareto de Vástagos solos	78
Diagrama 17– Diagrama Triangular Relacional de Áreas	116
Diagrama 18 – Diagrama Relacional de Áreas	118



CAPITULO I

PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. TÍTULO

“Propuesta de Optimización Productiva para el Mantenimiento y Reparación de Cilindros Hidráulicos en una empresa Metalmecánica aplicando Técnica de Simulación”

1.2. INTRODUCCIÓN

La empresa Hydraulic Systems SAC, cuya procedencia es canadiense fue iniciada en Vancouver, dedicadas en su mayoría al mantenimiento y reparación de los cilindros hidráulicos en todas sus variantes. El año 2012 abrió sus instalaciones en la región de Arequipa con el objetivo de

proveer dicho servicio a las empresas orientadas al rubro minero e industrial que se presentan en gran cantidad en esta región, incluyendo además en sus planes a los futuros proyectos que se tienen planeados y a los que se vienen desarrollando considerados de gran envergadura, que son prometedores para el desarrollo del sur del país.

Es así como la empresa se establece en la región obteniendo ya importantes clientes en el sector minero, cuyos proyectos requieren de la utilización de sustanciales horas de maquinaria pesada y que éstos requieren de los servicios diferenciados brindados por la empresa para su mantenimiento y reparación, por el lugar en el que la maquinaria pesada realiza su trabajo y los factores externos a los que están expuestos sus componentes, sin dejar de lado la fuerte carga de trabajo a los que se encuentran acostumbrados necesitan del mantenimiento de todos sus componentes para evitar de esta manera disponer de horas muertas para la maquinaria.

En el estudio no se toma en cuenta problemas logísticos ya que dependen exclusivamente de la sede en Lima, dicha sede envía todos los implementos, materia prima y repuestos necesarios para la ejecución de los servicios que son sustentados y detallados mediante un software integrado logístico cuyo funcionamiento es confiable, teniendo un porcentaje de cumplimiento dentro de los parámetros de tiempo y costo aceptables.

El problema radica en el área de producción donde puede observarse retrasos e incumplimiento de las fechas establecidas además del

incumplimiento total del servicio al derivar los trabajos a otra sede al no darse abasto con la demanda generando así mayores retrasos.

1.3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Una mala organización en equipos y recursos humanos en el área productiva que no son suficientes y por consecuencia eficientes para el buen desenvolvimiento del sistema generando así el incumplimiento de fechas de entrega acordados con los clientes y pérdida de productos por retiro de los mismos hacia otra sede, siendo afectados con este incumplimiento tanto el cliente como la propia empresa.

1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa se ha visto envuelto en pérdidas del servicio de reparación y/o mantenimiento de cilindros hidráulicos de los clientes durante los años 2013 y 2014 al ser enviados hacia otra sede para su diagnóstico y reparación generando fechas de incumplimiento a causa de la demora en el tiempo de servicio con los principales clientes.

Por causa a la deficiente organización en recursos de la empresa y problemas en los procesos que tiene actualmente en no poder darse abasto con la demanda del mercado es que se pierde oportunidad de generar eficiencia en la planta de Arequipa.

Los clientes solicitantes del servicio de mantenimiento y/o reparación de cilindros hidráulicos, el cuál es el principal servicio que la empresa ofrece, pierden productividad y eficiencia como consecuencia de tener maquinaria parada mientras sus componentes son reparados en las instalaciones de la empresa, afectando también de manera negativa en los índices de la propia empresa. De hecho mientras más tiempo el componente permanezca en la empresa, más tiempo el cliente tendrá su maquinaria en estado inoperativo y por ello existirán pérdidas de eficiencia y productividad envueltas, tanto para el cliente como para la empresa.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo Principal

Optimizar los indicadores de producción de cilindros hidráulicos de maquinaria pesada en la empresa metalmecánica Hydraulic Systems SAC – sede Arequipa.

1.5.2. Objetivos Secundarios

- Elaborar un modelo de simulación que nos permita visualizar el comportamiento actual del sistema y evaluar sus deficiencias.

- Identificar las causas que más influyen en el servicio de mantenimiento y reparación de cilindros hidráulicos elaborando un diagnóstico actual de la empresa, basándonos en el modelo inicial.
- Plantear soluciones que optimicen el tiempo de producción en base a indicadores, respaldando dicha optimización con un modelo de simulación propuesto que demuestre la mejora.
- Elaboración de análisis económica para las propuesta y que respalden la optimización a realizar.
- Elaboración de una nueva distribución de planta para mejorar el flujo de movimientos de los trabajadores y el producto.

1.6. INTERROGANTES BÁSICAS

- ¿Cuál es el estado actual del área de producción?
- ¿Cuáles son los principales factores que influyen negativamente en los indicadores productivos?
- ¿Cuál es la mejor propuesta para la optimización de procesos y lograr así el aumento de los indicadores productivos?
- ¿Las modificaciones en el sistema serán considerados como una solución rentable para la empresa?

1.7. HIPÓTESIS

Es posible que los cambios a realizar en el proceso productivo sirvan para el incremento de índices productivos en el sistema de simulación y real.

1.8. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación a realizar es categorizada como tipo correlacional causal debido a que se determinarán como es que se comportan los índices actuales y como variarán los mismos según las modificaciones que se realicen.

Además se aplicará el diseño experimental ya que se analizarán factores para determinar el grado de relación que tendrán los índices utilizando grupos de control, con manipulación de variables en presencia/ausencia.

1.9. ALCANCE

Nos enfocaremos en la empresa localizada en Perú, en la sede de la ciudad de Arequipa, específicamente y limitado al área de producción de la empresa metalmecánica en el que se realizan todos los procesos de mantenimiento y reparación de cilindros hidráulicos, el estudio se llevará a cabo con datos recogidos del año 2014 y 2015.

1.10. JUSTIFICACIÓN

1.10.1. Aspecto General

El presente estudio permitirá optimizar el área de producción y con ello se pretende que los indicadores productivos mejoraren, con la finalidad de cumplir con las fechas de entrega y la demanda actual existente. Al elaborarse el modelo de simulación, la empresa podrá disponer del mismo para evaluar proyectos o cambios futuros que deseen realizarse permitiendo facilitar la toma de decisiones.

1.10.2. Aspecto Económico

Mejorando los procesos productivos y aumentando así sus indicadores, podrá cumplirse con las fechas de entrega evitando las penalidades que los clientes negociaron inicialmente en sus contratos, además se aumentará eficiencia al incrementar el número de cilindros hidráulicos a los que se brinde el servicio, del mismo modo se evitará el desprestigio por el servicio brindado y pérdida de competitividad que pueda resultar en la búsqueda de un nuevo proveedor por parte de los clientes, perdiendo así cartera y participación de mercado.

1.10.3. Aspecto Social

Se podrá mantener los puestos de trabajo actuales al poseer una cartera que permita ganancias a la empresa, generando motivación, bienestar y estabilidad para los colaboradores y sus familias. Además de participar indirectamente en el bienestar de la industria de minería al estar comprometidos en la seguridad de los productos que se reparan evitando incidentes y accidentes dentro de los centros de trabajo.

1.11. VARIABLES

1.11.1. Variables Independientes

- Métodos de trabajo en producción
- Condiciones de trabajo

1.11.2. Variables Dependientes

- Índice de producción
- Índice de Productividad
- Eficiencia y eficacia
- Calidad de servicio



CAPITULO II

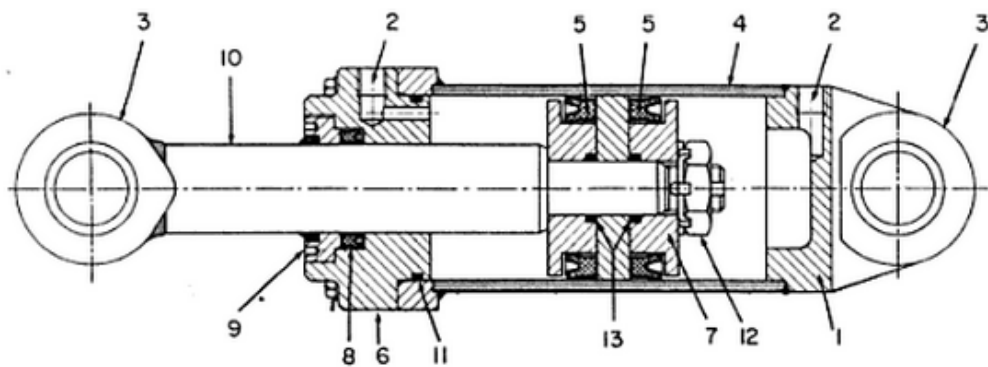
MARCO TEÓRICO

2.1. CILINDROS HIDRÁULICOS

Un cilindro hidráulico es un componente que está compuesto por un pistón deslizante dentro de una camisa, dicho aparato es capaz de transformar energía hidráulica en energía mecánica según un movimiento rectilíneo. Los sistemas hidráulicos se aplican típicamente en dispositivos móviles tales como maquinaria de construcción, excavadoras, plataformas elevadoras, aparatos de elevación y transporte, maquinaria para agricultura y simuladores de vuelo. Los cilindros hidráulicos poseen las siguientes ventajas: gran potencia transmitida con pequeños componentes; posicionamiento preciso;

arranque con cargas pesadas; movimientos lineales independientes de la carga, ya que los líquidos son casi incompresibles y pueden emplearse válvulas de control; y entre sus desventajas figuran la polución del ambiente con riesgo de incendio y accidentes en caso de fuga de aceite; sensibilidad a la suciedad: peligro presente debido a las excesivas presiones y dependencia de la temperatura por cambios de viscosidad. (Creus, 2011)

Ilustración 01 – Estructura del cilindro Hidráulicos



1. Cabezal trasero de cilindro 2. Orificios de alimentación 3. Arrastrador delantero 4. Cuerpo de Cilindro 5. Juntas de Pistón 6. Cabeza delantera del Cilindro 7. Pistón 8. Juntas del vástago 9. Roscador 10. Vástago 11. Junta 12. Tuerca de fijación de pistón. 13. Junta de pistón sobre vástago

Fuente: ZCEKAJ 1988

Debido a dicha similitud los principios técnicos son aplicativos a casi todos los cilindros, a pesar de haber muchos diseños diferentes de cilindros, son relativamente similares en el modo en que sellan y se

reparan, los componentes principales de los cilindros hidráulicos son: Cuerpo del cilindro, Vástago, Pistón y Tapa o cabeza delantera del cilindro. **Ilustración 01. (CZEKAJ, 1988)**

2.1.1. Componentes de un cilindro hidráulico

Como se muestra en la figura 1, los componentes principales de un cilindro hidráulico son: el cuerpo de cilindro, la tapa externa o cabeza delantera, el vástago y el pistón.

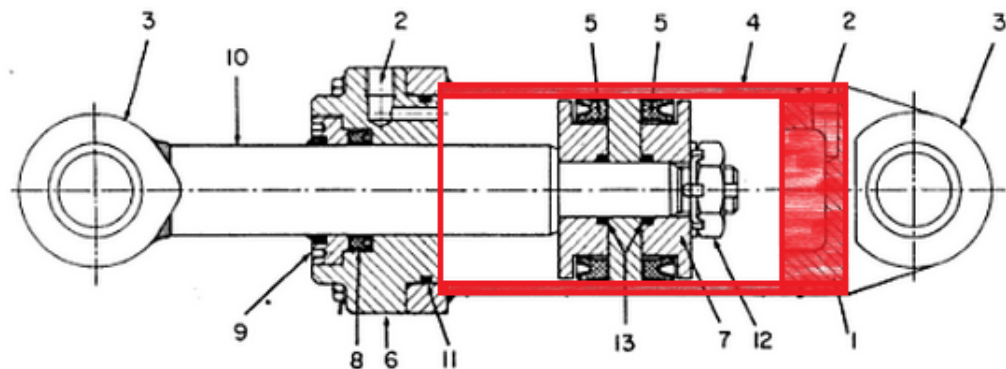
a) **Cuerpo de cilindro o camisa**

El cuerpo de cilindro es el componente en el cual se alojan y trabajan en conjunto los demás componentes como vástago, tapa, émbolo y sellos. En Hydraulic Systems SAC son fabricados y/o reparados en tubos micro bruñidos o de barras perforadas. Las barras perforadas son usadas cuando el tipo de cilindro a fabricar tiene otras dimensiones diferentes a los estándares o cuando tiene acondicionado externamente dispositivos que van soldados a éste.

El maquinado de un cilindro tiene que realizarse en las superficies exteriores e interiores concéntricas para garantizar un perfecto alineamiento del cilindro en el montaje, considerando que la calidad del acabado en el maquinado del diámetro de sellado que es el lugar donde trabajan los sellos de la tapa principal debe ser exacta ya que

tiene que estar perfectamente concéntrica con la cámara interior del cilindro.

Ilustración 02 – Cuerpo de Cilindro Hidráulicos



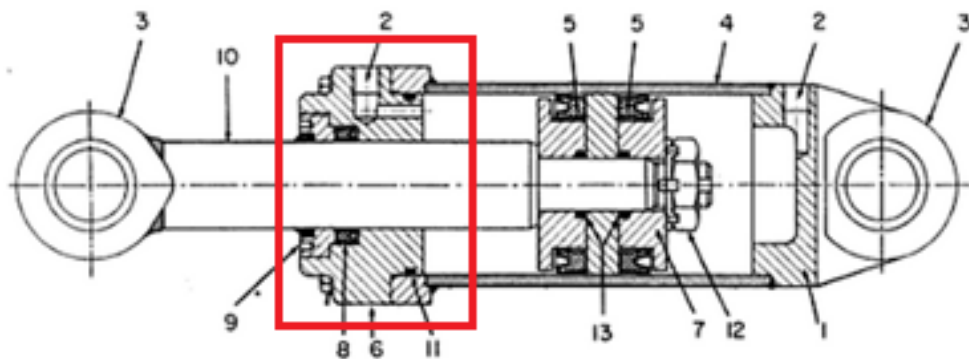
Fuente: ZCEKAJ 1988

b) Tapa externa o Cabeza delantera

Es uno de los componentes más importantes de un cilindro hidráulico, ya que tiene la función de retener la salida del fluido hidráulico del cilindro por la acción de los sellos que van alojados en ella. El diseño de la tapa depende mucho del material a utilizar para su fabricación, las tapas generalmente son fabricadas de Acero H1020, H1045, fierro fundido, Bronce SAE 65, Aluminio o Alumol.

En la fabricación de las tapas se debe cuidar que las cavidades donde se alojan los sellos y pestañas de apoyo de los canales deben estar totalmente concéntricas entre sí, esto permitirá que el sellado de los labios de los sellos hacia el vástago sea uniforme en toda circunferencia.

Ilustración 03 – Tapa externa o Cabeza Delantera

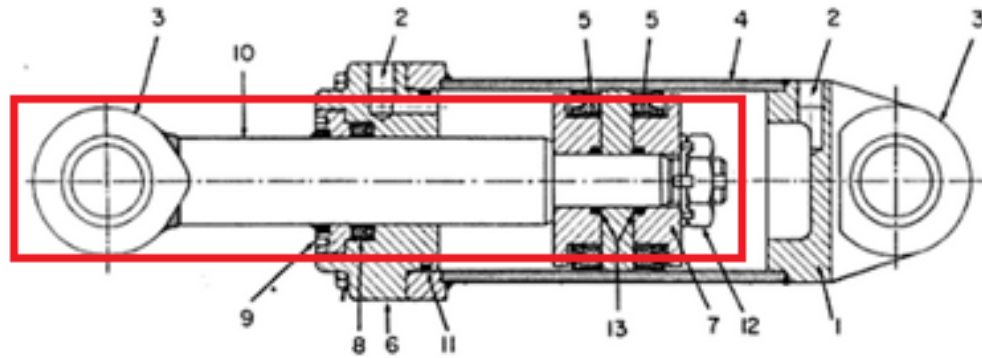


Fuente: ZCEKAJ 1988

c) **Vástago**

Es el componente donde va alojada la tapa y el émbolo, este se desplaza internamente dentro del cilindro por efecto de la presión hidráulica. El vástago regularmente es realizado de una barra cromada completamente lisa para el desplazamiento sin problemas del pistón dentro del cilindro. El vástago debe de encontrarse alineado concéntricamente con el cuerpo de cilindro para su libre movimiento.

Ilustración 04 – Vástago de Cilindro Hidráulico

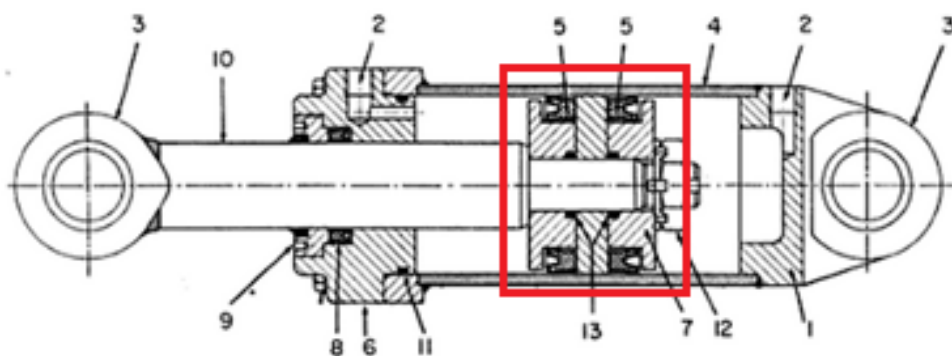


Fuente: ZCEKAJ 1988

d) Pistón

El pistón es el componente que divide el cilindro interior en dos cámaras, la cámara inferior y la cámara del vástago, la presión hidráulica actúa en el pistón para producir el movimiento lineal. El diseño del pistón contiene un agujero en el centro por donde se une el vástago y por donde realiza su movimiento.

Ilustración 05 – Pistón de Cilindro Hidráulico



Fuente: ZCEKAJ 1988

2.1.2. Tipos de cilindro hidráulicos

Los tipos de cilindro son: cilindros de simple efecto y cilindros de doble efecto.

a) Cilindros de simple efecto

El cilindro de simple efecto o émbolo buzo, se trata del cilindro más simple en el que el vástago hace el mismo recorrido de pistón, sin variación de diámetro. El retorno a la posición de repose se efectúa por el peso de la carga o bien por otro medio externo. Si la carrear se corta el vástago está guiado únicamente por el prensaestopas y la camisa. Para evitar que el émbolo se salga del cilindro, lleva una pestaña para hacer tope en el final de la carrera. (CZEKAJ, 1988)

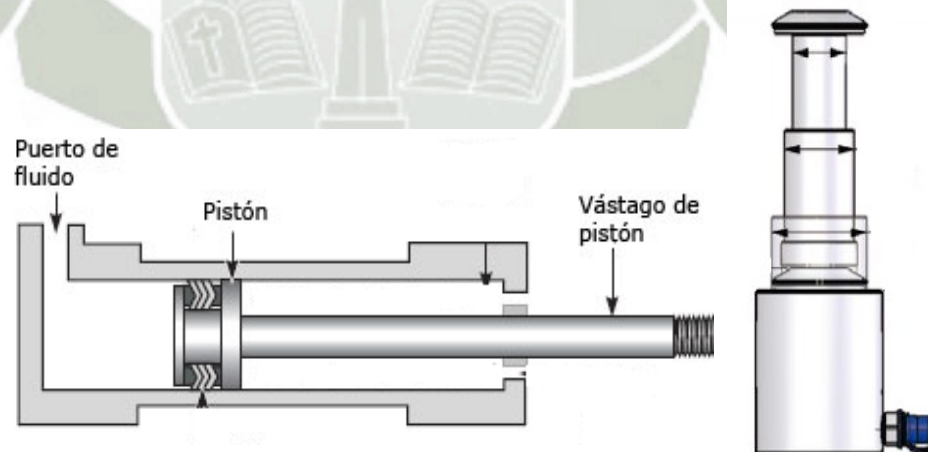
b) Cilindros de doble efecto

Los cilindros de doble efecto se dividen en cilindros de una etapa y cilindros telescópicos.

Los cilindros de una etapa funcionan en los dos sentidos, tanto empujando como tirando, dependiendo de que el aceite empuje al pistón por una cara u otra. Es decir, dependiendo de que el aceite entre por la cabeza delantera o trasera del cilindro.

Los cilindros telescópicos permiten carreras superiores a los cilindros de una etapa para la misma longitud de cuerpo de cilindro. Su funcionamiento es idéntico al cilindro de una etapa. La normalización de dimensiones de los cilindros se refiere principalmente a los diámetros del vástago y del interior del cilindro. Para cada diámetro del interior del cilindro corresponde dos dimensiones de vástago, excepto para los dos primeros de la lista. La razón de esto se debe a que al aumentar la carrera del cilindro, llega un momento en el que el diámetro menor del vástago no es suficiente para soportar el esfuerzo que realiza y corre riesgo de doblarse (CZEKAJ, 1988).

Ilustración 06 – Cilindros de Simple y doble efecto



Fuente: CZEKAJ 1988

2.1.3. Mantenimiento y reparación de cilindros hidráulicos en la industria y clasificación según la función que desempeñan

Existen cada vez más industrias en las que los cilindros hidráulicos se han vuelto indispensables, esto debido a que por aumentar la productividad y la eficiencia en cada trabajo, es necesaria la utilización de las mismas. Industrias como hidroeléctricas, siderúrgicas, cementeras, carboneras, mineras, inmobiliaria, automotora, siendo innumerables las aplicaciones ya que cumplen básicamente un objetivo, el de transformar energía hidráulica en energía mecánica. **(Unicilindros)**

El principal cliente de Hydraulic Systems S.A.C. son las empresas que se dedican a la extracción de minerales, estas empresas utilizan gran cantidad de maquinaria pesada para acarrear el mineral. Es por ello que los cilindros hidráulicos pueden clasificarse de otra manera debido a la función que tienen que desempeñar en la maquinaria:

a) Cilindros hidráulicos de dirección

Los cilindros hidráulicos de dirección se aplican mayormente para obtener un giro en las ruedas de la maquinaria.

b) Cilindros hidráulicos de arrastre

Los cilindros hidráulicos de arrastre son aquellos que generan un empuje hacia la maquinaria, por ejemplo el movimiento que hacen las palas mecánicas al arrastrar su pala por la tierra para cargar el producto es posible gracias al cilindro hidráulico de arrastre.

c) Cilindros hidráulicos de levante

La finalidad de los hidráulicos de levante es básicamente realizar un movimiento vertical de la carga por la maquinaria, por ejemplo el movimiento vertical de un cargador frontal cuando levanta su pala. Sin embargo a pesar de que hay muchos diseños diferentes de cilindros, la manufactura de los mismos es relativamente similar, lo que varía en dichas reparaciones es el tiempo que puede demorarse para cada tipo de cilindro, por ejemplo los cilindros de dirección son diferentes en medidas que los cilindros de arrastre.

2.2. SIMULACIÓN EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

2.2.1. Modelos de simulación como estimación de desempeño de un sistema

La simulación es la mejor alternativa de observación de un sistema, nos permite recolectar información pertinente acerca del comportamiento del sistema al paso del tiempo. La simulación es una técnica que se usa para estimar las mediciones de desempeño de un sistema modelado.

La simulación moderna suele manejar situaciones que pueden describir en el contexto de una línea de espera o cola. La simulación no se limita a eso ya que cualquier situación puede considerarse como alguna forma de línea de espera, y es por ello que la simulación ha gozado de aplicaciones tan tremendas en áreas como redes de comunicaciones, manufactura, control de inventario y comportamiento del cliente, pronósticos económicos y estrategias bélicas. (TAHA, 2012)

2.2.2. Características y beneficios de la construcción de modelos de simulación

Realizar los modelos de simulación consiste en idear una representación simplificada de un sistema complejo, con el objetivo de

proveer predicciones del comportamiento de las medidas de interés de un sistema. Dicha representación simplificada es también conocida como un modelo. Un modelo diseñado para captar ciertos aspectos de comportamiento de un sistema modelado, aquellos aspectos que son de interés para el analista.

El modelador debería usar un sistema real o construir uno experimental si aún no existe. Modelos están típicamente contruidos para evitar una costosa y tediosa proposición en cambios físicos. Más específicamente mientras el modelado de sistemas está últimamente motivado por consideraciones económicas, existen algunas otras como:

a) **Evaluar comportamiento de sistemas bajo ordinario e inusuales escenarios**

Muchas veces en un sistema de producción tiene que ser necesario realizar un modelo, debido a que es muy difícil intentar modificar el sistema sin que éste sufra consecuencias irreparables.

b) Predecir el rendimiento de diseños de algunos sistemas experimentales

Cuando algún escenario no existe aún, la construcción de un modelo es mucho más barata y además segura que construir un sistema real en forma de prueba que pueda o no funcionar correctamente.

c) Análisis de ventajas y desventajas de un sistema

Lo que juega un papel fundamental es la motivación económica que permite realizar una comparación a un muy bajo costo. (*Altiok, Melamed, 2010*)

2.2.3. Software de simulación Arena 14.0

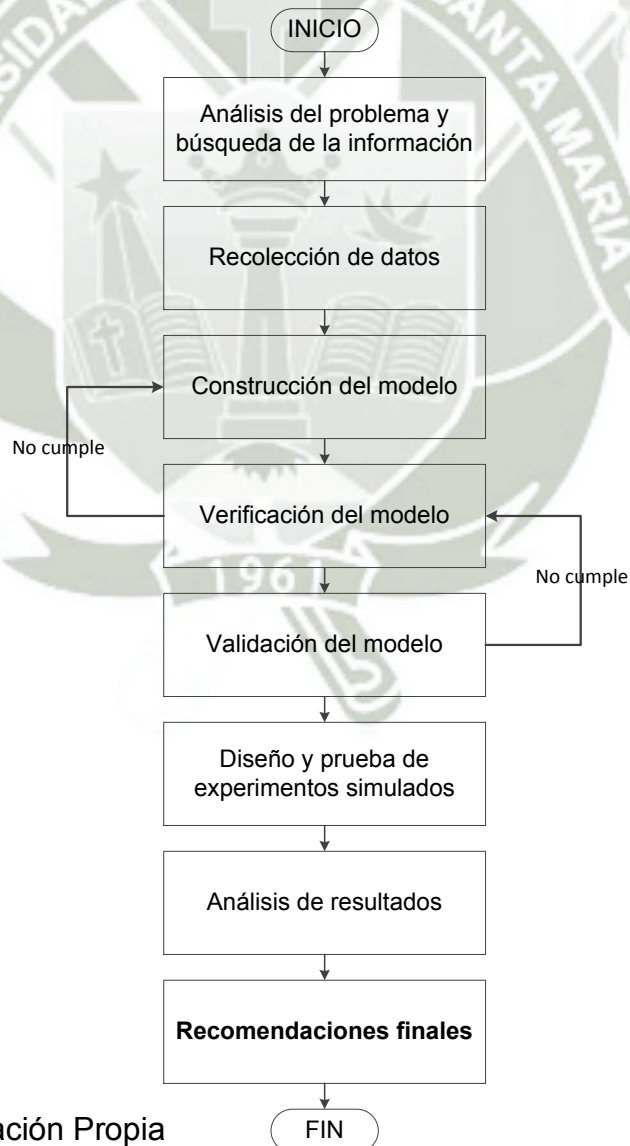
Es un sistema de simulación para eventos discretos, que contiene todos los recursos para el modelado, animación, análisis estadístico y análisis de los resultados, permitiendo así realizar un estudio del escenario operacional, enfocado en los procesos existentes en el sistema de estudio.

El proceso de modelado en Arena es muy simple, consiste en explicar cómo funciona el sistema a través de un lenguaje de fácil entendimiento, semejante a un flujograma. El Arena une estudio por procesos para ejecución de simulación, éste técnica puede ser

considerada como una situación en que los elementos estáticos, formando un ambiente bien definido con sus reglas y propiedades interactúan como elementos dinámicos que fluyen dentro de ese ambiente. **(Gomez, 2008)**

2.2.4. Construcción de modelos de simulación

Diagrama 01 –Diagrama de Bloques de Construcción de Modelos de Simulación



Fuente: Elaboración Propia

a) Análisis del problema y búsqueda de información

El primer paso en construir un modelo de simulación es analizar el problema en sí que desea ser resuelto, teniendo en cuenta que los sistemas de modelación no se realizan por solo tenerlos sino que son orientadas a un problema cuya solución es la misión del proyecto. Para poder facilitar las soluciones el analista primero reúne información estructural relacionada al problema.

Esta actividad incluye la identificación de parámetros de entrada, desempeño de medidas de interés, relaciones entre parámetros y variables. Luego la información es representada por un diagrama de flujo lógica, de forma narrada u otra forma de representación, una vez que la información se encuentre ordenada y representada, el problema puede ser analizado y observar algunas soluciones.

b) Recolección de datos

La recolección de datos es necesaria para estimar los parámetros de entrada. El analista puede formular suposiciones de las distribuciones de las variables en el modelo. Cuando no hay mucha información o datos, aún es posible estimar en rangos o parámetros y simular el modelo para todos o algunos de los datos dentro del rango. La recolección de datos también será necesaria para la validación de los datos ya que se comparan con los resultados

obtenidos para observar si éstos pueden ser utilizados como fuente y representan validez. Los tipos de distribuciones más utilizados en los sistemas y con los que se identificarán son: distribuciones de tipo discretos y de tipo probabilísticos.

El primer paso para la recolección de datos es conocer el tamaño de muestra que debemos tomar inicialmente para conseguir un nivel de confianza aceptable y podamos obtener resultados confiables.

(Altiok, Melamed, 2010)

b.1. Tamaño de muestra

Conocer el tamaño de muestra es esencial para tener en cuenta la cantidad de datos a tomar para que nuestro estudio tenga una confiabilidad aceptable, para ello inicialmente se tiene que identificar los casos posibles para encontrar un tamaño de muestra.

(Fernandez, 2001)

- ***Estimando una media***

Cuando se desea obtener el tamaño de muestra estimando una media:

Con población inicial infinita o desconocida se utilizará la siguiente fórmula

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * S^2}{e^2}$$

Con población finita: Es decir se conoce el total de la población y se desea conocer cuántos del total son necesarios estudiar.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * S^2}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * S^2}$$

Una vez conocido el tamaño de muestra es ahora posible empezar a la recolección de datos para resultados que tengan la confiabilidad necesaria para llevar a cabo un buen estudio.

Una vez tomados los datos, es necesario analizarlo e identificar la distribución con la que pueden ser representados. Estas distribuciones pueden ser de dos tipos: distribuciones discretas (Uniforme, geométrica, Binomial, Poisson) y continuas (Uniforme, Gamma, Triangular, Weibull, Exponencial, Normal, Erlang, Lognormal, Beta)

A continuación se exponen las distribuciones:

b.2. Distribuciones comunes

- ***Distribución Uniforme***

Una variable aleatoria uniforme “X”, asume un valor en el intervalo $S = [a, b]$, $b > a$, de tal forma que toma cada uno de sus valores con la misma probabilidad de ocurrencia. La distribución uniforme

es denotada por $Unif(a, b)$ y es la distribución continua más común.

- ***Distribución Triangular***

Una variable aleatoria triangular, X , asume valores en el intervalo $S = [a, b]$ con el valor más probable (la moda) siendo algún punto perteneciente a dicho conjunto. La probabilidad aumenta linealmente en el subintervalo $[a, c]$, y decrece en el subintervalo $[c, b]$ y es por ello que la densidad tiene fórmula triangular. La distribución triangular es denotada por $Tria(a, c, b)$.

Una distribución triangular es utilizada anormalmente cuando no se tienen mucha información, solamente del valor máximo y del valor mínimo $[a, b]$ y además del valor que tiene mayor probabilidad de repetirse que es la moda $[c]$. La opción de $[c]$ determina la oblicuidad de la distribución triangular.

- ***Distribución Exponencial***

Una variable aleatoria exponencial, X , asume un valor en la línea media positiva $S = [0, \infty]$. La distribución exponencial es denotada por $Expo(\lambda)$.

Las variables aleatorias con comportamiento exponencial son raramente usados en un modelo aleatorio de llegadas intermitentes. La

distribución exponencial también es raramente usada en modelos matemáticos porque en la mayoría de los casos convierte el análisis muy flexible.

- ***Distribución Normal***

Una variable aleatoria con comportamiento normal X , puede asumir cualquier valor real en el conjunto $S = (-\infty, +\infty)$. La distribución normal es denotada por $\text{Norm}(\mu, \sigma^2)$, donde μ es la media y σ^2 es la varianza y tiene la familiar forma de una campana, popularmente conocida como curva de campana o también llamada distribución gaussiana.

Una variable aleatoria de comportamiento normal es usada en varios fenómenos que pueden ser expresadas como sumas de variables aleatorias que se demuestra en el teorema del límite central.

- ***Distribución Logarítmica***

Una variable aleatoria con comportamiento logarítmico, X , asume el valor en la media línea positiva $S = [0, \infty]$. La distribución logarítmica es denotada como $\text{Logn}(\mu, \sigma)$, donde μ es un parámetro de escala mientras que σ denota el parámetro de forma.

- ***Distribución Gamma***

Una variable aleatoria con comportamiento Gamma, X , asume valores positivos en la media recta positiva $S = [0, \infty]$. La distribución gamma es denotada por: $\text{Gamm}(\alpha, \beta)$, donde $\alpha > 0$ y es el parámetro de forma mientras que $\beta > 0$ es el parámetro de escala.

- ***Distribución t Student***

Una variable aleatoria con comportamiento t-student, X , puede asumir cualquier valor de la recta $S = [-\infty, \infty]$, la distribución t es denotada por $t(n)$, donde “n” es el número de grados de libertad

- ***Distribución Beta***

Una variable con distribución beta, X , asume un valor en el intervalo unitario $S = [0, 1]$. La distribución beta viene denotada por: $\text{Beta}(\alpha, \beta)$, donde $\alpha > 0$ y $\beta > 0$ y ambos son parámetros de forma.

- ***Distribución Weibull***

Una variable aleatoria Weibull, X , asume valores positivos de la media recta $S = [0, \infty]$, La distribución Weibull es denotada por

Weib(α , β), donde $\alpha > 0$ siendo el parámetro de forma y $\beta > 0$ es el parámetro de escala. (*Altiok, Melamed, 2010*)

b.3. Prueba de bondad de ajuste

La prueba de bondad de ajuste compara la distribución de frecuencias observadas (F_o) que puede ser cuantitativa o cualitativa, con la distribución de frecuencias de la misma variable medidas en un grupo de referencia. EL procedimiento implica el cálculo de una distribución esperada (F_e) en el grupo estudiado, usando como punto de partida a la distribución de frecuencias de la misma variable mediana en un grupo de referencia. Siendo el propósito de la prueba es averiguar si existen diferencias estadísticamente significativas entre la distribución observada (F_o) y la distribución esperada (F_e) (**Reinaga**).

c) Construcción del modelo

Una vez que el problema está completamente estudiado y los datos requeridos están recogidos, el analista puede preceder con la construcción del modelo e implementarlo en el programa de computadora (En este caos utilizaremos el software Arena 14.0)

d) Verificación del modelo

El propósito de la verificación del modelo es el de asegurarse que el modelo se encuentra correctamente construido, la verificación asegura de que el modelo cumple con todos los requerimientos especificados y hace lo que se supone que debe hacer. Cualquier discrepancia será conciliada y modificadas según lo necesario.

e) Validación del modelo

Todo modelo que se genere debe d estar sujeto a una validación de datos. La validación del modelo examina el ajuste de los datos empíricos del modelo (aquellas mediciones del sistema que serán modelados). Un buen ajuste del modelo significa que un conjunto de importantes medidas de desempeño predichas por el modelo es razonablemente cercano a las medidas observadas en un sistema real. Obviamente ésta validación solo será posible si el sistema existe, si existiese alguna discrepancia del comportamiento del modelo con el del sistema real, entonces se podría decir que el modelo es inadecuado para los propósitos del proyecto y las modificaciones son necesarias para su validación y normalmente es muy común contar con diferentes ciclos de construcción del modelo, verificación, validación y nuevamente la modificación.

f) Diseño y pruebas de experimentos simulados

Una vez que el analista confirme que el modelo es válido, se procede a diseñar el set de experimentos de simulación (corridas), para estimar el comportamiento del modelo y ayudar a resolver el problema planteado. El analista diseña un número específico de escenarios y realiza las corridas correspondientes en la simulación y recoge los resultados de su trabajo.

Para alcanzar suficiente confiabilidad estadística relacionadas al comportamiento de los índices, cada escenario es replicado (correr la simulación “n” veces, sujeto a diferentes secuencias de números aleatorios) y el promedio del resultado es utilizado para reducir la variabilidad estadística.

g) Análisis de resultados

El rendimiento estimado de los índices están sujetos a un análisis estadístico y lógico. EL problema principal en este apartado es elegir el mejor escenario de un número establecido de alternativas. Un análisis estadístico debería correr pruebas de inferencia estadística para determinar si una de esas alternativas está diseñada para obtener el mayor rendimiento de los índices establecidos y deberá ser seleccionado con el mejor diseño propuesto.

h) **Recomendaciones finales**

Finalmente el analista usa los análisis obtenidos para formular la recomendación final para el problema en el sistema. Éste usualmente parte de un reporte escrito.

2.2.5. **Costos y riesgos en la simulación**

La simulación de modelos que ciertamente es altamente efectiva no es gratis. Los costos principales incurridos en la simulación y los riesgos que se tienen son:

a) **Costo de modelación**

Como cualquier otro paradigma de modelación, un buen trabajo en la simulación de un modelo es un prerrequisito para soluciones efectivas. En cualquier caso este proceso es más arte que ciencia, y la adquisición de buenas habilidades en la simulación requieren práctica y experiencia.

En consecuencia simulación de modelos pueden ser procesos largos y costosos. Como cualquier otro negocio, el analista corre el riesgo de postular una inexacta y evidentemente un modelo que esté mal trabajado, el cual se manifiesta en la etapa de validación. Otra trampa para el analista es un modelo en el que se incluya excesiva

información y detalle, el arte de simular un modelo incluye la construcción de un sistema con la menor cantidad de detalle pero que pueda realizar su trabajo y muestre la realidad.

b) Corridas de simulación

Simular un modelo hace extensiva la utilización de estadística, el analista debe de tener sumo cuidado al construir los experimentos a simular y lograr confiabilidad en los resultados. Esto significa que tanto el número de corridas en la simulación (replicación) y su duración deberían ser una magnitud adecuada. Al no verificar este tema se corre el riesgo de obtener resultados que no generen la confianza necesaria en las medidas que se buscan. Por otro lado muchas, con algunos modelos de simulación se requiere recursos de computación (espacio de memoria y tiempo de CPU)

c) Análisis de datos de salida

Los resultados de la simulación deberán de ser analizados y apropiadamente interpretados, incorrectas predicciones basadas en un análisis erróneo estadístico y un erróneo entendimiento del comportamiento del sistema siempre presentarán sus propios riesgos. **(Altiok, Melamed, 2010)**

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN Y DIAGNÓSTICO SITUACIONAL ACTUAL

3.1. LA EMPRESA

3.1.1. Datos Generales

Razón Social: Hydraulic Systems S.A.C.

RUC: 20254765652

Dirección: Calle Manuel Vinelli 146 Parque
Industrial Arequipa, Arequipa
Av. Industrial Nro. 584 Lima

Teléfono de oficina: (054) - 241712

Web: www.hydraulic.pe

3.1.2. Reseña Histórica

La empresa fue fundada el año 1994 bajo la dirección y capacitación técnica de COLCO (Red asociada de compañías dedicada a la fabricación de equipos para minería y reparación de cilindros hidráulicos; con sede principal en Vancouver Canadá); hoy forman parte de un grupo de 21 plantas alrededor del mundo que constituyen la mayor red asociada de plantas de mantenimiento y producción de cilindros hidráulicos del mundo, con las cuales se mantiene un constante intercambio y asistencia técnica, traduciéndose en ofrecer un servicio integral de óptima calidad. (*Hydraulic Systems, 2013*)

3.1.3. Misión

Ofrecer a los clientes el menor costo por hora de trabajo de los componentes reparados o de los productos industriales atendidos; mediante el desarrollo permanente del recurso humano, en un ambiente de trabajo seguro, comprometidos con el medio ambiente y mejorando continuamente los procesos acorde a la nueva tecnología y apoyado sobre una logística de importaciones de alcance global.

3.1.4. Visión

Ser un proveedor líder en la comercialización, reparación y mantenimiento de cilindros hidráulicos obteniendo siempre la confianza de los clientes, logrando el bienestar y desarrollo de los trabajadores en un medio de producción seguro.

3.1.5. Servicios de la empresa

El principal ingreso de la empresa se obtiene por el mantenimiento y reparación de partes de los cilindros hidráulicos, estos cilindros mayormente son componentes de maquinaria pesada. Los servicios que ofrece es el rectificado o reparación del cuerpo de cilindro basándose dentro del rango de tolerancia de acuerdo a los ajustes tomados en la pieza original; rectificado de vástagos, manteniéndose dentro del rango de tolerancia por especificaciones brindados por los fabricantes o la fabricación dependiendo a las fallas presentadas; de acuerdo a los desgastes generados, del pistón y de las tapas se podrían recuperar o dependiendo de su estado se podría fabricar nuevas piezas para su intercambio.

Los sellos se deben cambiar y en lo posible utilizar kits que se encuentren dentro de un catálogo para uniformizarlos con medidas de kits originales

3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE REPARACIÓN DE CILINDROS HIDRAULICOS

3.2.1. Materia Prima e Insumos

a) Cilindro o camisa microbruñida

Son fabricados de tubos de acero microbruñidos o barras de acero perforadas dependiendo de las características del componente original. Los tubos microbruñidos vienen con las medidas nominales acabadas ya sea en pulgadas como en milímetros. Las barras perforadas son usadas cuando el tipo de cilindro a fabricar tiene otra dimensiones diferentes a los estándares o cuando se tiene acondicionado externamente dispositivos que van soldados a este.

b) Barras de acero cromado

Los vástagos pueden fabricarse de barras cromadas normales o endurecidas, así como de acero H1045.

En la mayoría de casos se utiliza barras de aceros endurecidas, que se caracterizan por tener tres capas: La sección interior de acero H1045, una capa endurecida y la capa externa de cromo.

Las barras de acero normales solamente disponen de dos capas: La sección interior de acero H1045 y la capa externa cromada.

c) Cilindros de acero para tapas y pistones

Además de acero, las tapas pueden fabricarse a partir de hierro fundido, bronce SAE 65 o aluminio, dependiendo básicamente al material de los componentes originales. Cada material tiene su característica que lo diferencia en la función que va a desempeñar como por ejemplo propiedades de baja fricción o auto lubricación, etc.

Para los pistones se tienen los mismos principios del proceso de fabricación de tapas.

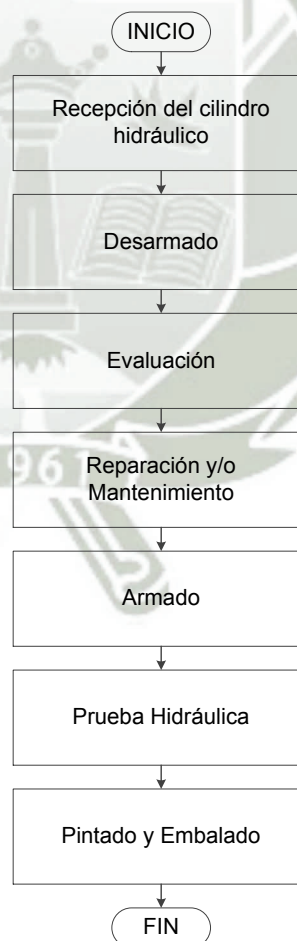
d) Sellos Hidráulicos

Es el dispositivo que previene el escape o paso de fluido, un sello para cilindro hidráulico se utiliza para sellar dos superficies bajo condiciones de presión fluctuantes. Los sellos para cilindros hidráulicos se encuentran como piezas individuales o en kits de diversas marcas de fabricantes como: CAT, KOMATSU, ATLAS COPCO, o alternativos como Hércules, Grizzly.

3.2.2. Operaciones del proceso de reparación y mantenimiento de cilindros hidráulicos

El proceso de mantenimiento y reparación de un cilindro hidráulico en la mayoría de casos es el mismo, es decir así se diferencien en tamaño y función, siempre se utilizarán las mismas técnicas, herramientas y procedimientos para poder diagnosticar, reparar y brindarle mantenimiento a los cilindros hidráulicos.

Diagrama 02– Diagrama de bloques del Proceso de reparación y Mantenimiento de Cilindros hidráulicos



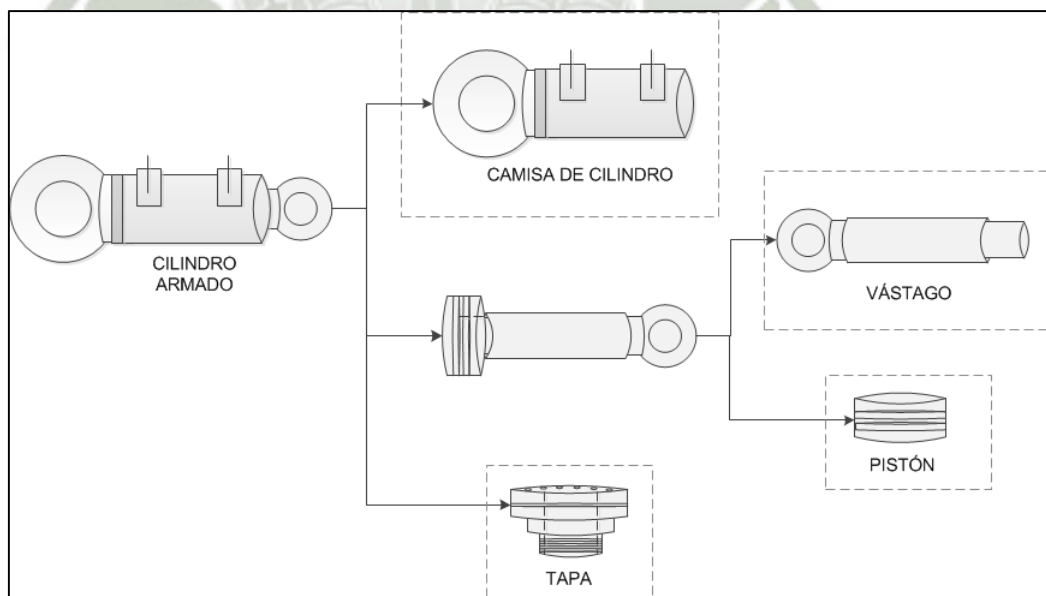
Fuente: La empresa, elaboración propia.

a) **Procesos de Desarme y Evaluación**

Cuando el componente se encuentra en el área de evaluación, el técnico programado para la actividad lo desarma, haciendo uso de herramientas para desprender la tapa posterior y retirar el vástago, posteriormente se retira el pistón y así quedan todos los principales componentes separados para realizar su evaluación.

La evaluación consiste en realizar una inspección metódica de cada una de las partes, es considerado el inicio del proceso de mantenimiento ya que el técnico elabora un informe diagnosticando los problemas que se tiene y además recomienda los trabajos a realizarse para poner operativo dicho hidráulico.

Ilustración 07 – Desarme y Evaluación



Fuente: Elaboración propia

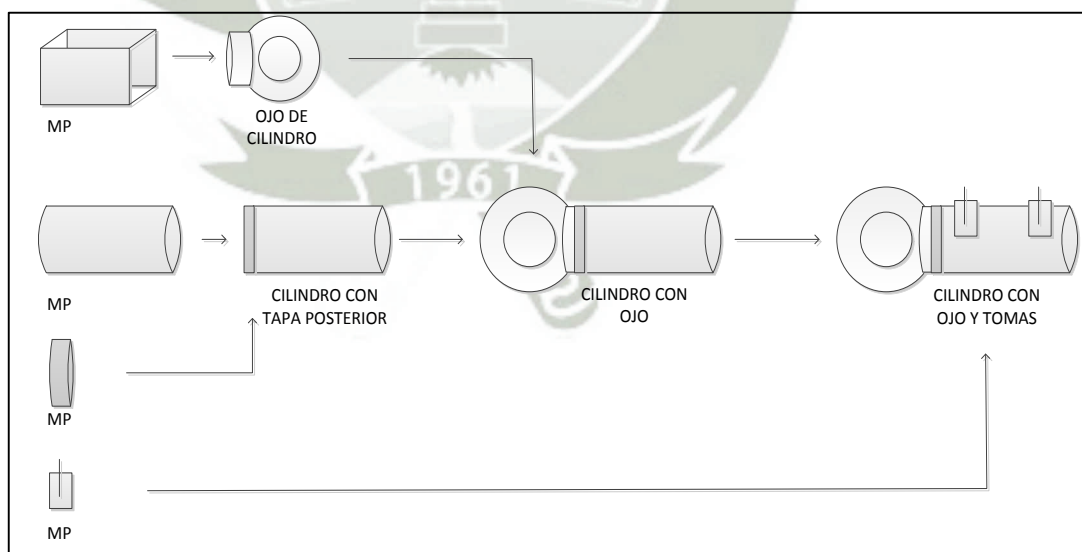
b) Proceso de Reparación y Mantenimiento

b.1. Proceso Productivo de Cilindro

Para la producción de un cilindro completamente nuevo que sea similar al cilindro original del cliente es necesario materia prima para realizar el nuevo ojo de cilindro y cilindro; además se necesita material para la tapa posterior y nuevas tomas. Para la manufactura del cilindro se necesita un cilindro microbruñado que tenga la misma dimensión en diámetro exterior e interior que el cilindro original.

El proceso se inicia con la llegada de la materia prima, para el cilindro se utiliza un cilindro microbruñado; para el ojo de cilindro se necesita un cubo de acero. El cubo es maquinado mediante fresado y torneado para obtener las medidas y la forma del componente original.

Ilustración 08 – Proceso Productivo de Cilindro



Fuente: Elaboración Propia

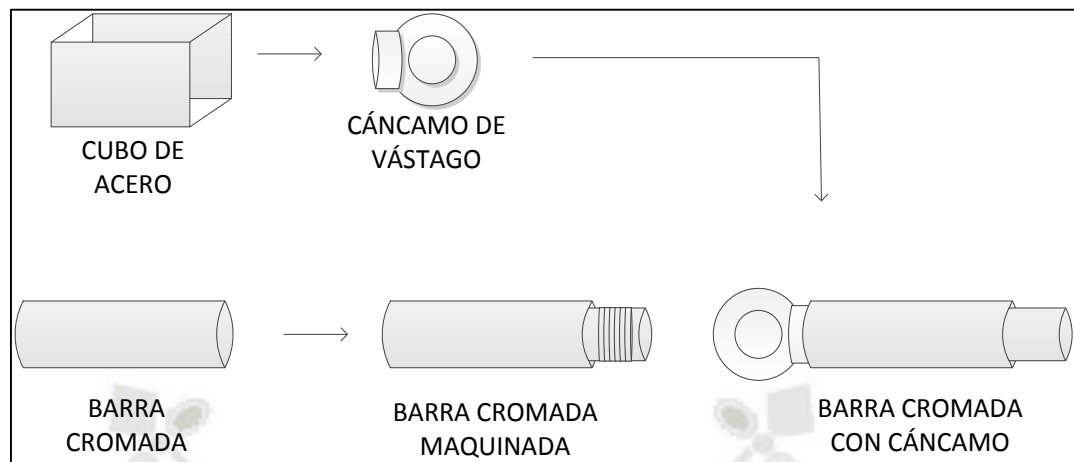
El cilindro microbruñido es maquinado para obtener las medidas del componente original para luego ser soldado con la tapa posterior, cuyo maquinado también es necesario.

El cilindro pasa a la fresa para realizarle los agujeros para su posterior soldado con las tomas, finalmente una vez terminado el proceso es necesario realizarle un bruñido al interior del cilindro para obtener uniformidad en la superficie (*Ilustración 10*).

b.2. Proceso Productivo de Vástago

Para la manufactura del vástago es necesario contar con la materia correspondiente, un cubo de acero para la fabricación del cáncamo de vástago (ojo de vástago) y la barra de acero cuya parte externa debe de estar cromada.

En el proceso el ojo de cáncamo se realiza mediante el fresado mientras que la barra cromada es modificada según las medidas del componente original mediante el maquinado; además de generar un hilo para adherir el pistón en la parte inferior del mismo. Se une tanto barra cromada como el cáncamo de vástago mediante soldadura y finalmente se maquina con torno para darle un acabado uniforme.

Ilustración 09 – Proceso Productivo de Vástago

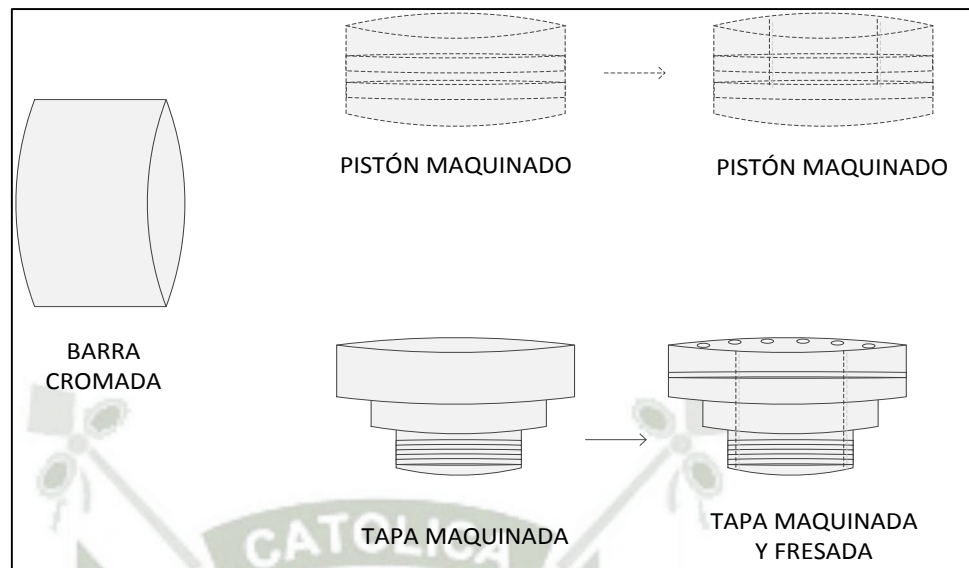
Fuente: Elaboración Propia

b.3. Proceso Productivo de Tapa y Pistón

Una tapa o pistón requieren ser fabricadas cuando su estado impide ser reutilizada, por ejemplo si tiene abolladuras irre recuperables, rosca deteriorada, se encuentra ovalada o ha perdido su tolerancia. Las tapas y pistones pueden ser fabricados en un tipo de acero comercial SAE1045, bronce SAE65 según sea la aplicación

Se necesita un cilindro del material a utilizar y el proceso consiste en replicar las medidas de la tapa y pistón originales. La tapa y pistón poseen canales internos y externos respectivamente en dónde ingresan los sellos que forman parte esencial para el buen funcionamiento de los cilindros hidráulicos, evitando fugas, evitando que agentes externos ingresen al interior, etc.

Ilustración 10 – Proceso Productivo de Tapa y Pistón

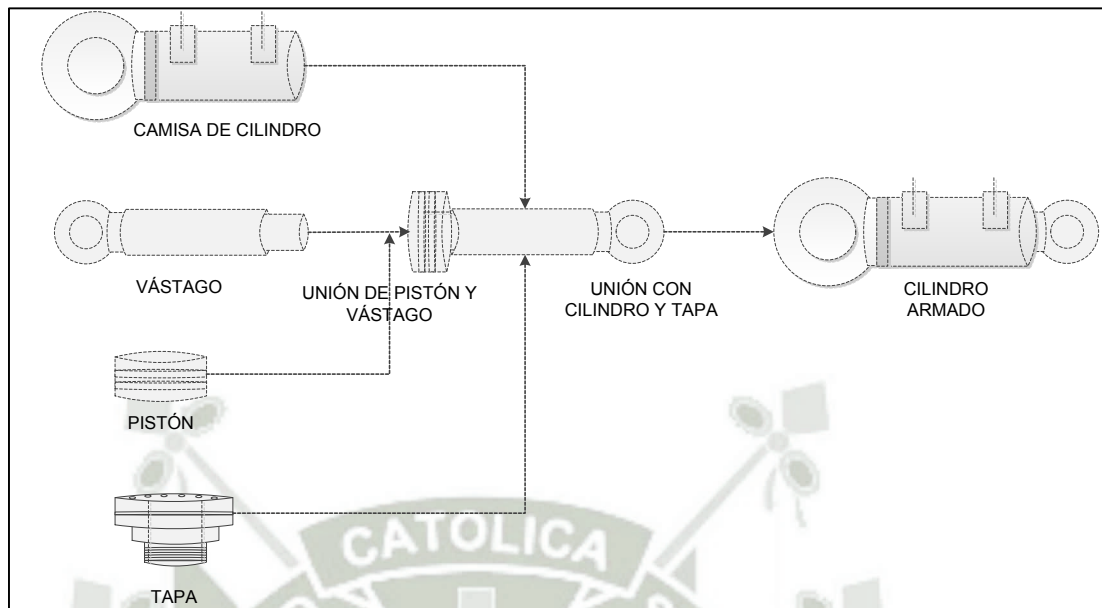


Fuente: Elaboración Propia

c) Proceso de Armado y Prueba Hidráulica

El armado y prueba de cilindros es una de las etapas finales del proceso de mantenimiento. Cuando llegan a este punto las diferentes partes del componente, es porque cumple con los requerimientos pactados con el cliente y han pasado un control de calidad en cada una de las áreas que fueron trabajadas. El armado consiste en unir las piezas producidas en su orden original para que pueda tener un buen desenvolvimiento en el lugar de trabajo. Una vez armado el cilindro se realiza la prueba hidráulica, que consiste en simular el funcionamiento en una prensa hidráulica en condiciones normales, ésta simulación permite comprobar que la manufactura y el ensamblaje fueron realizados de manera correcta

Ilustración 11 – Proceso de Armado

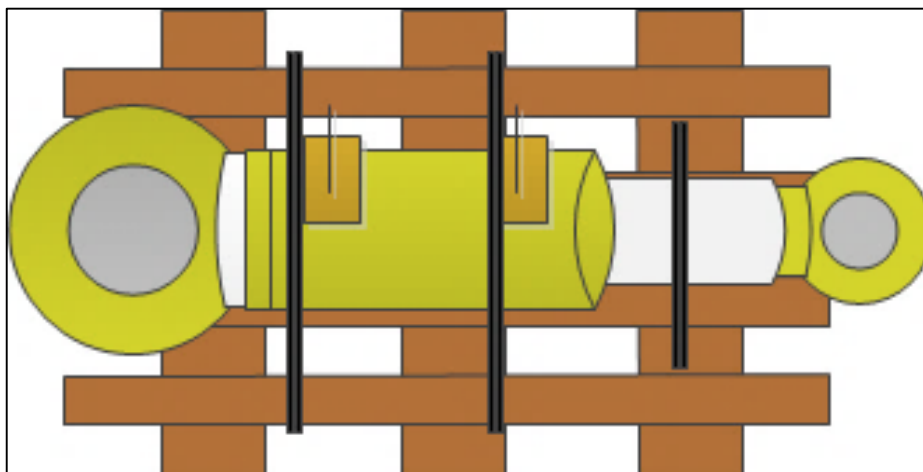


Fuente: Elaboración Propia

d) Pintado y Embalado

La pintura y embalaje de los componentes es la parte final del proceso de reparación o manufactura, cuando se llega a ésta área significa que ya pasó por su debido control de calidad. Tenerlos listos y preservados para el despacho es muy importante ya que esto evita que se deteriore en el transporte, en el almacenamiento por parte del cliente o se causen daños severos por las condiciones ambientales (corrosión).

Ilustración 12 – Proceso de Pintado y Embalado



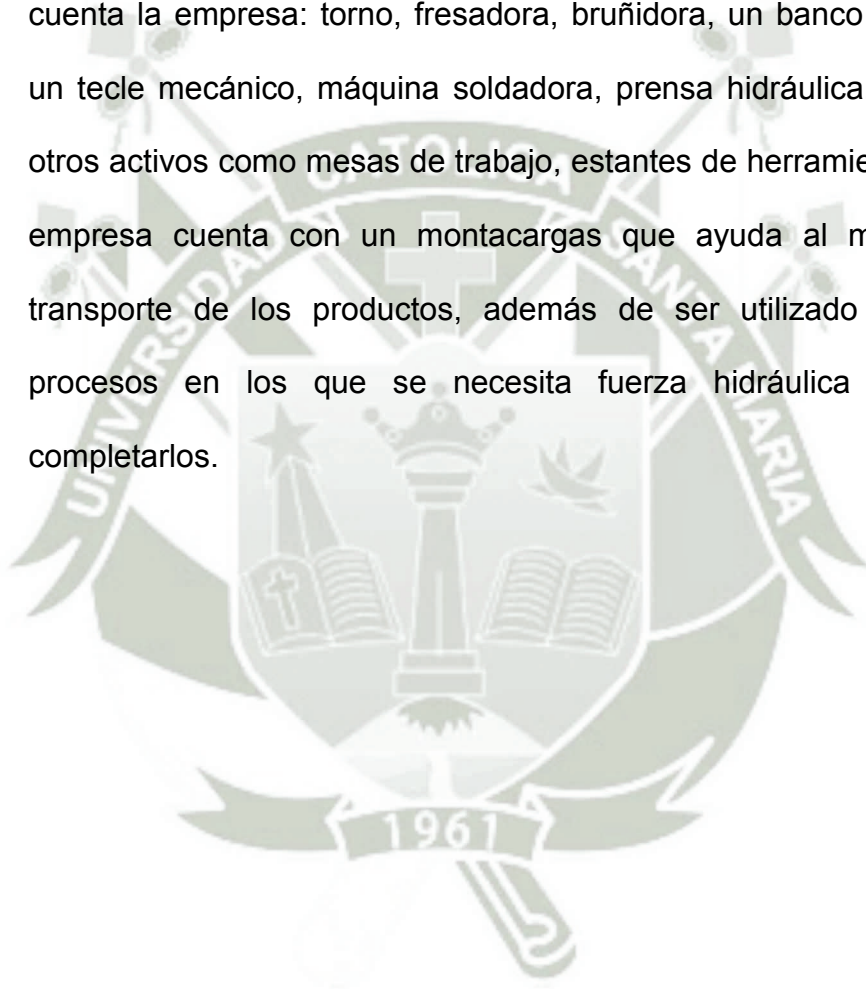
Fuente: Elaboración Propia

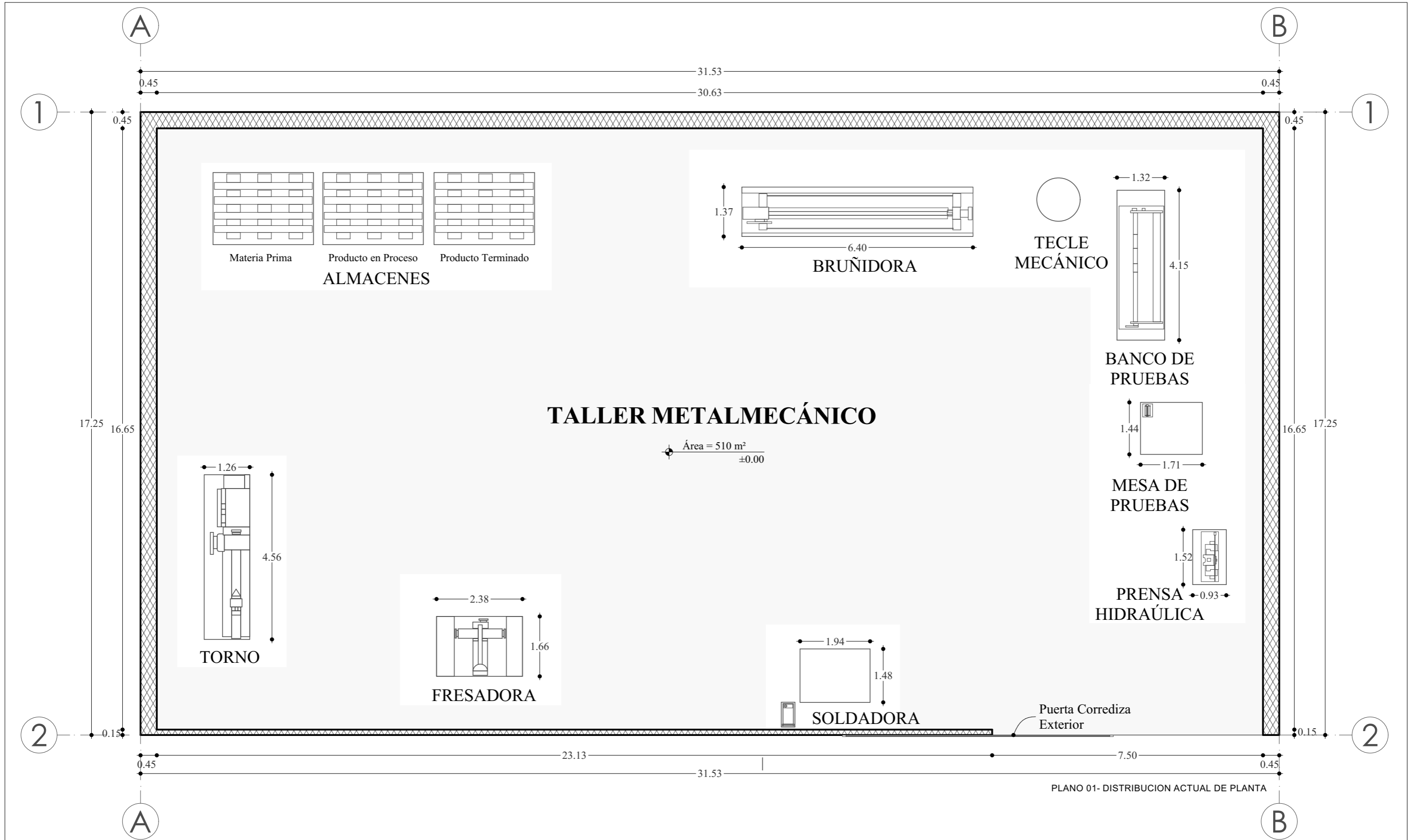
3.2.3. Recursos Humanos de la empresa

Los recursos humanos del área de producción cuentan con 1 tornero, 2 evaluadores, uno de los cuales está capacitado para utilizar la fresadora, 2 soldadores que también están capacitados para utilizar la bruñidora, todos cuentan con licencia para utilizar el montacargas y además pueden encargarse del pintado y embalado final del producto. Los horarios de trabajo para todo el personal es de lunes a viernes de 8 am hasta las 7:00 pm con 1 hora intermedia para el almuerzo y los días sábados de 8 am a 11 am.

3.2.4. Organización de los equipos

El área de producción de la empresa metalmecánica cuenta con 516.65 m², los cuales se encuentra pavimentados con cemento endurecido y pulido debido a que se trabaja con productos pesados. Los productos puede ser mantenidos o producidos gracias a la maquinaria con la que cuenta la empresa: torno, fresadora, bruñidora, un banco de pruebas, un tecele mecánico, máquina soldadora, prensa hidráulica, además de otros activos como mesas de trabajo, estantes de herramientas, etc. La empresa cuenta con un montacargas que ayuda al movimiento y transporte de los productos, además de ser utilizado en algunos procesos en los que se necesita fuerza hidráulica para poder completarlos.

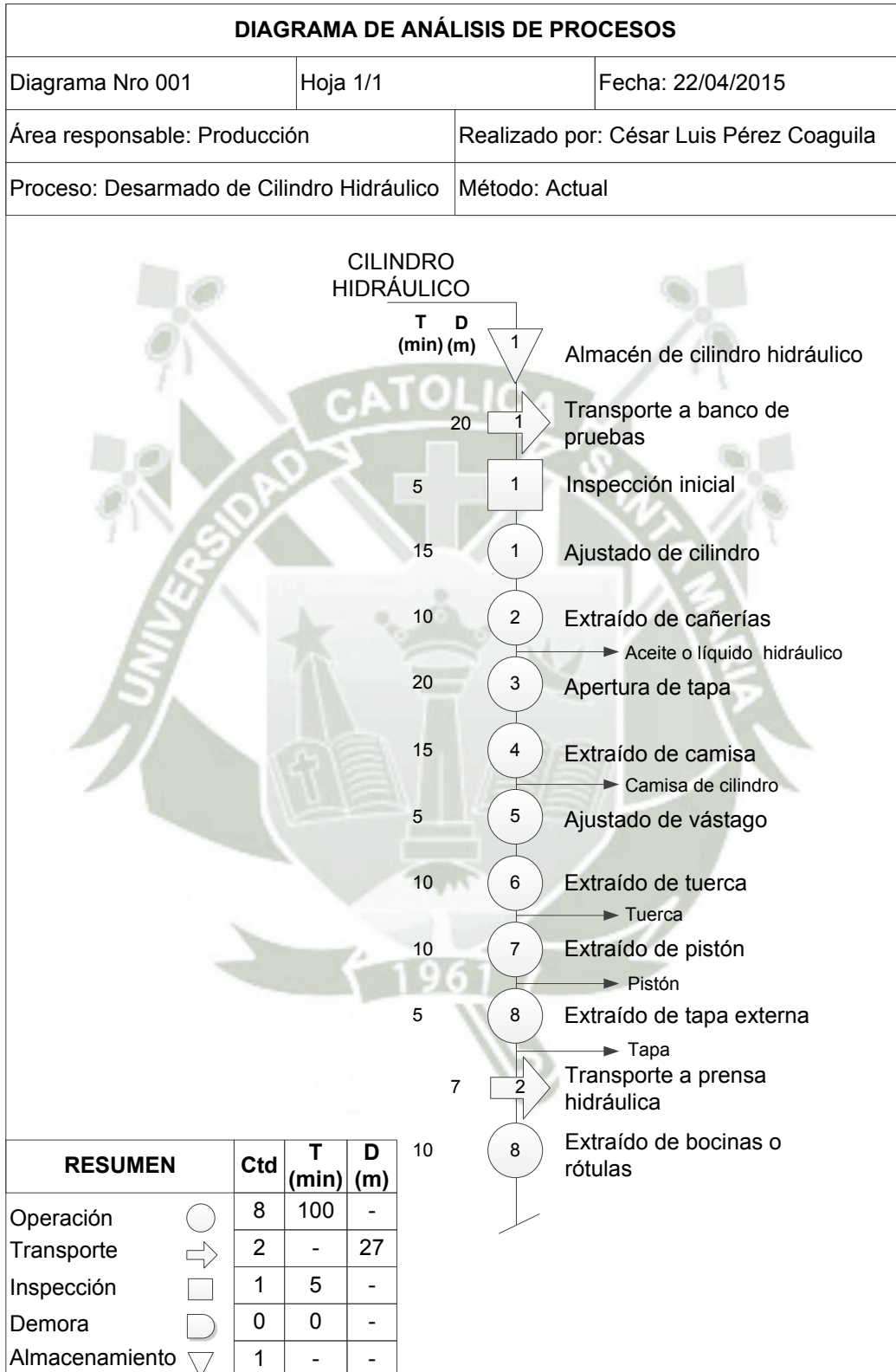




PROYECTO: PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN PRODUCTIVA PARA EL MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE CILINDROS HIDRÁULICOS EN UNA EMPRESA METALMECÁNICA APLICANDO TÉCNICA DE SIMULACIÓN				ESCALA: 1 / 100
PLANO: ARQUITECTURA ACTUAL DEL TALLER METAL MECANICO				FECHA: NOVIEMBRE 2015
ELABORADO POR: Bach. Cesar Luis Pérez Coaguila				LAMINA: 1 - DE -
UBICACIÓN: PROVINCIA :AREQUIPA DISTRITO :AREQUIPA DEPARTAMENTO :AREQUIPA				CODIGO: 2008240911
A-1				

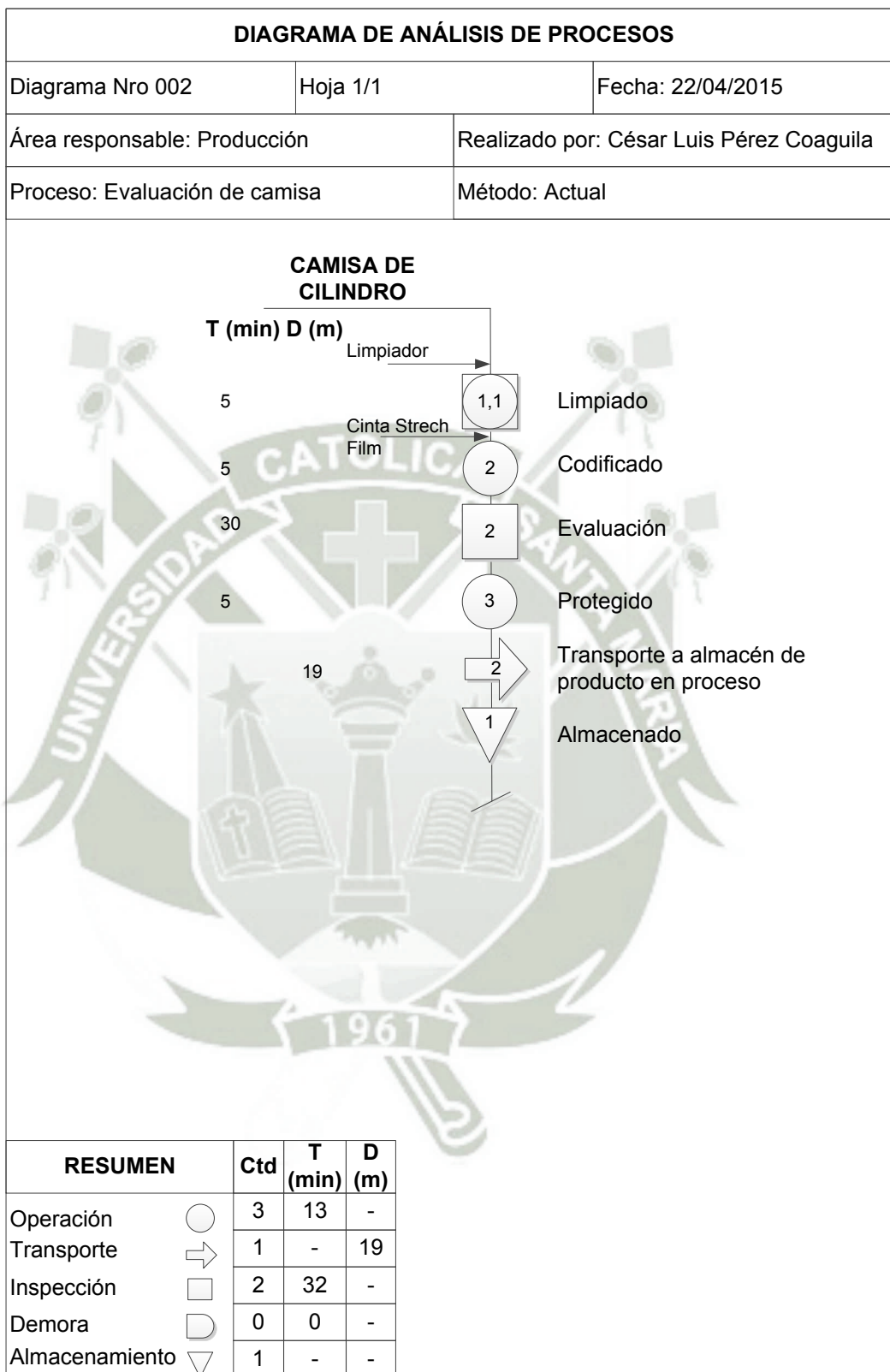
3.2.5. Diagrama de Análisis del Proceso

Diagrama 03– DAP Desarmado de cilindro hidráulico



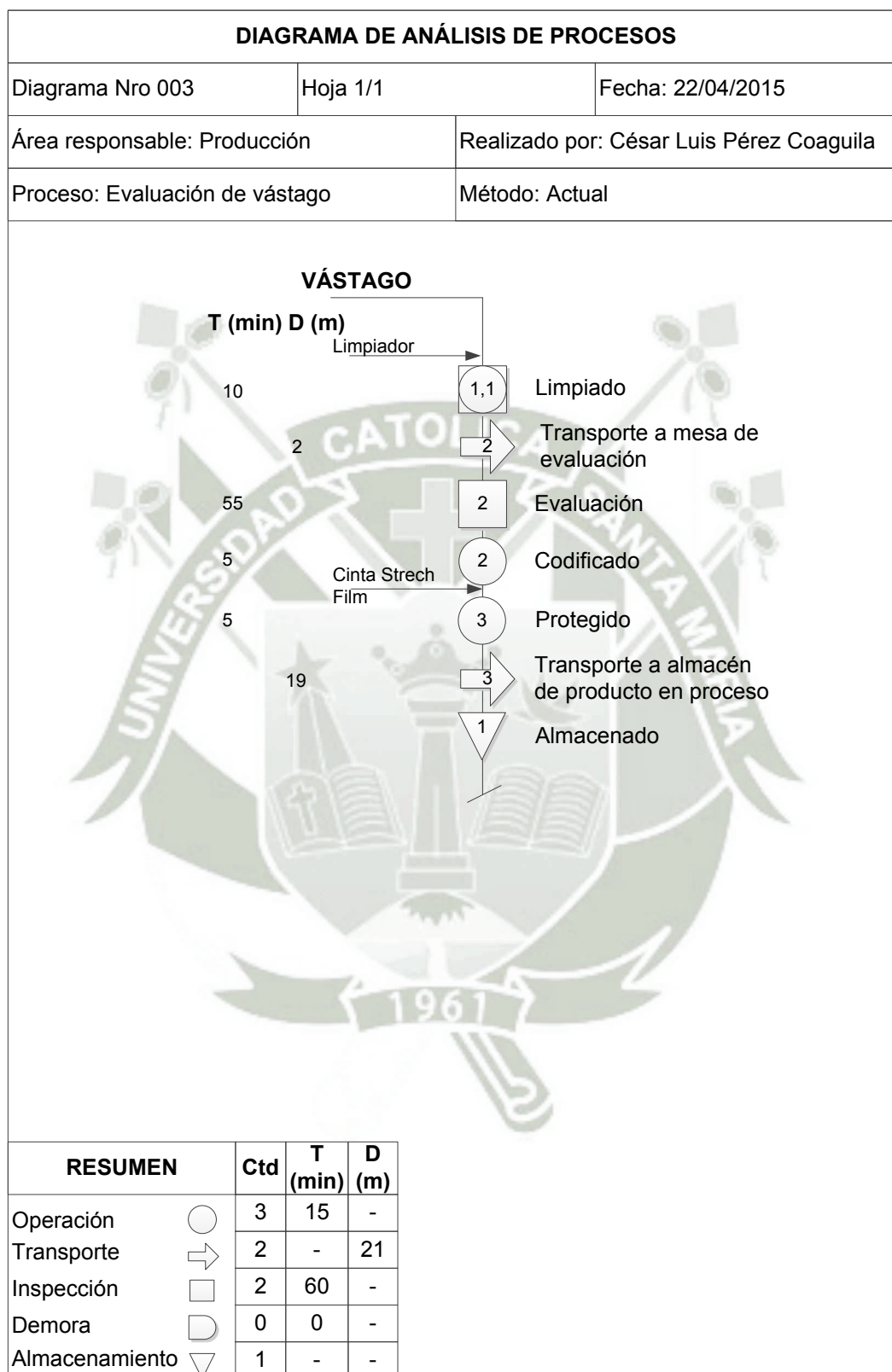
Fuente: Elaboración Propia

Diagrama 04 – DAP Evaluación de Camisa



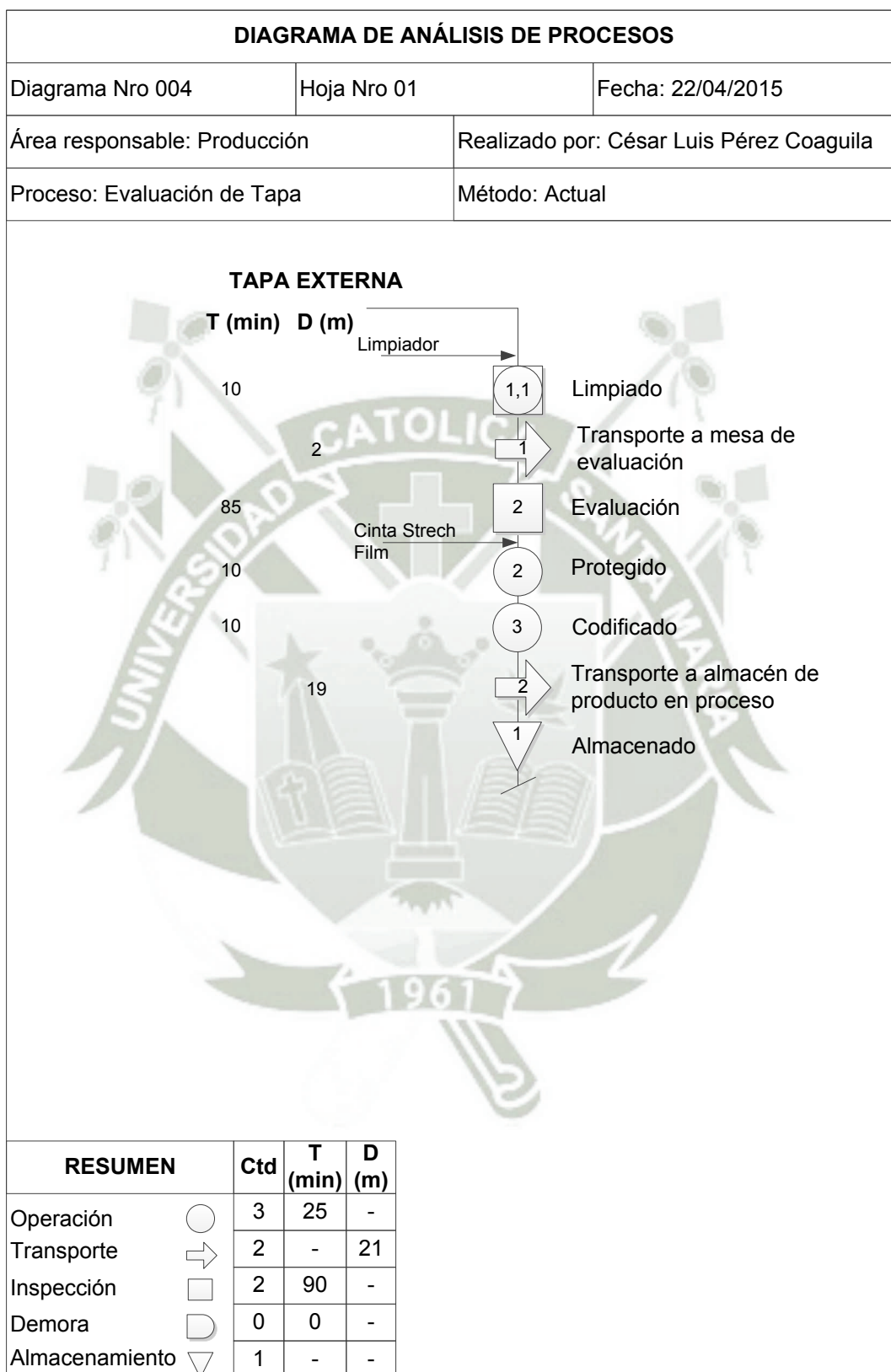
Fuente: Elaboración Propia

Diagrama 05– DAP Evaluación de vástago



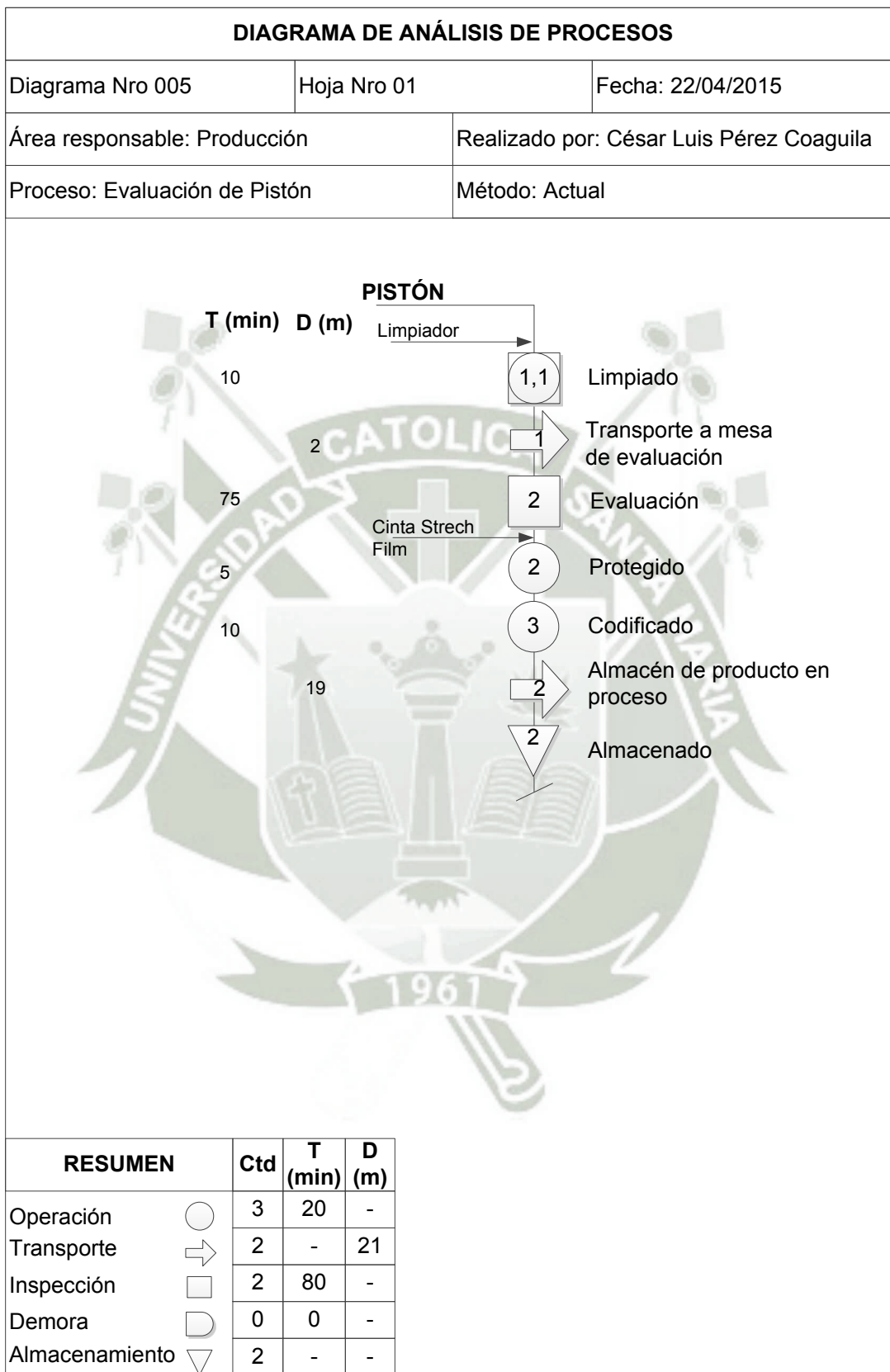
Fuente: Elaboración Propia

Diagrama 06 – DAP Evaluación de Tapa



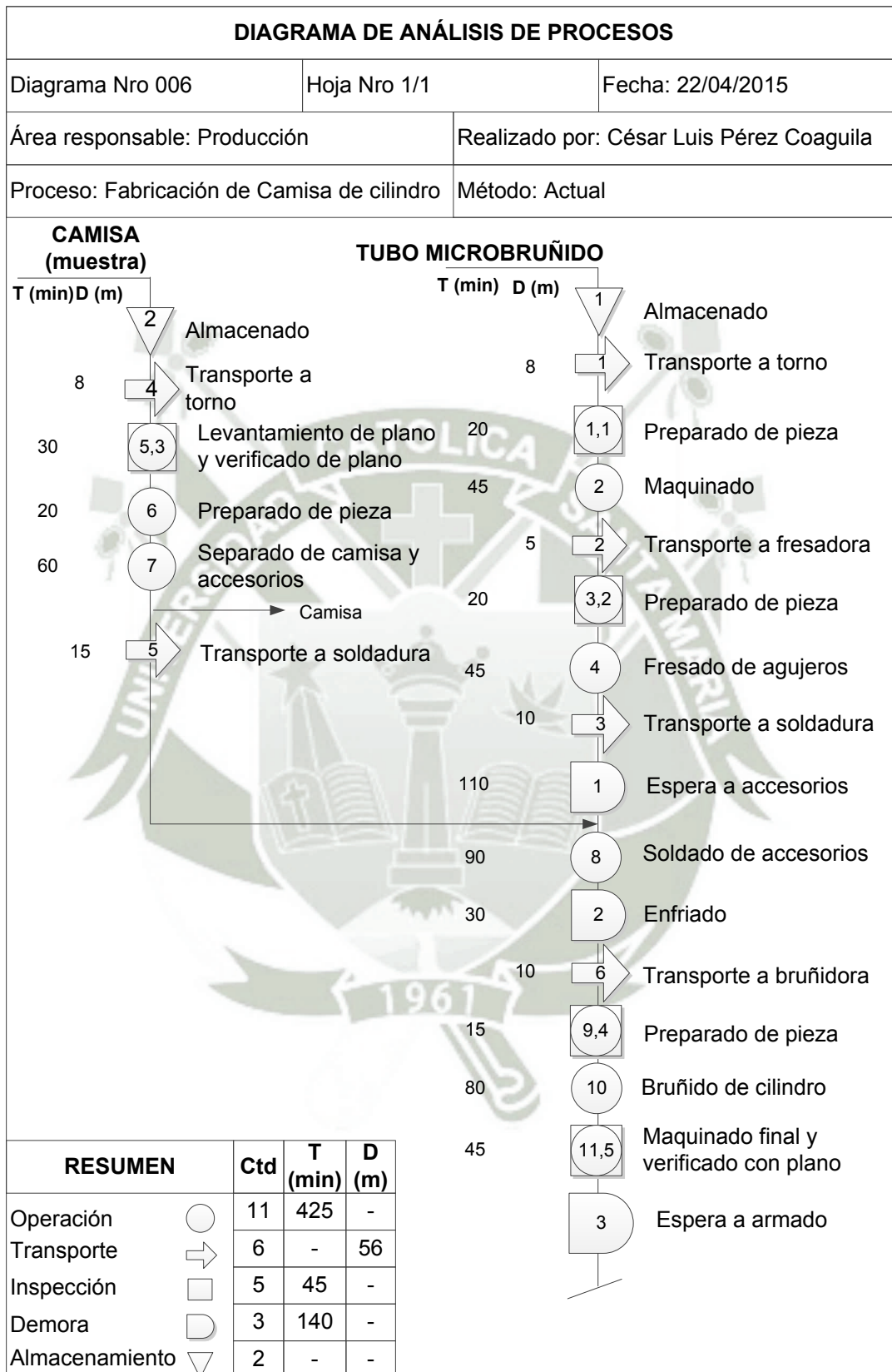
Fuente: Elaboración Propia

Diagrama 07– DAP Evaluación de Pistón



Fuente: Elaboración Propia

Diagrama 08– DAP Fabricación de Camisa de Cilindro



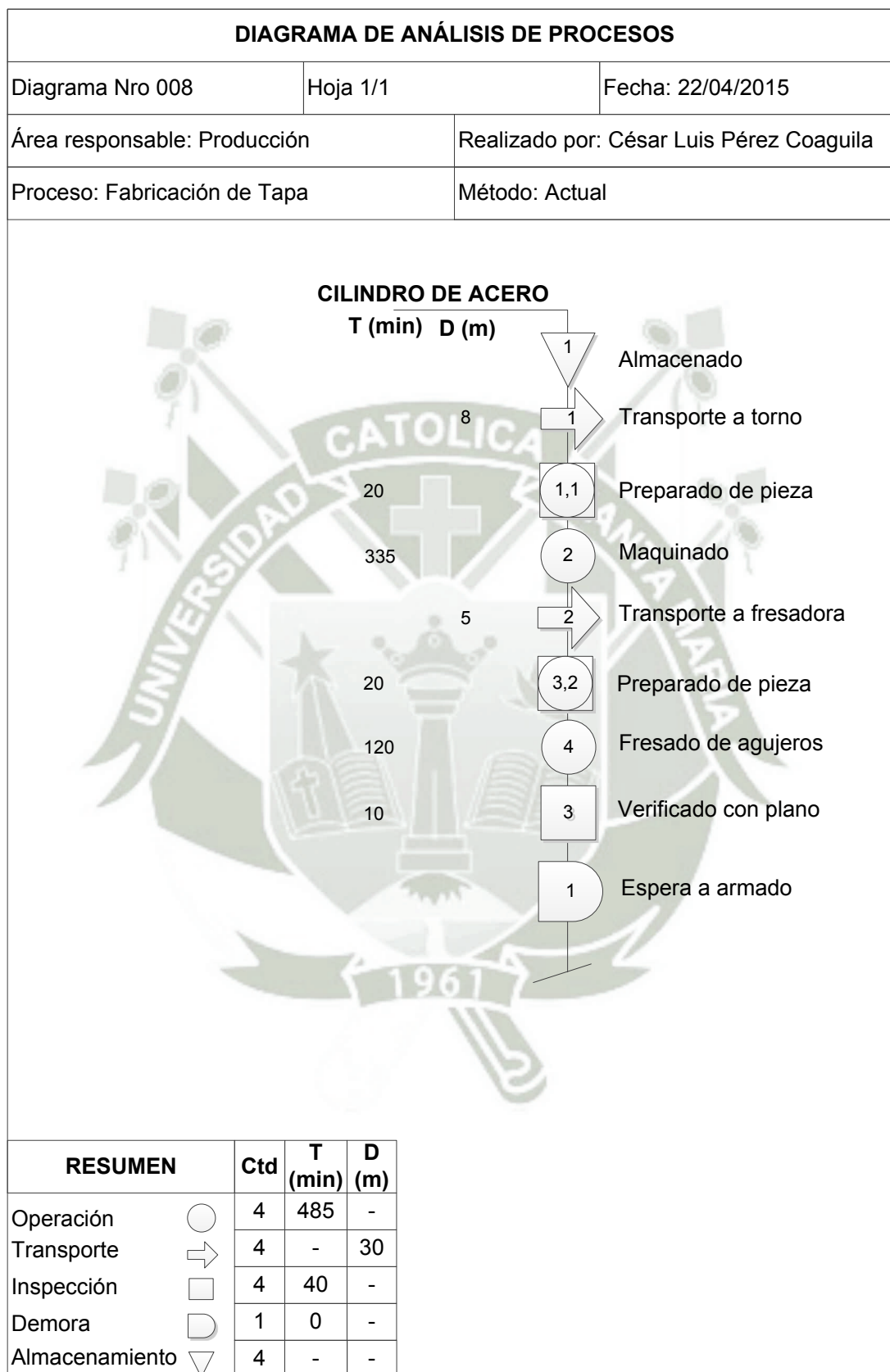
Fuente: Elaboración Propia

Diagrama 09– Fabricación de Vástago



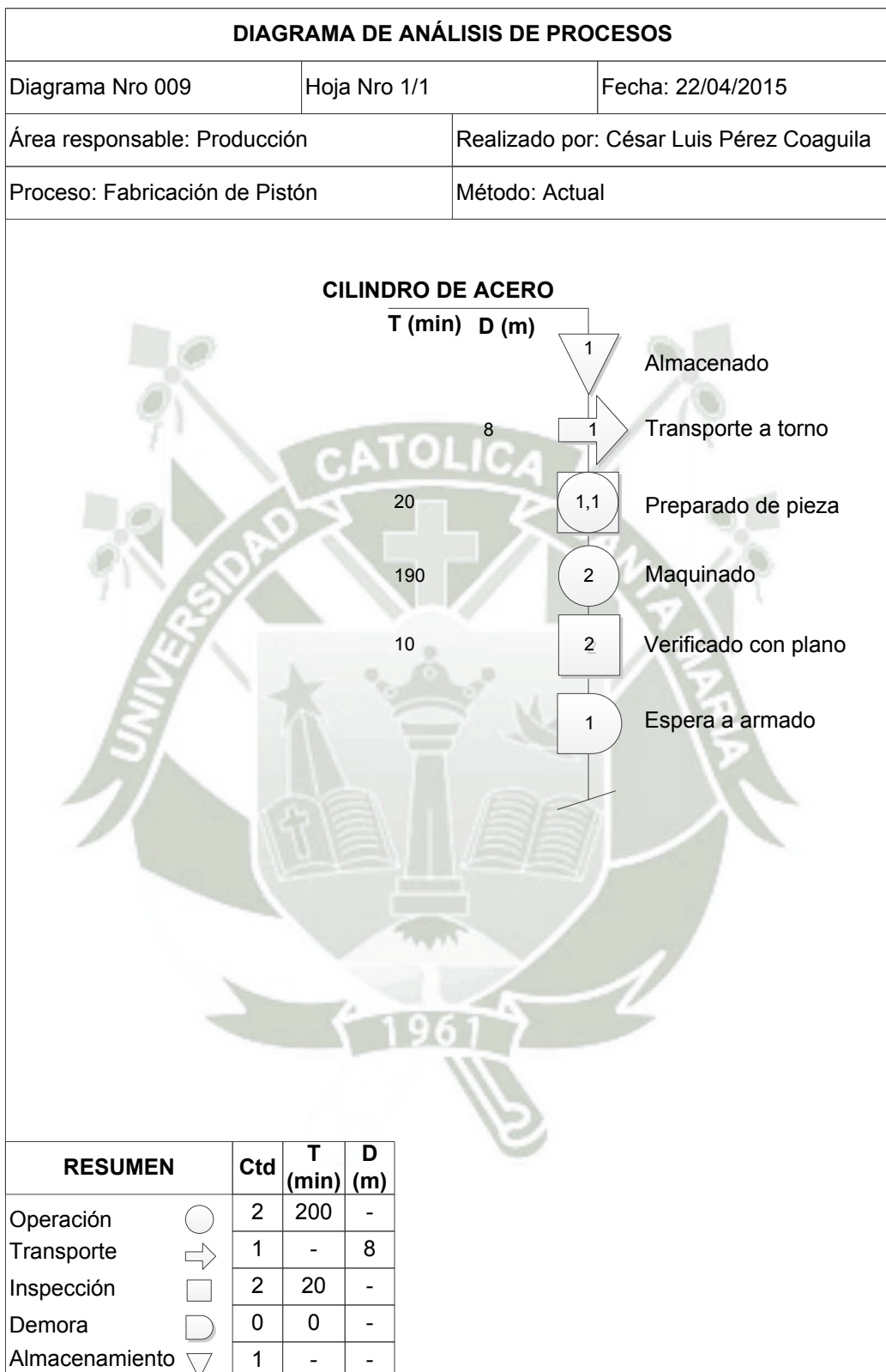
Fuente: Elaboración Propia

Diagrama 10– Fabricación de Tapa



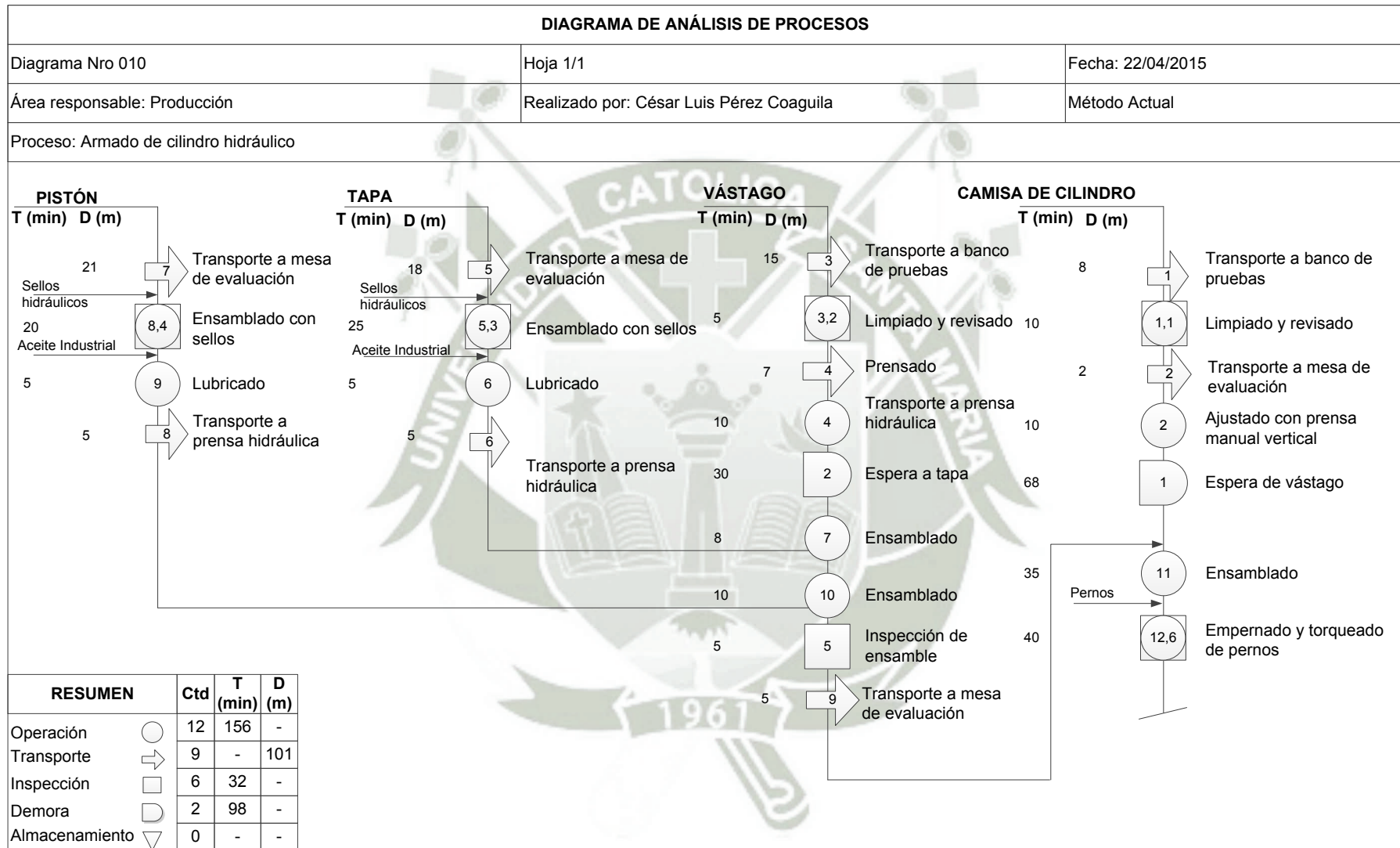
Fuente: Elaboración Propia

Diagrama 11– Fabricación de Pistón



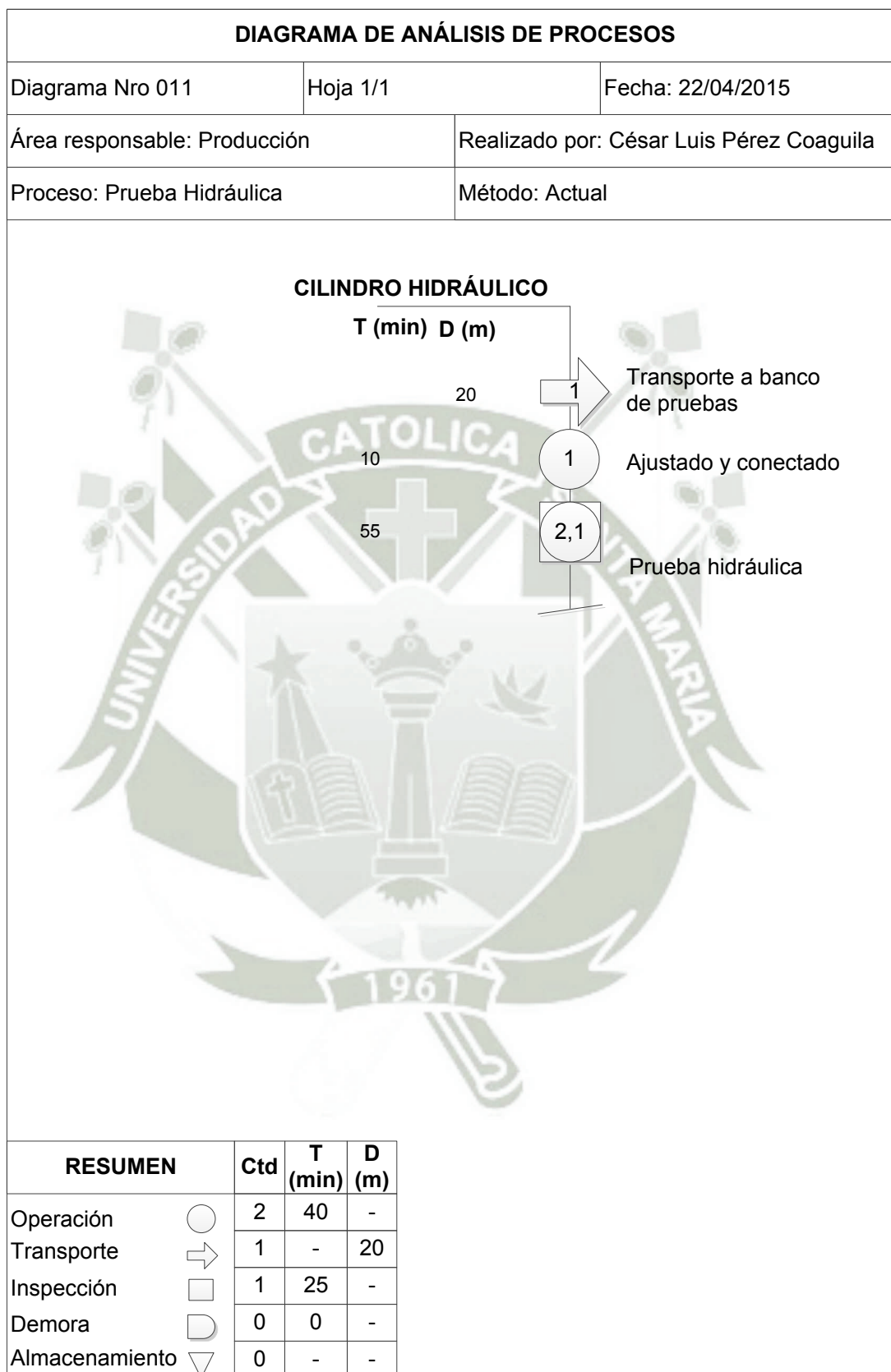
Fuente: Elaboración Propia

Diagrama 12– DAP Armado de Cilindros Hidráulicos



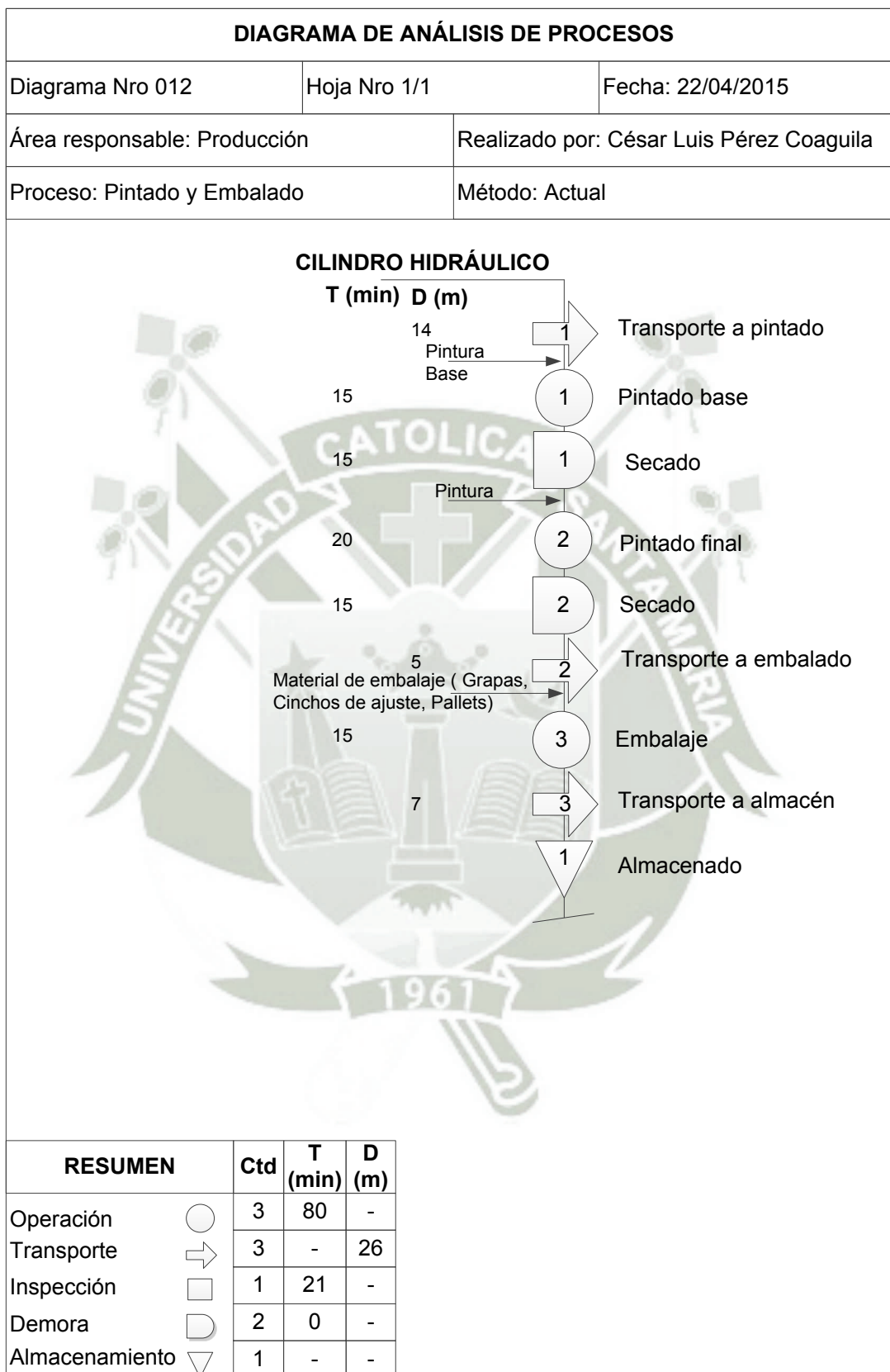
Fuente: Elaboración Propia

Diagrama 13– DAP Prueba Hidráulica



Fuente: Elaboración Propia

Diagrama 14– DAP Pintado y Embalado

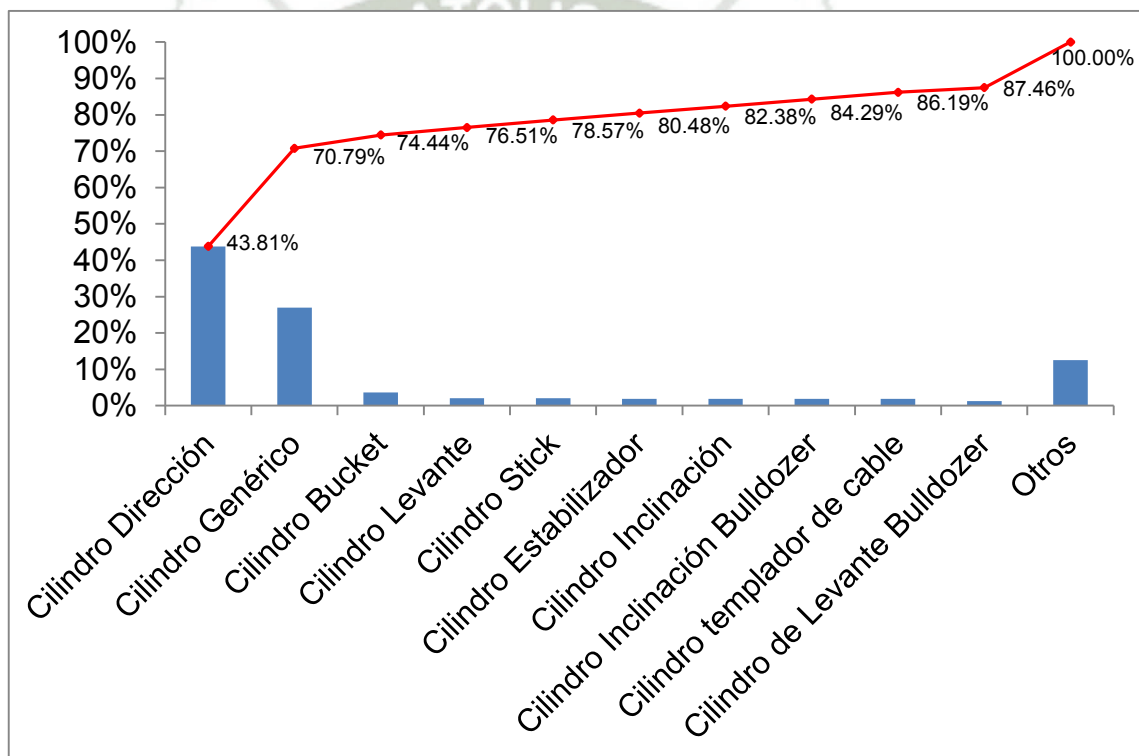


Fuente: Elaboración Propia

3.2.6. Análisis de productos

En el mercado existen distintas clases de maquinaria pesada que cumplen diferentes funciones y como resultado muchas veces sus componentes también varían incluyendo los cilindros hidráulicos pudiendo ser de mayor diámetro o largura. **(Detalle Anexo I)**

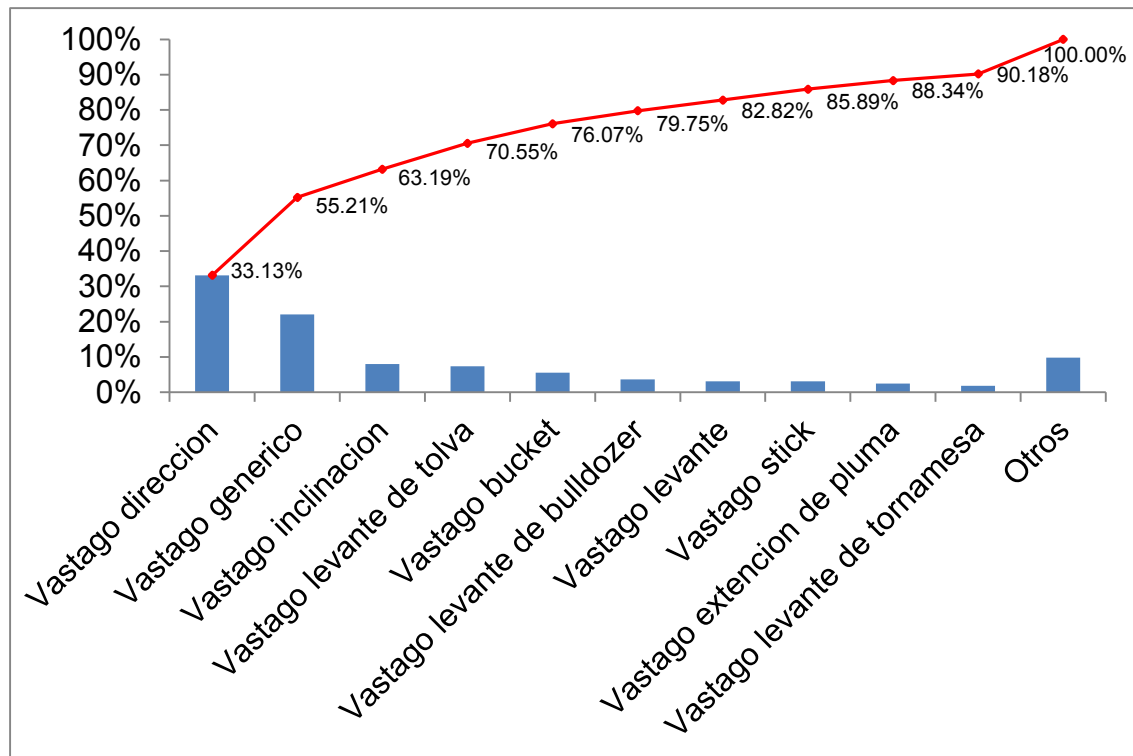
Diagrama 15– Diagrama de Pareto de Cilindro Hidráulico Completo



Fuente: La empresa, Elaboración Propia

En el gráfico puede observarse que la mayor cantidad de cilindros hidráulicos que fueron diagnosticados y reparados por la empresa son los cilindros de dirección y cilindros genéricos, en los cuáles centraremos mayormente la atención.

Diagrama 16– Diagrama de Pareto de Vástagos solos



Fuente: La empresa, Elaboración Propia

De igual manera para vástagos solos se estudiará los casos con mayor llegada dentro de la empresa, los cuales representan los vástagos de cilindros hidráulicos de dirección y genéricos.

3.2.7. Demanda histórica

Se utilizarán los datos almacenados desde agosto del 2012 a junio del 2015 para realizar el pronóstico que determine la cantidad aproximada de cilindros hidráulicos y vástagos solos que llegarían a la empresa a lo largo del 2016, así observar el comportamiento de las variables y medición de la optimización.

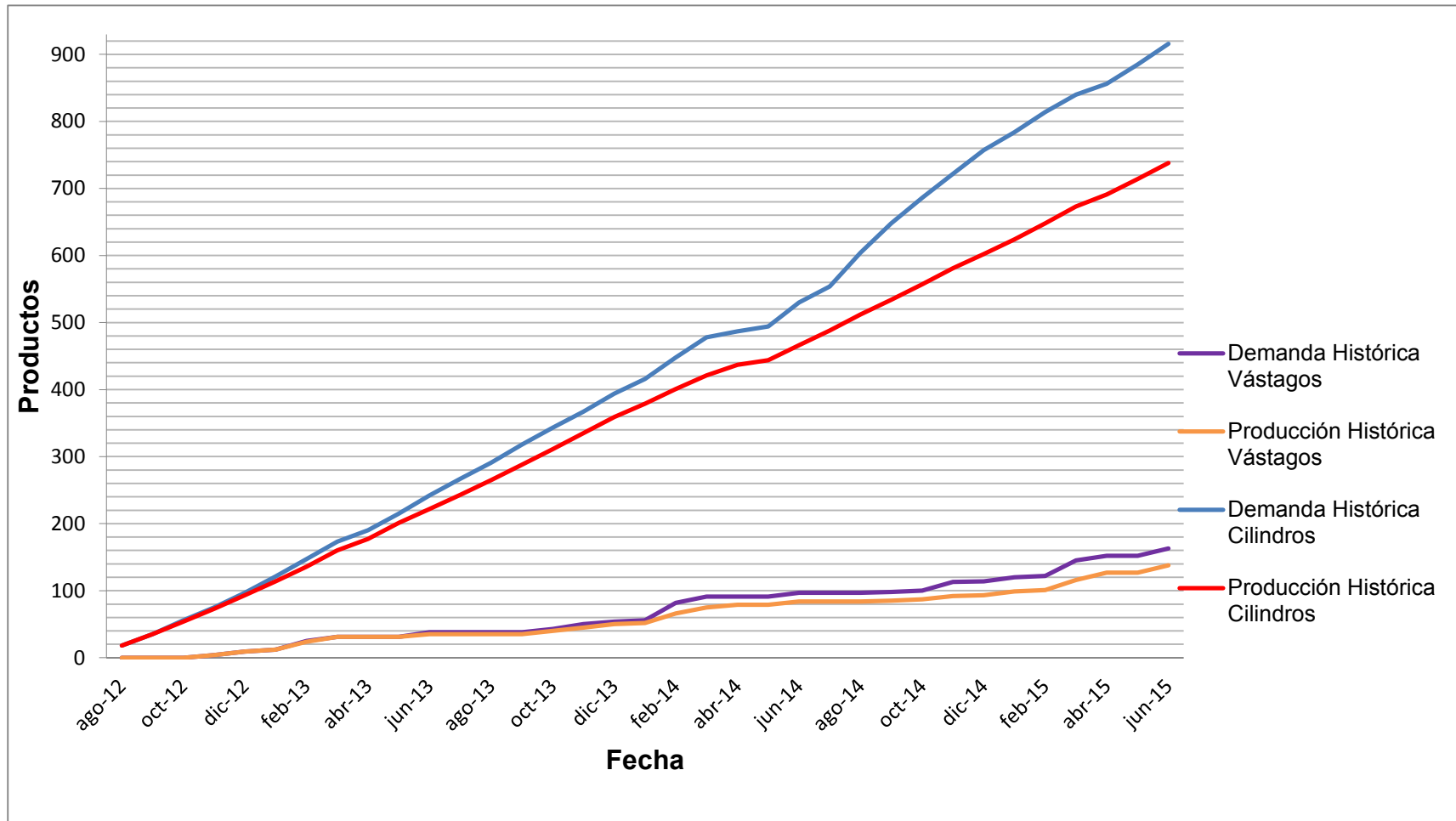
Como puede observarse en la gráfica 02, la diferencia existente entre la demanda acumulada y la producción acumulada es considerable y se va alargando según aumenta la misma

Hasta junio del 2015 se registran la llegada de 916 cilindros hidráulicos, de los cuales 738 fueron reparados en la sede Arequipa, mientras que de 163 vástagos se brindó el servicio a 138. **(Detalle**

Anexo I)



Gráfica n° 01 –Demanda Cubierta de Cilindros Hidráulicos y Vástagos



Fuente: La Empresa, Elaboración Propia

CAPITULO IV

MODELO DE SIMULACIÓN

En la presente sección se desarrollará el modelo de simulación que nos brindará más información y detalle de cómo se encuentra distribuido el sistema actual de producción, permitiéndonos un análisis amplio con respecto a los procesos y sus principales problemas además de concedernos la posibilidad de realizar cambios y construir diferentes escenarios en búsqueda de una solución eficiente.

4.1. PROPIEDADES DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Se identificó un cilindro hidráulico armado (CHA) y vástagos solos (VS) como principales entidades que ingresan al sistema, cuyo proceso de reparación y/o mantenimiento será simulado y analizado. Las variables

correspondientes están representadas por variables exógenas y variables endógenas.

4.1.1 Variables exógenas

- X1: Tiempo de desarmado
- X2: Tiempo de desbocinado de camisa
- X3: Tiempo de evaluación Camisa
- X4: Tiempo de fresado ojo nuevo camisa
- X5: Tiempo de maquinado de encastre ojo camisa nuevo
- X6: Tiempo de maquinado de encastre y refrentado de tubo nuevo
- X7: Tiempo de fresado de agujero para tomas
- X8: Tiempo de extraído de ojo de camisa y accesorios
- X9: Tiempo de cortado de tomas
- X10: Tiempo de soldado de tubo y accesorios
- X11: Tiempo de enfriado 1
- X12: Tiempo de soldado de tubo y ojo de camisa
- X13: Tiempo de enfriado 2
- X14: Tiempo de rellenado de ojo de camisa
- X15: Tiempo de enfriado 3
- X16: Tiempo de fresado de rellenado de ojo de camisa
- X17: Tiempo de bruñido mínimo
- X18: Tiempo de bruñido regular
- X19: Tiempo de bruñido over

- X20: Tiempo de maquinado final
- X21: Tiempo de desbocinado de vástago
- X22: Tiempo de evaluación de vástago
- X23: Tiempo de fresado ojo nuevo de vástago
- X24: Tiempo de maquinado de encastre ojo vástago
- X25: Tiempo de maquinado de espiga barra nueva
- X26: Tiempo de refrentado de encastre de barra nueva
- X27: Tiempo de extraído de vástago y barra
- X28: Tiempo de soldado de ojo y barra de vástago
- X29: Tiempo de enfriado 4
- X30: Tiempo de rellenado de ojo de vástago
- X31: Tiempo de enfriado 5
- X32: Tiempo de fresado de rellenado de ojo de vástago
- X33: Tiempo de pulido de vástago
- X34: Tiempo de recuperado de espiga
- X35: Tiempo de evaluación de tapa
- X36: Tiempo de maquinado de tapa nueva
- X37: Tiempo de fresado de tapa nueva
- X38: Tiempo de pre-maquinado de tapa para rellenado
- X39: Tiempo de rellenado de alojamiento para tapa
- X40: Tiempo de enfriado 6
- X41: Tiempo de limpieza de alojamiento tapa
- X42: Tiempo de maquinado de alojamiento de tapa
- X43: Tiempo de evaluación de pistón

- X44: Tiempo de maquinado de pistón nuevo
- X45: Tiempo de pre-maquinado de pistón para relleno
- X46: Tiempo de relleno de pistón
- X47: Tiempo de enfriado 7
- X48: Tiempo de maquinado de alojamiento de pistón
- X49: Tiempo de limpieza de alojamientos de pistón
- X50: Tiempo de maquinado de bocinas
- X51: Tiempo de armado
- X52: Tiempo de armado de vástago con tapa y pistón
- X53: Tiempo de prueba hidráulica
- X54: Tiempo de embocinado de camisa
- X55: Tiempo de embocinado de vástago
- X56: Tiempo de pintado y embalado

4.1.2 Variables endógenas

- U1: Utilización de torno
- U2: Utilización de tornero
- U3: Utilización de evaluadores
- U4: Utilización de bruñidora
- U5: Utilización de soldadores
- U6: Utilización de máquina soldadora
- U7: Utilización de fresadora

- Wq1: Tiempo promedio en cola refrentado y encastre de barra nueva
- Wq2: Tiempo promedio rellenado de ojo de camisa
- Wq3: Tiempo promedio en cola evaluación de camisa
- Wq4: Tiempo promedio en cola evaluación de vástago
- Wq5: Tiempo promedio en cola de bruñidora
- Wq6: Tiempo promedio en cola pintado
- W1: Tiempo de ciclo de producción CHA
- W2: Tiempo de ciclo de producción VS
- Y1: Reparación promedio cilindros completos anual
- Y2: Reparación promedio cilindros completos mensual
- Y3: Reparación promedio vástagos solos anual
- Y4: Reparación promedio vástagos solos mensual
- Y5: Productividad media por hora hombre
- Y6: Productividad media por hora máquina
- Y7: Productividad Total
- Y8: Índice de reparación (horas / unidad)
- Y9: Porcentaje de cumplimiento de reparación de cilindros completos
- Y10: Porcentaje de cumplimiento de reparación de vástagos solos

4.2. RECOPIACIÓN DE DATOS

En la recopilación de datos del proceso de mantenimiento y reparación de cilindros hidráulicos, se determinó el tamaño de muestra y se decidió evaluar las variables directamente con el total de la población ya que el tamaño de muestra es menor a la cantidad de datos que se posee. La información fue obtenida de la base de datos propia de la empresa, estos datos son recogidos y tomados por los mismos trabajadores de la empresa apuntándolos en un formato designado para dicho propósito. Para aquellos datos que la empresa no presenta registro, se tomó en cuenta la experiencia de los mismos trabajadores brindándonos tiempos estimados.

4.3. PERIODO DE TIEMPO DEL ESTUDIO

El periodo de tiempo tomado para retirar los datos desde el sistema de información de la empresa fue desde el 1 de enero del 2014 hasta el 31 de marzo del 2015, en total 15 meses o 445 días. Tomando en cuenta que algunas variables que no se miden fueron obtenidas a partir de los trabajadores de la empresa en base a su experiencia para dicho periodo.

4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS

Para el análisis estadístico de los datos fue utilizada la herramienta inmersa en el software Arena 14.0, Input Analyzer es un complemento del programa que permite analizar estadísticamente los datos obtenidos en la recolección de datos y describe la distribución más acertada para cada variable. Además realiza las pruebas de K-S y Chi cuadrado de manera inmediata en el caso que sea posible.

A continuación se presenta la tabla resumen de la distribución de datos de cada variable al ingresarlos en el complemento del software Input Analyzer (**Detalle Anexo II**):



Tabla n° 01 – Distribución Probabilística Actual

#	Variable	N	Distribución	Und
x1	Desarmado	446	90+ 62 * BETA(4.66, 5.44)	Min
x3	Evaluación de camisa	446	35 + 20 * BETA(1.05, 1.11)	Min
x6	Maquinado de encastre y refrentado tubo	78	POIS(70.1)	Min
x7	Fresado de agujeros para tomas	78	TRIA(50.5, 70, 91.5)	Min
x8	Extraído de ojo camisa y accesorios	78	TRIA(101, 122, 143)	Min
x9	Cortado de tomas	78	12.5 + 20 * BETA(1.26, 1.2)	Min
x10	Soldado de tubo y accesorios	78	82.5 + 20 * BETA(1.05, 1.17)	Min
x12	Soldado de tubo y ojo camisa	78	NORM(140, 7.91)	Min
x14	Rellenado de ojo camisa	232	162 + 64 * BETA(1.21, 1.09)	Min
x16	Fresado de relleno ojo camisa	232	78.5 + 51 * BETA(2.1, 1.87)	Min
x17	Bruñido mínimo	424	TRIA(48, 81.4, 137)	Min
x18	Bruñido regular	30	78 + 51 * BETA(0.92, 0.916)	Min
x20	Maquinado final	74	TRIA(67.5, 89, 110)	Min
x22	Evaluación de vástago	446	52 + 51 * BETA(0.906, 0.937)	Min
x23	Fresado ojo nuevo vástago	31	229 + 78 * BETA(0.687, 0.733)	Min
x24	Maquinado de encastre ojo vástago	31	36.5 + 31 * BETA(0.936, 1.01)	Min
x25	Maquinado de espiga barra nueva	232	45.5 + 56 * BETA(1.85, 1.75)	Min
x26	Refrentado y encastre barra nueva	232	51.5 + 68 * BETA(1.85, 1.75)	Min
x27	Extraído de ojo vástago y barra	201	78.5 + 70 * BETA(2.08, 2.32)	Min
x28	Soldado de ojo y barra vástago	232	110 + 58 * BETA(1.47, 1.68)	Min
x30	Rellenado de ojo de vástago	204	35.5 + 48 * BETA(1.21, 1.17)	Min
x32	Fresado de relleno ojo vástago	204	74.5 + 44 * BETA(1.72, 1.89)	Min
x33	Púlido de vástago	260	35.5 + LOGN(10.8, 8.05)	Min
x35	Evaluación de tapa	446	103 + 51 * BETA(0.903, 0.936)	Min
x41	Limpieza de alojamiento tapa	293	20.5 + 18 * BETA(0.999, 0.93)	Min
x42	Maquinado de alojamientos de tapa	121	74.5 + 58 * BETA(1.58, 1.6)	Min
x43	Evaluated de pistón	446	70.5 + 56 * BETA(2.29, 2.16)	Min
x44	Maquinado de pistón nuevo	31	193 + 20 * BETA(0.806, 0.649)	Min
x48	Maquinado de alojamientos de pistón	87	NORM(81.6, 4.36)	Min
x49	Limpieza de alojamientos de pistón	303	20.5 + 10 * BETA(0.938, 0.965)	Min
x50	Maquinado de bocinas	207	55.5 + GAMM(18.1, 1.21)	Min
x51	Armado	446	56 + 87 * BETA(3, 3.14)	Min
x54	Embocinado camisa	217	28 + 16 * BETA(1.18, 1.17)	Min
x55	Embocinado vástago	103	28 + 16 * BETA(1.16, 1.5)	Min
x56	Pintado y embalado	446	31 + 83 * BETA(1.87, 2.04)	Min

Fuente: La empresa, Elaboración Propia

El modelo fue realizado en la plataforma del software Arena 14.0 utilizando las herramientas básicas y avanzadas del programa en el cuál se plasmó el sistema real actual de la empresa con cercana exactitud.

Los componentes del sistema son los siguientes:

4.5.1. Recursos

Tabla n° 02 – Lista de Recursos Actual

Recurso	Cantidad
R1: Torno	1
R2: Tornero	1
R3: Soldador	2
R4: Evaluadores	2
R5: Prensa hidráulica	1
R8: Bruñidora	1

Fuente: La empresa, Elaboración Propia

4.5.2. Parámetros

- Tiempo de calentamiento: 212 horas
- El tiempo que se aplicó al modelo de simulación es de 1 año correspondientes del 1 de Enero del 2014 al 31 de diciembre del mismo año.

Tabla n° 03 – Horas trabajadas Actual

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Sábados	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	4	4	
Domingos	4	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5	4	
Feridos	1	0	0	2	1	1	2	1	0	1	0	2	
	232	212	225	212	225	212	222	215	232	232	222	222	2663

Fuente: Elaboración Propia

- Se tomaron 2663 horas trabajadas correspondientes al ejercicio 2014, tomando 10 horas /día de lunes a viernes y 3 horas/día los sábados. No se consideran horas extra.
- El número de réplicas fue tomada con 5 variables utilizando el Teorema del Límite Central con el cual podemos asegurar que las variables tienden a la normalidad con un nivel de confianza pre establecido de 95%. El cálculo del número de réplicas se detalla en el siguiente cuadro considerando 30 réplicas iniciales para el cálculo de la desviación y utilizando la fórmula siguiente:

$$n = \frac{Z_{(1-\frac{\alpha}{2})}^2 * S^2}{e^2}$$

Tabla n° 04 – Número de Réplicas

#	Variable	S	e	n	n~
1	Utilización Evaluador	4.43%	3%	8.37	9
2	Utilización Tornero	5.34%	3%	12.18	13
3	Vástagos Solos	21.42	4	110.20	111
4	Cilindros completos	17.96	4	77.45	78
5	Índice de producción	0.83	0.2	66.07	67

Fuente: Elaboración Propia

El número de réplicas utilizado para el modelo es el mayor de los calculados con las 5 variables, en este caso 111 réplicas.



ILUSTRACION 13 - MODELO DE SIMULACION ACTUAL

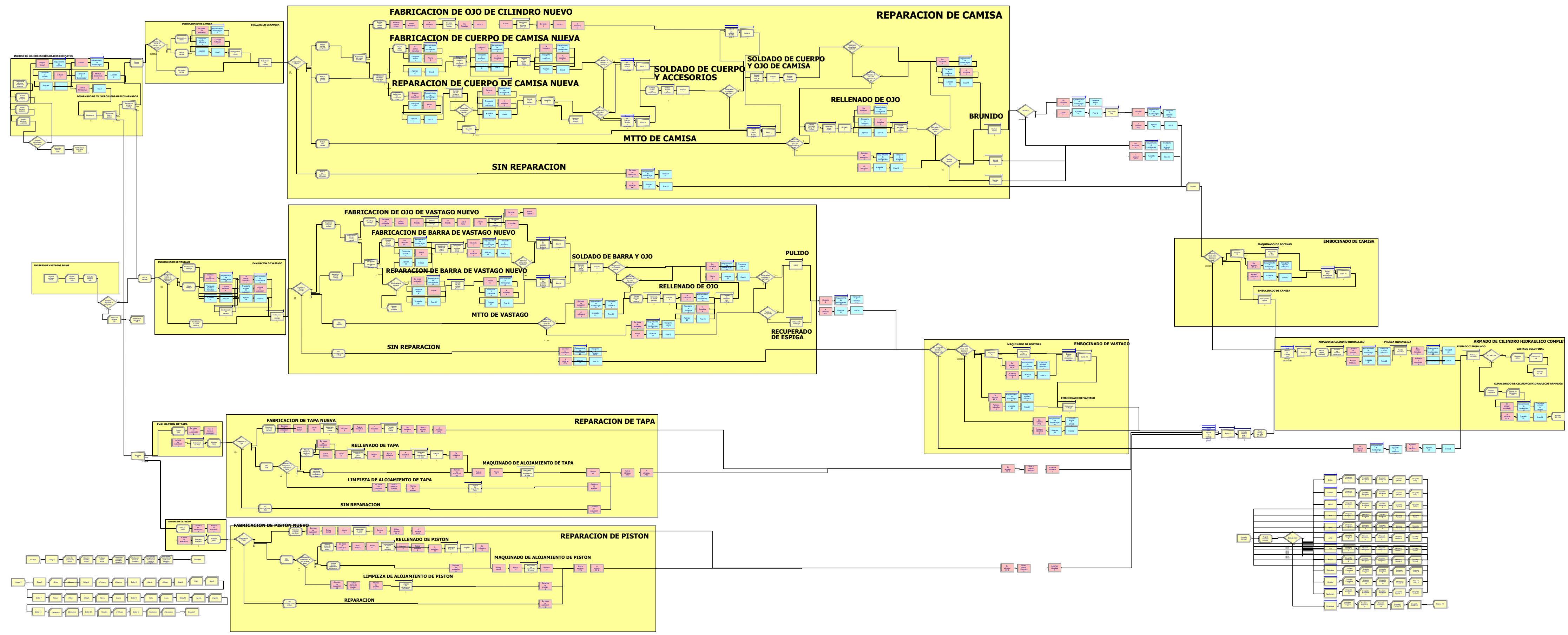
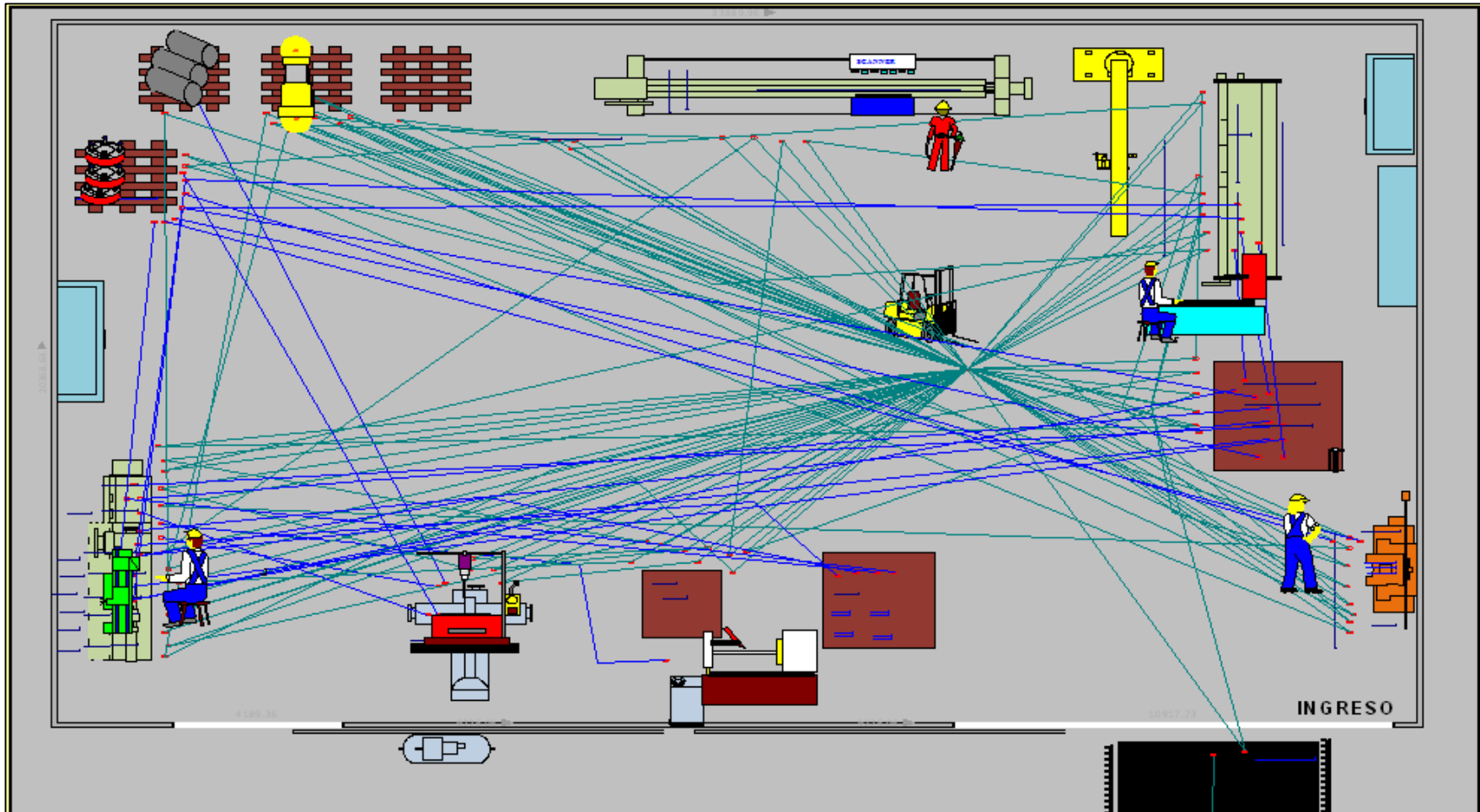


Ilustración 14 – Animación del Modelo de Simulación Actual



Fuente: Elaboración Propia

4.6. VALIDACIÓN DE MODELO DE SIMULACIÓN

El modelo generado debe de estar sujeto a una validación de datos, ésta validación examina el ajuste de los datos empíricos del modelo. Un buen ajuste del modelo significa que las medidas de desempeño propuestas inicialmente son razonablemente cercanas a las observadas en un sistema real.

Primero se realizó la revisión y verificado del modelo asegurándonos que el sistema construido refleje las condiciones y resultados del sistema real.

El modelo construido es considerado validado, ya que los datos obtenidos en las variables más importantes del sistema real son comparados con los resultados obtenidos en el sistema simulado obteniendo similitud y encontrándose dentro del rango como se observa en la siguiente tabla:

Tabla n° 05 – Validación de Modelo

Variable	Real 2014	Simulación
Producción promedio anual cilindro completo	243	245.66 ± 3.14
Producción promedio anual vástago solo	43	45.52 ± 4.11
Producción mensual promedio Cilindros Hidráulicos	20.25	20.47 ± 0.26
Producción mensual promedio Vastagos Solos	3.58	3.7935 ± 0.34
Ingreso cilindros hidraulicos	363	358.38 ± 8.2
Ingreso vástagos solos	60	53.62 ± 6.4

Fuente: Elaboración Propia

4.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla n° 06 – Resultados del Sistema Actual

Var	Descripción	Valor actual	Half Width (±)
U1	Utilización de torno	86.75%	1.00%
U2	Utilización de tornero	88.74%	1.00%
U3	Utilización de evaluadores	70.64%	1.00%
U4	Utilización de bruñidora	13.76%	0.00
U5	Utilización de soldadores	58.45%	0.01%
U6	Utilización de máquina soldadora	43.83%	0.00%
U7	Utilización de fresadora	24.02%	0.00%
Wq1	Tiempo promedio en cola refrentado y encastre de barra nueva	120.3	1.1
Wq2	Tiempo promedio rellenado de ojo de camisa	86.28	4.11
Wq3	Tiempo promedio en cola Evaluación camisa	289.58	6.21
Wq4	Tiempo promedio en cola Evaluación vástago	262.76	5.73
Wq5	Tiempo promedio en cola Bruñidora	173.94	18.2
Wq6	Tiempo promedio en cola Pintado	20.193	0.49
W1	Tiempo de ciclo de producción CHA	7473.9	139.5
W2	Tiempo de ciclo de producción VS	5778.4	374.1
Y1	Producción promedio cilindros completos anual	245.66	3.14
Y2	Producción promedio cilindros completos mensual	20.47	0.26
Y3	Producción promedio vástagos solos anual	45.52	4.11
Y4	Producción promedio vástagos solos mensual	3.79	0.34
Y5	Productividad media por hora hombre	0.0847	0.00
Y6	Productividad media por hora máquina	0.1745	0.00
Y7	Productividad total	0.0326	0.00
Y8	Índice de Producción (horas /unidad)	10.89	0.14
Y9	Porcentaje cumplimiento de producción cilindros completos	69.26%	0.01
Y10	Porcentaje cumplimiento de producción vástagos completos	84.40%	0.03

Fuente: Elaboración Propia

El software Arena 14.0 nos brinda las variables endógenas planteadas al comienzo de la prueba que nos permite tener conocimiento del estado actual del sistema por medio de reportes. Los datos obtenidos se evaluarán para diagnosticar el estado actual y observar problemas en el sistema. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Del cuadro se concluye lo siguiente:

- La utilización de los evaluadores y soldadores poseen valores promedio de 70.64% y 58.45% trabajando en casi su máxima capacidad ya que depende de ellos el comienzo y el final de las reparaciones y/o fabricaciones, valores no tan altos.
- La utilización del torno y tornero son elevadas superando el 85%, debido a que los procesos de reparación y fabricación de los componentes en su mayoría son realizados por dichos recursos.
- Por consiguientes se puede analizar el desbalance existente entre recursos, por un lado el torno y tornero tienen alta utilización mientras que los evaluadores y soldadores poseen una baja, permitiendo sospechar que existe un cuello de botella en el área de maquinado.
- Se observa que el tiempo promedio en cola del proceso de, evaluación de camisa es de 289.58 min, evaluación de vástago de 262.76 min, relacionado a la prioridad de estos procesos ya

que deben de realizarse el mismo día o al día siguiente como máximo para el envío de cotizaciones a los clientes.

- La producción promedio de cilindros hidráulicos armados son de 245.66 unidades al año, dato mucho menor al ingreso de cilindros a la empresa, teniendo un cumplimiento de. 69.26% con respecto a la demanda.
- Con relación a los vástagos que llegan sin ensamblado correspondiente, ocurre el mismo problema, el de no llegar a cumplir con la totalidad de la demanda con 84.40% de cumplimiento.
- El tiempo total de fabricación para CHA corresponde a 7473.9 min y corresponde a 12.46 días de trabajo; mientras que el tiempo total de fabricación para VS es de 5778.39 y es igual a 9.6 días de trabajo.
- Existe claros cuellos de botella en el área de maquinado, y esto retrasa consecuentemente trabajo de armado y finalizado de los cilindros hidráulicos. El problema se da debido a la falta de recursos de maquinaria y empleados para poder cumplir a tiempo y en su totalidad la demanda observada, considerando que no son los únicos productos que se atienden, además de poseer un sistema con muchas pérdidas en recorridos y mala organización.

CAPITULO V

PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN

5.1. PLAN DE PRODUCCIÓN

El plan de producción a lo largo de los años 2012 al 2015 ayudará a establecer parámetros en la demanda de simulación para el modelo propuesto, además permite la medición de los cambios realizados y el cumplimiento de los objetivos planteados.

5.1.1. Esquema de planeamiento

Para la planificación de la producción y recursos se realiza los siguientes pasos:

- Determinar la demanda del último trimestre del 2015 y a lo largo del 2016 para observar el comportamiento de la variable utilizando un pronóstico adecuado.
- Realizar el cálculo de horas a trabajar en el periodo 2015 - 2016, considerando días feriados y domingos.

5.1.2. Pronósticos

Para realizar el pronóstico se utilizó la herramienta previsiones del software SPSS que nos ayuda a plantear la mejor forma de pronosticar los valores históricos obtenidos desde agosto del 2012 a junio del 2015. Utilizaremos el modelizador experto del software que busca automáticamente el modelo que mejor se ajusta a la serie dependiente.

a) **Pronóstico cilindros hidráulicos armados**

La prueba realizada con la herramienta del software SPSS nos detalla el estadístico del modelo:

Tabla n° 07 - Estadístico de Datos de Cilindros Hidráulicos

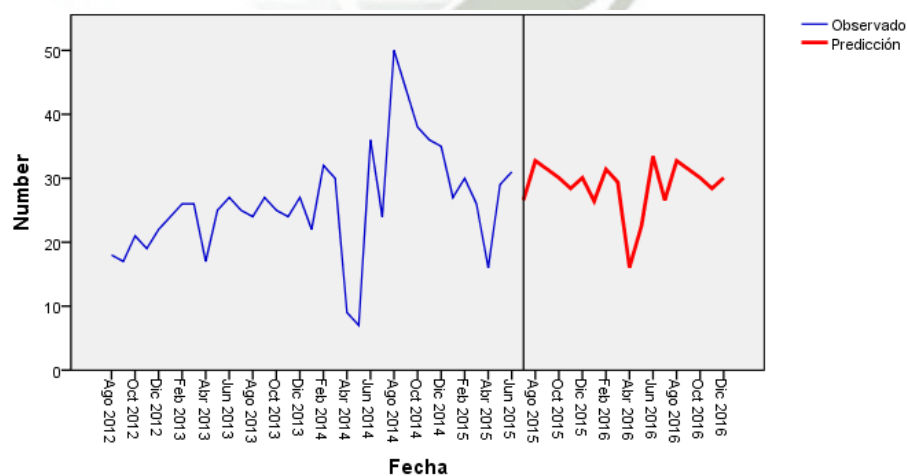
Modelo	Número de predictor es	Estadísticos de ajuste del modelo	
		R cuadrada estacionaria	R cuadrado
Cilindros Hidráulicos	0	0.696	0.525

Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro podemos observar un R cuadrado estacionario de casi 0.70 y un R cuadrado de 0.53. Valores con los que se trabajará identificando el tipo de modelo como Estacional simple, modelo que se ajusta de mejor manera a los datos obtenidos.

En el siguiente gráfico podemos observar el pronóstico realizado hasta diciembre del 2016 utilizando el modelo Estacional simple del software SPSS.

Gráfica 02 – Pronóstico Cilindros Hidráulicos



Fuente: Elaboración Propia

b) Pronóstico vástago solos

Al igual que con los cilindros hidráulicos armados, se utilizará el software SPSS para poder pronosticar con el mejor modelo posible los datos históricos de la empresa.

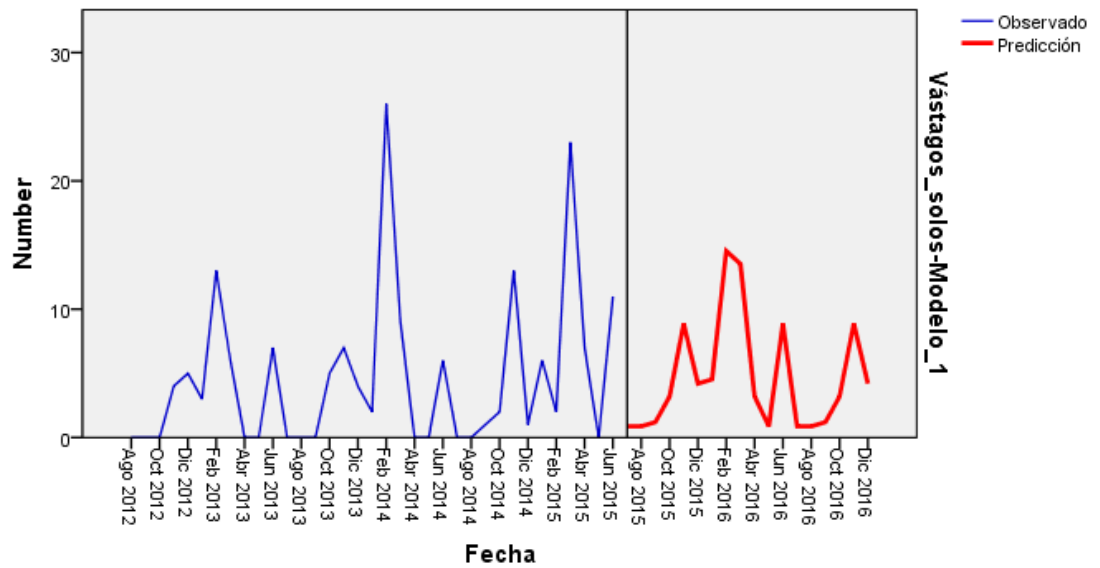
Tabla n° 08 – Estadístico de Datos de Vástagos

Modelo	Número de predictor es	Estadísticos de ajuste del modelo	
		R cuadrada estacionaria	R cuadrado
Vástagos	0	0.813	0.546

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la tabla, el modelo elegido por el software también es un estacional simple con un R cuadrado estacional de 0.813 y un R cuadrado de 0.546.

Gráfica 03 – Pronóstico Vástagos



Fuente: Elaboración Propia

En gráfica 04 podemos observar el pronóstico realizado hasta diciembre del 2016 utilizando el modelo Estacional Simple.

5.1.3. Elaboración del plan de producción

Como se calculó en el punto anterior la demanda total anual para el 2015 se aproxima a 338 cilindros hidráulicos armados, mientras que para el año 2016 el número de cilindros los valores pronostican 336 en total. El cuadro siguiente detalla los datos de enero 2015 hasta Junio del 2015 para cilindros hidráulicos armados, seguido por los pronósticos obtenidos gracias al software SPSS.

Tabla n° 09 – Pronóstico Cilindros Hidráulicos Datos

Año	Mes	Frec Demanda	Frec Producción	Acum Demanda	Acum Producción
2015	ene-15	27	22	27	22
	feb-15	30	24	57	46
	mar-15	26	25	83	71
	abr-15	16	18	99	89
	may-15	29	23	128	112
	jun-15	31	24	159	136
	jul-15	27		186	
	ago-15	33		219	
	sep-15	31		250	
	oct-15	30		280	
	nov-15	28		308	
	dic-15	30		338	
2016	ene-16	26		26	
	feb-16	31		57	
	mar-16	29		86	
	abr-16	16		102	
	may-16	22		124	
	jun-16	33		157	
	jul-16	27		184	
	ago-16	33		217	
	sep-16	31		248	
	oct-16	30		278	
	nov-16	28		306	
	dic-16	30		336	

Fuente: Elaboración Propia

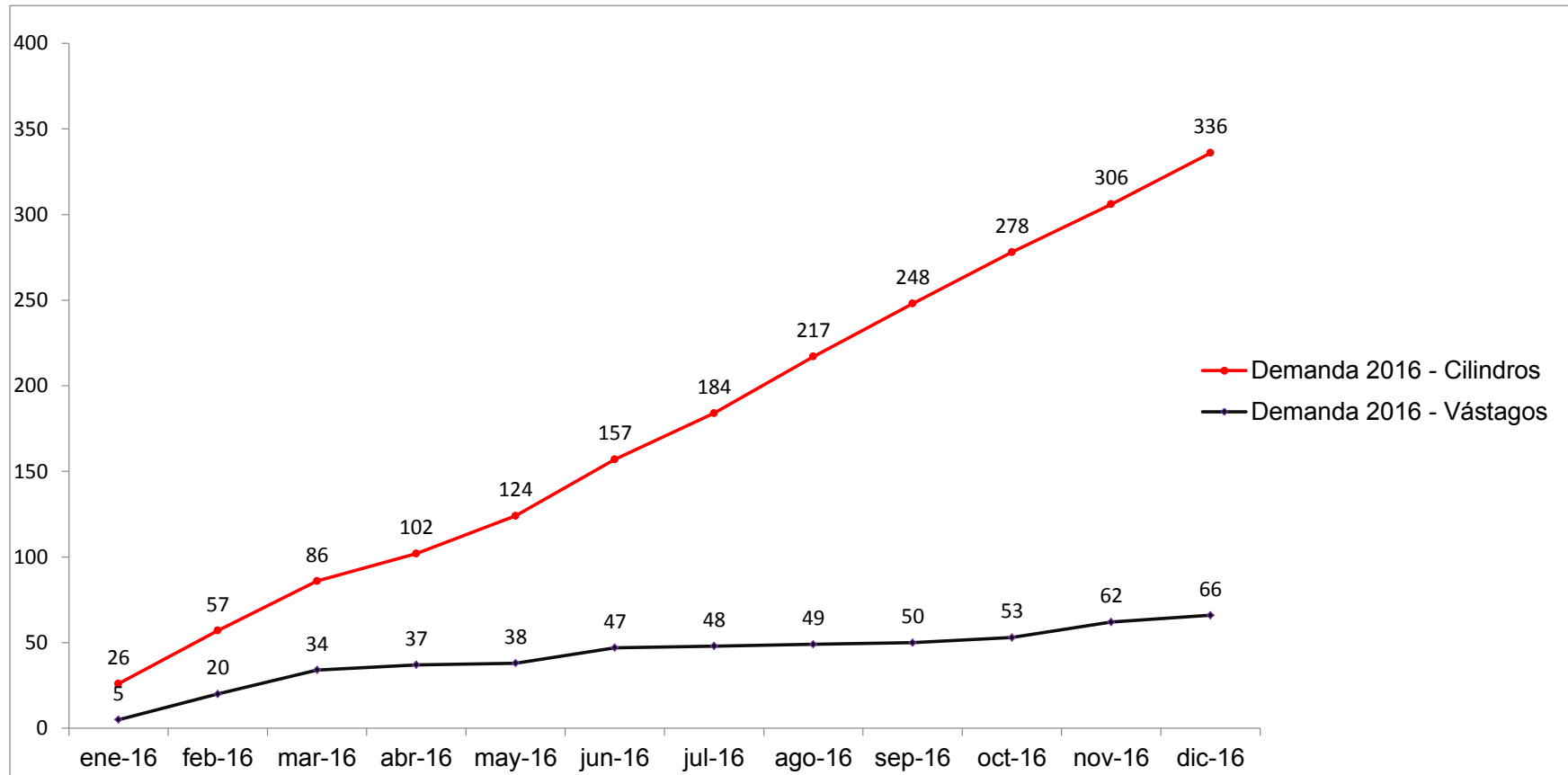
El cuadro siguiente detalla los datos de enero 2015 hasta Junio del 2015 para vástagos solos armados, seguido por los pronósticos obtenidos gracias al software SPSS.

Tabla n° 10 – Pronósticos Vástagos Datos

Año	Mes	Frec Demanda	Frec Producción	Acum Demanda	Acum Producción
2015	Enero	6	6	6	6
	Febrero	2	2	8	8
	Marzo	23	15	31	23
	Abril	7	11	38	34
	Mayo	0	0	38	34
	Junio	11	11	49	45
	Julio	1		50	
	Agosto	1		51	
	Septiembre	1		52	
	Octubre	3		55	
	Noviembre	9		64	
	Diciembre	4		68	
2016	Enero	5		5	
	Febrero	15		20	
	Marzo	14		34	
	Abril	3		37	
	Mayo	1		38	
	Junio	9		47	
	Julio	1		48	
	Agosto	1		49	
	Septiembre	1		50	
	Octubre	3		53	
	Noviembre	9		62	
	Diciembre	4		66	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 04 – Plan de producción acumulado 2016



Fuente: Elaboración Propia



5.2. PROPUESTA PARA OPTIMIZACIÓN

Al tener conocimiento del nivel de servicio por la cantidad de cilindros hidráulicos que deberá repararse anualmente es que se observa una cantidad deficiente de recursos que permitan abastecer y cubrir lo que demanda el mercado y lo que los clientes esperan de la empresa al entregarlos a tiempo.

5.2.1. Objetivos de la propuesta

- Incrementar el nivel de servicio de reparación y/o fabricación de cilindros hidráulicos.
- Obtener un porcentaje de cumplimiento alto para ambos productos.
- Aumentar los índices de productividad propuestos.
- Permitir que los recursos utilizados no tengan una sobrecarga ya que se empezará a reparar y atender otros tipos de productos que intervengan en la metalmecánica.

5.2.2. Planteamiento de la propuesta

Se utilizará la herramienta OptQuest de Arena 14.0 que nos permitirá maximizar mediante restricciones brindadas la variable más

importante del modelo que es la cantidad de cilindros hidráulicos reparados anualmente.

Con ayuda de esta herramienta conoceremos la cantidad de recursos exactos necesarios para obtener el mayor valor en nuestra variable ya que conocemos que el problema que puede observarse en el modelo actual simulado es la escasez de los mismos. **(Ver detalle Anexo II)**

Tabla n° 11 - Resultado OptQuest Software Arena 14.0

#	Cilindros	Estado	Evaluador	Maq Soldadora	Soldador	Tornero	Torno
6	345.667	Factible	4	2	3	2	2
8	344.33	Factible	3	2	3	2	2
3	364.33	No factible	4	3	4	2	2
16	348.67	No factible	5	2	3	2	2
9	370.33	No factible	4	3	4	3	3
5	324.67	No factible	5	3	3	2	2
17	359.33	No factible	5	2	3	3	3
4	365	No factible	4	2	3	3	3

Fuente: Elaboración Propia

Como puede observarse en el cuadro, luego de las combinaciones realizadas por la herramienta OptQuest de Arena 14.0, obtenemos que los valores más altos y factibles para las variables seleccionadas corresponden a la simulación 6 y 8, diferenciándolos en el número de recursos, valor tomado como referencia y no como resultado final por el número de réplicas considerado. Con respecto a las demás simulaciones, son descartadas ya que no cumple con las restricciones planteadas.

(Ver detalle Anexo II)

5.2.3. Descripción de la propuesta

Se tomará en consideración los resultados de la simulación 6 y 8 sugeridos por la herramienta OptQuest de software Arena 14.0 para su respectiva evaluación y toma de decisión respectiva. La propuesta sugerida se detalla en los siguientes puntos.

- **Contrato de evaluadores especializados en hidráulica y reparación y/o mantenimiento de cilindros hidráulicos:**

Al tener en la actualidad a los dos empleados dedicados a la evaluación de cilindros hidráulicos saturados, como se demuestra en el capítulo tercero, y se desea incrementar el nivel de producción para poder cumplir con la demanda observada es que se propone la contratación de uno o dos empleados que desempeñe las mismas funciones que los evaluadores.

Como puede observarse la posición de los evaluadores en el flujo de producción es fundamental ya que apertura con el diagnóstico inicial de los cilindros y a partir de ese proceso es que puedan realizarse las demás actividades y cierra el ciclo de mantenimiento y/o reparación de cilindros hidráulicos con el armado y ensamblado de las partes reparadas.

Como puede observarse en la sugerencia propuesta por la herramienta OptQuest del software Arena 14.0, ésta contratación

permitirá un mejor flujo de los cilindros hidráulicos durante su mantenimiento y/o reparación permitiendo cumplir con el objetivo de aproximarse a la demanda observada.

- **Contrato de 1 nuevo empleado especializado en maquinado en torno y compra de 1 torno**

Los empleados dedicados al mantenimiento y reparación de los componentes de los cilindros hidráulicos en sí luego de ser diagnosticados por los evaluadores, son realizados por los especialistas en el maquinado especializado en torno. Entonces si se desea aumentar el flujo continuo del mantenimiento agregando más evaluadores, se generará un cuello de botella al tener solamente 1 tornero y 1 torno. Es necesaria la contratación de 1 tornero adicional y la compra de 1 torno para que el empleado pueda realizar sus actividades diarias. Las piezas a reparar durante el diagnóstico serán maquinadas con mayor rapidez al tener evitando así demoras en el proceso.

- **Contrato de 1 nuevo empleado especializado en soldadura de componentes de cilindros hidráulicos y máquina soldadora**

La sugerencia brindada por la herramienta OptQuest del software Arena 14.0 es contratar 1 persona especializada en soldadura, ya

que existen procesos dentro del sistema de mantenimiento y/o reparación de cilindros hidráulicos que pertenecen al área de soldadura y que las actividades posteriores dependen de dichos especialistas. Y ya que la herramienta principal para los soldadores es la máquina soldadora es necesario adquirir una nueva con el que el nuevo especialista puede desempeñar su trabajo.

La utilización en el sistema actual de ambos recursos es de 58.45%, este porcentaje se debe a la demora que existe en otras áreas que no permiten que los soldadores se encuentren ocupados permanentemente con respecto a soldadura de cilindros hidráulicos, al incrementar el número de otros recursos los soldadores se convertirán en el nuevo cuello de botella por lo que el software recomienda la contratación de un soldador más.

- **Disminución del horario laboral para trabajadores de producción**

Se propone la disminución del horario laboral para los trabajadores del área de producción a 8 horas/día de lunes a viernes mientras que en los días sábados es mantenido el horario de 3 horas/día. La decisión se toma con el objetivo de incrementar la utilización de los recursos, evitando la fatiga de los mismos y

optimizando el costo de los RRHH de la empresa con respecto a los salarios personales de los colaboradores de producción.

- **Distribución de planta**

Se propone una nueva distribución de planta para que los procesos puedan tener un flujo continuo y evitar recorridos innecesarios o repetitivos.

Al agregar un nuevo recurso como es el caso del torno nuevo se modificará la distribución actual, para que pueda localizarse en la mejor ubicación y se aprovechará para reubicar todos los demás recursos con el objetivo de tener un mejor flujo de los productos durante el proceso.

Como pudo observarse el producto es un componente de maquinaria pesada y no puede movilizarse a mano alzada por lo que es necesaria la utilización de un montacargas que tiene gran recorrido en la ubicación actual.

Otro recurso mal utilizado es el teclé mecánico cuyo giro es de 360° y actualmente se limita a un uso de 90° por la posición en la que se encuentra.

Se calculó inicialmente el área que es necesaria para la ubicación de la maquinaria, fue utilizado el método de Guerchet para los cálculos respectivos (**Detalle Anexo III-1**) identificando la Superficie estática, gravitacional y evolutiva de cada área y utilizando un $k = 0.63$ con la fórmula respectiva, obteniéndose los siguientes resultados:

Se necesitará 138.90 m² para la distribución de la maquinaria.

Tabla n° 12-Tabla Resumen de cálculo de área

Ítem	Máquina	Área (m ²)
1	Maquinado Torno	32.71
2	Bruñido	28.66
3	Soldadura	19.61
4	Evaluación	45.01
5	Fresado	12.91
	Total	138.90

Fuente: Elaboración Propia

Para realizar la distribución relacional de planta se tomaron en cuenta las siguientes áreas:

Tabla n° 13 – Distribución de Recursos

#	Área	Máquina
1	Maquinado torno	Torno
2	Maquinado fresadora	Fresadora
3	Soldado	Maquina soldadora
4	Bruñido	Bruñidora
5	Evaluación, armado	Mesa de evaluación
6	Prueba hidráulica	Banco de pruebas
7	Pintado y embalado	Compresora
8	Almacén PP	Almacén PP
9	Almacén PT	Almacén PT
10	Prensado	Prensa hidraulica

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente se relacionaron todos los puestos de trabajo numerando en una tabla de doble entrada en el que se incluyen la maquinaria correspondiente a cada centro de trabajo para el cálculo de la frecuencia de traslado. Se contaron las veces que se transporta los productos para armar una cantidad de cilindros hidráulicos de un área a otra y se anotó en la casilla correspondiente. Se consideraron para dicho cálculo las camisas

y vástagos como producto A y producto B respectivamente.

(Anexo III-2)

A continuación se formaron tablas rectangulares indicando códigos que representen de mejor manera el modo en cómo se relacionan las áreas y se presentan a continuación:

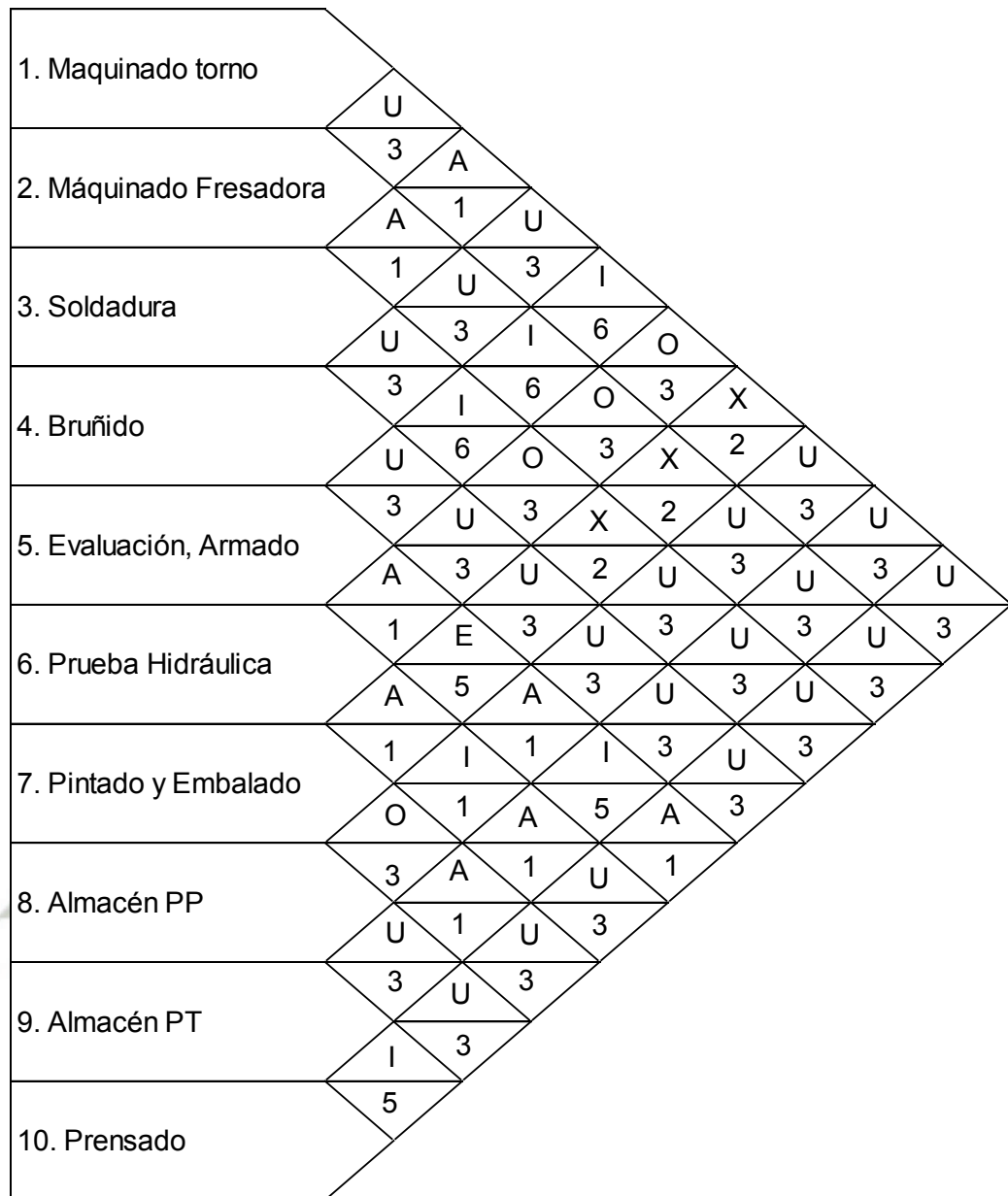
Tabla n° 14 – Códigos para Tabla relacional de Distribución

Cod	Valor de proximidad	Cod	Motivos
A	Absolutamente Necesario	1	Frecuencia de traslado
E	Especialmente Necesario	2	Riesgo de accidente
I	Importante	3	No es necesario
O	Normal u Ordinario	4	Tuberías de aire comprimido
U	Sin Importancia	5	Para facilitar carga y descarga
X	No recomendable	6	Facilita contacto con todas las áreas

Fuente: Elaboración Propia

Se realiza la tabla triangular de relaciones en el que se cruza los códigos de valor de proximidad, los motivos de dichos valores y las áreas involucradas y la lista resumen de la tabla relacional.

Diagrama 17– Diagrama Triangular Relacional de Áreas



Fuente: Elaboración Propia

Tabla n° 15 Resumen de Tabla relacional

Cod	Valor de proximidad
A	(1,3) (2,3) (5,6) (5,8) (5,10) (6,7) (6,9) (7,9)
E	(5,7)
I	(1,5) (2,5) (3,5) (5,9) (6,8) (9,10)
O	(1,6) (2,6) (3,6) (7,8)
U	(1,2) (1,4) (1,8) (1,9) (1,10) (2,4) (2,8) (2,9) (2,10) (3,4) (3,8) (3,9) (3,10) (4,5) (4,6) (4,7) (4,8) (4,9) (4,10) (6,10) (7,10) (8,9) (8,10)
X	(1,7) (2,7) (3,7)

Fuente: Elaboración Propia

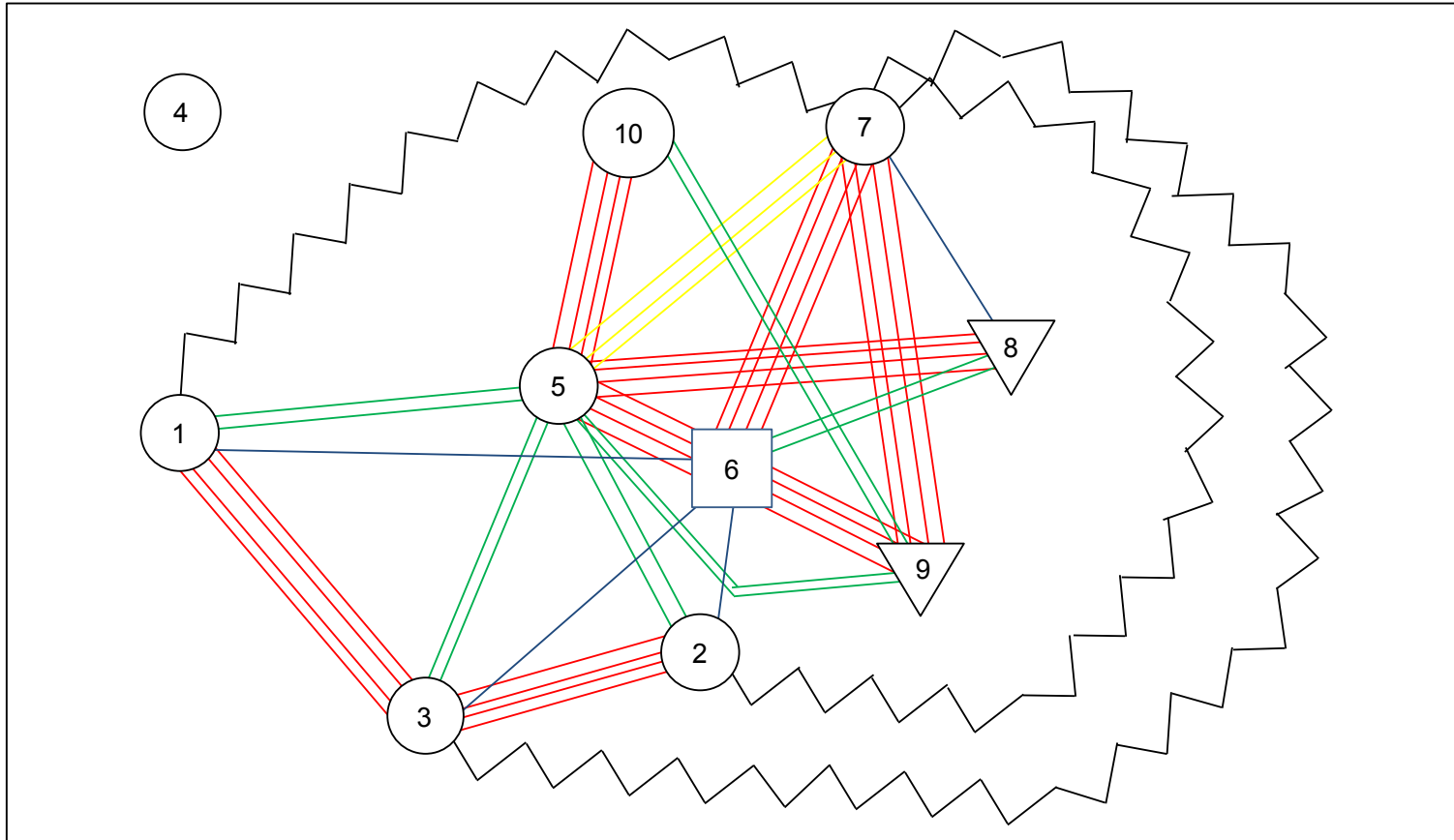
Se diseña el diagrama relacional de actividades generando la relación visual entre áreas con las siguientes direcciones:

Tabla n° 16 Tabla leyenda de Diagrama relacional

Cod	Valor de proximidad	Color	#	Tipo de Líneas
A	Absolutamente Necesario	Rojo	4	Recta
E	Especialmente Necesario	Amarillo	3	Recta
I	Importante	Verde	2	Recta
O	Normal u Ordinario	Azul	1	Recta
U	Sin Importancia	--		
X	No recomendable	Negro	1	zig-zag

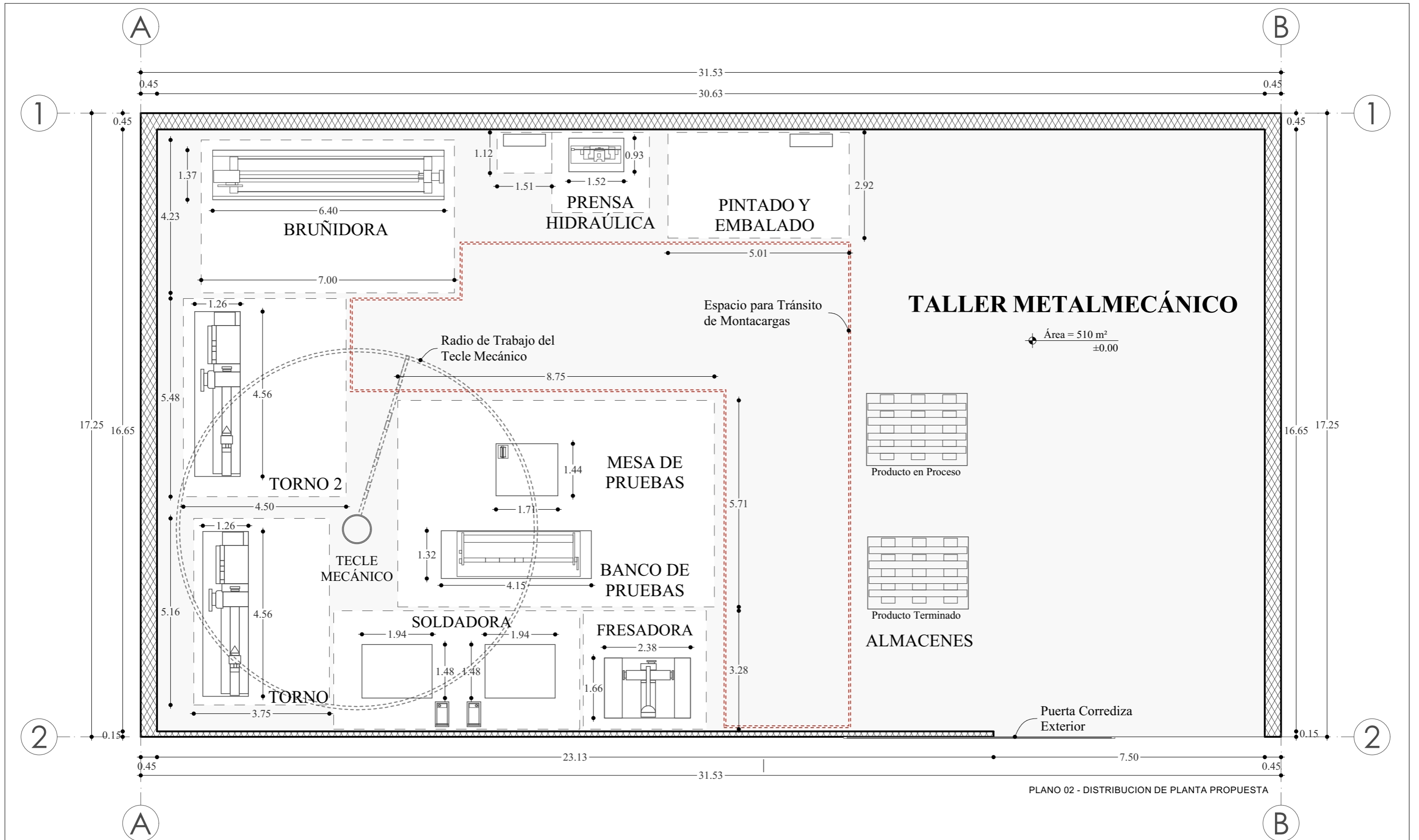
Fuente: Elaboración Propia

Diagrama 18 – Diagrama Relacional de Áreas



Fuente: Elaboración Propia





PLANO 02 - DISTRIBUCION DE PLANTA PROPUESTA



PROYECTO: PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN PRODUCTIVA PARA EL MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE CILINDROS HIDRÁULICOS EN UNA EMPRESA METALMECÁNICA APLICANDO TÉCNICA DE SIMULACIÓN				ESCALA: 1 / 100
PLANO: ARQUITECTURA PROPUESTA PARA TALLER METAL MECANICO				FECHA: NOVIEMBRE 2015
ELABORADO POR: Bach. Cesar Luis Pérez Coaguila				LAMINA: 1 - DE -
CODIGO: 2008240911				A-1
UBICACIÓN:	PROVINCIA :AREQUIPA	DISTRITO :AREQUIPA	DEPARTAMENTO :AREQUIPA	

5.3. SIMULACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

Se tomó como base el sistema actual modelo en el software Arena 14.0 para realizar los cambios propuestos anteriormente, éstos cambios permitirán representar el sistema propuesto ya tratado permitiendo cumplir con el objetivo de producción anual propuesto.

Al realizar la distribución de planta propuesta se disminuyó los espacios de recorrido optimizando la utilización del tecele mecánico, el mismo que ahora tiene un giro de 360° permitiendo la movilización de los cilindros hidráulicos y sus componentes con una mayor facilidad. Cambios que pueden observarse en el nuevo modelo que se presentará en los siguientes puntos:

5.3.1. Variables

Las variables utilizadas en el modelo actual se mantienen en su mayoría habiéndose realizado los siguientes cambios para el modelo propuesto:

- Para las variables X51: Armado, X52: Armado de vástago, tapa y pistón, X53: Prueba hidráulica; son procesos en los que al aumentar un recurso permite disminuir el tiempo total, como consecuencia al disponer de un evaluador más en el modelo propuesto es que se agrega dicho recurso y disminuye el tiempo a

uno estimado brindado por los colaboradores basados en su experiencia.

5.3.2. Recursos

Los cambios propuestos si afectan los recursos, la distribución de los mismos para el sistema propuesto se observa en la siguiente tabla:

Tabla n° 17 – Recursos para Modelo Propuesto

Recurso	Cantidad		
	E1	E2	Actual
R1: Evaluador	4	3	2
R2: Soldador	3	3	2
R3: Torno	2	2	1
R4: Tornero	2	2	1
R5: Máquina soldadora	2	2	1

Fuente: Elaboración Propia

5.3.3. Parámetros

- Se consideró 352 horas de tiempo de calentamiento – 01 de noviembre 2015 al 31 de diciembre del 2015.

- El tiempo de simulación para el sistema propuesto es de 2135 horas – 1 de Enero del 2016 al 31 de diciembre del 2016, como se observa en el siguiente cuadro:

Tabla n° 18 - Horas Trabajadas Propuesto

2016													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Días	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Sábados	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5	
Domingos	5	4	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	
Feridos	1	0	3	0	1	2	2	1	0	1	1	2	
	175	180	172	183	180	172	167	188	188	175	180	175	2135

Fuente: Elaboración Propia

- Número de réplicas: 111



Ilustración 15 Modelo de Simulación Propuesto

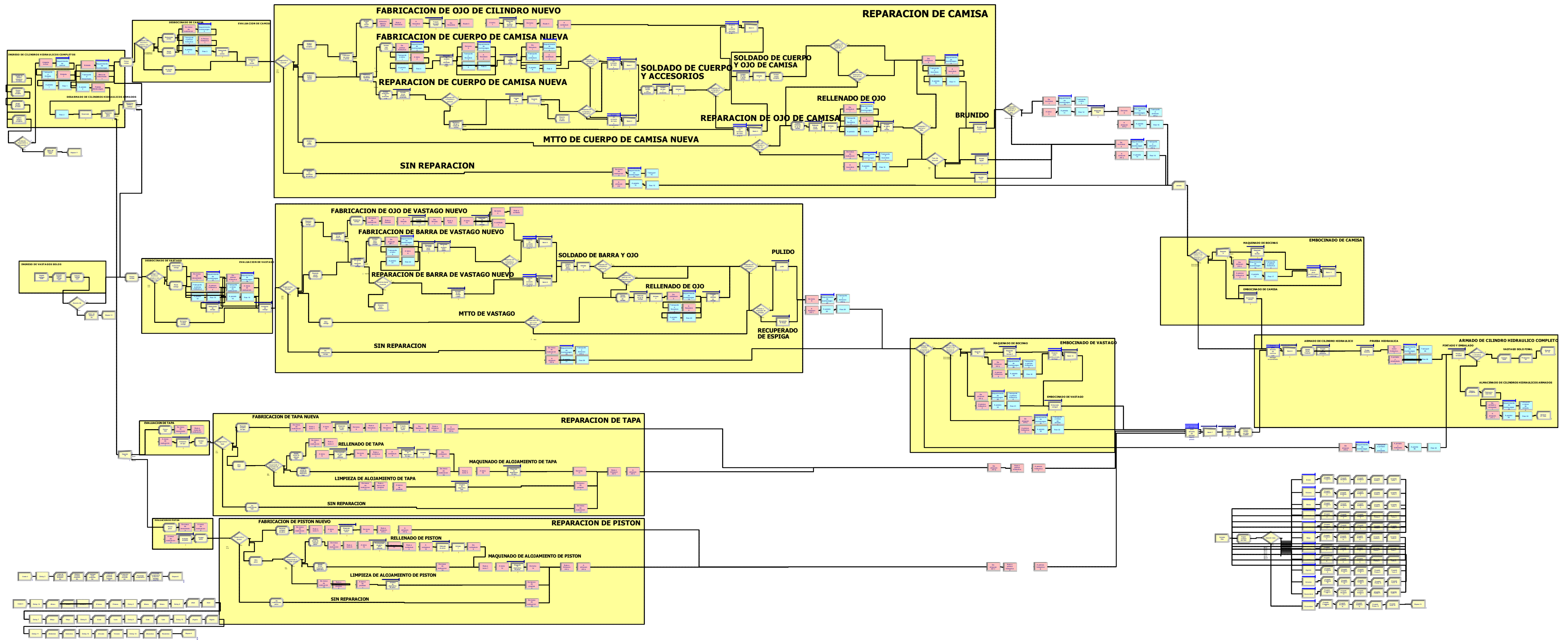
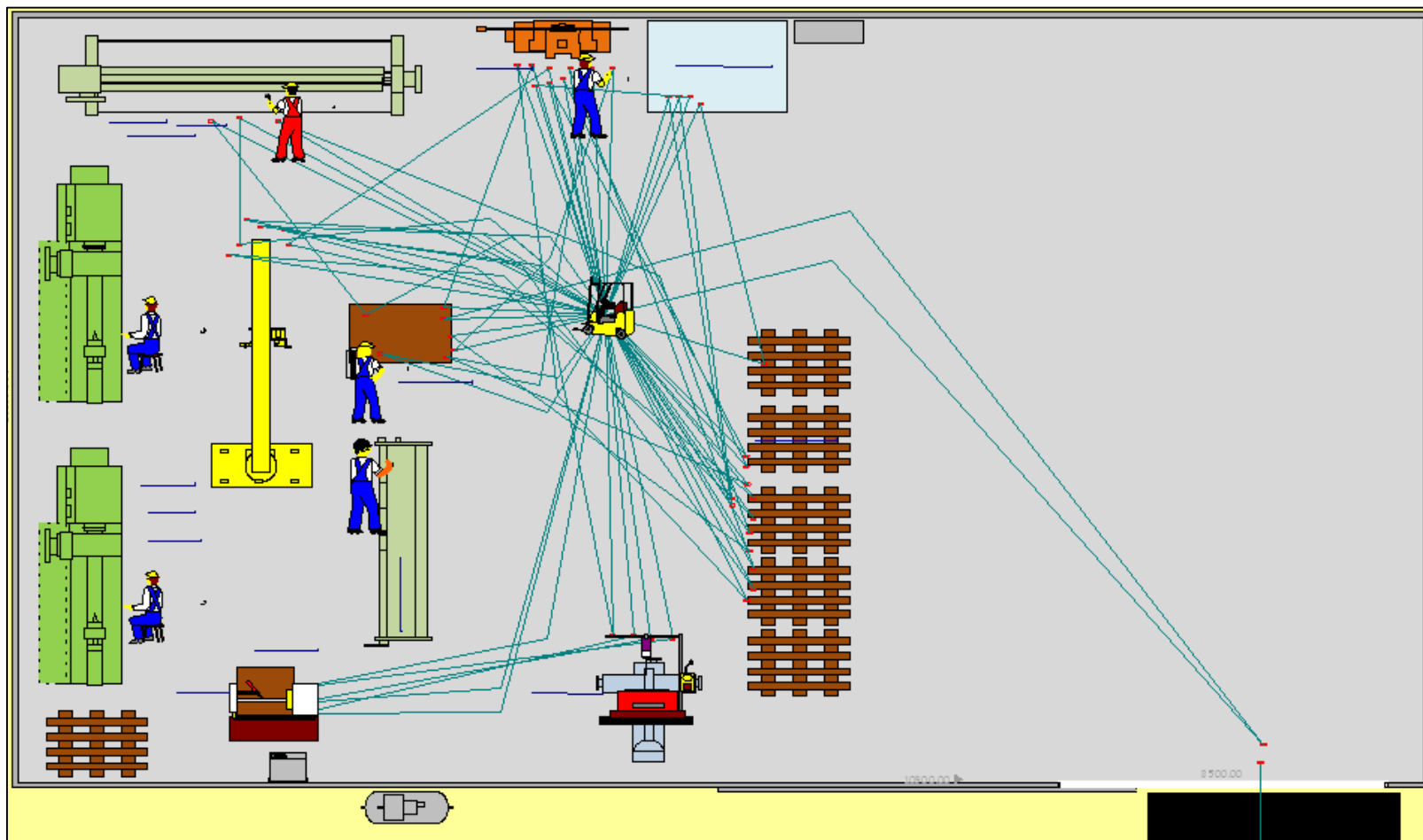


Ilustración 16 – Animación del Modelo de Simulación Propuesto



Fuente: Elaboración Propia

5.3.4. Evaluación de resultados

Se presenta a continuación la tabla con los resultados del modelo propuesto en el que puede observarse la diferencia entre ambos escenarios y además comparándolo con el modelo actual. En la parte 2 del cuadro correspondiente a producción 2016, CH corresponde a cilindros hidráulicos completos y VS a vástagos Solos.

Tabla n°19 - Resultados del Sistema Propuesto

Var	Descripción	Escenario 1		Escenario 2		Actual	
		E1 Valor Prop	Half Width	E2 Valor Prop	Half Width	Valor actual	Half Width (±)
U1	Utilización de torno	73.12%	1.00%	69.54%	1.00%	86.75%	1.00%
U2	Utilización de tornero	74.81%	1.00%	71.16%	1.00%	88.74%	1.00%
U3	Utilización de evaluadores	59.13%	1.00%	75.32%	1.00%	70.64%	1.00%
U4	Utilización de bruñidora	23.85%	0.00%	22.84%	0.00%	13.76%	0.00%
U5	Utilización de soldadores	63.65%	1.00%	60.55%	1.00%	58.45%	0.01%
U6	Utilización de máquina soldadora	36.98%	1.00%	35.13%	1.00%	43.83%	0.00%
U7	Utilización de fresadora	40.38%	1.00%	38.70%	1.00%	24.02%	0.00%
Wq1	Tiempo promedio en cola refrentado y encastre de barra nueva	907.9	74.0	307.0	23.7	120.3	1.1
Wq2	Tiempo promedio en cola rellenado de ojo de camisa	46.41	2.04	30.24	1.25	86.28	4.11
Wq3	Tiempo promedio en cola Evaluación camisa	88.165	2.45	90.4	2.27	289.58	6.21
Wq4	Tiempo promedio en cola Evaluación vástago	85.62	2.44	92.97	2.45	262.76	5.73
Wq5	Tiempo promedio en cola Bruñidora	224.76	18.88	161.55	13.99	173.94	18.2
Wq6	Tiempo promedio en cola Pintado	22.78	0.57	18.93	0.41	20.193	0.49
W1	Tiempo de ciclo de producción CHA	4690.4	229.7	4868.4	154.2	7473.9	139.5
W2	Tiempo de ciclo de producción VS	3241.1	285.5	2267	174.2	5778.4	374.1
Y1	Producción promedio cilindros completos anual	339.99	6.93	325.53	5.25	245.66	3.14
Y2	Producción promedio cilindros completos mensual	28.33	0.58	27.13	0.44	20.47	0.26
Y3	Producción promedio vástagos solos anual	44.48	3.99	39.45	3.87	45.52	4.11
Y4	Producción promedio vastagos solos mensual	3.70	0.33	3.29	0.32	3.79	0.34

Y5	Productividad media por hora hombre	0.0864	0.00	0.0865	0.00	0.0847	0.00
Y6	Productividad media por hora máquina	0.1753	0.00	0.1757	0.00	0.1745	0.00
Y7	Productividad total	0.0332	0.00	0.0340	0.00	0.0326	0.00
Y8	Índice de Producción (horas /unidad)	6.3542	0.13	6.6078	0.11	10.89	0.14
Y9	Porcentaje cumplimiento de producción cilindros completos	96.72%	1.00%	92.3%	1.00	69.3%	1%
Y10	Porcentaje cumplimiento de producción vástagos completos	93.42%	2.00%	81.6%	4.00	84.4%	3%
Producción 2015 - 2016		CH	VS	CH	VS	CH	VS
Y12	Producción Enero 2016	27	4	26	4	21	5
Y13	Producción Febrero 2016	29	5	27	4	18	4
Y14	Producción Marzo 2016	28	4	27	3	21	3
Y15	Producción Abril 2016	29	3	29	3	20	3
Y16	Producción Mayo 2016	29	3	29	3	20	4
Y17	Producción Junio 2016	27	4	26	3	19	3
Y18	Producción Julio 2016	25	4	24	3	20	4
Y19	Producción Agosto 2016	30	4	30	3	20	4
Y20	Producción Septiembre 2016	30	4	29	3	21	4
Y21	Producción Octubre 2016	28	4	24	3	22	4
Y22	Producción Noviembre 2016	30	3	28	4	20	3
Y23	Producción Diciembre 2016	28	3	27	3	21	4

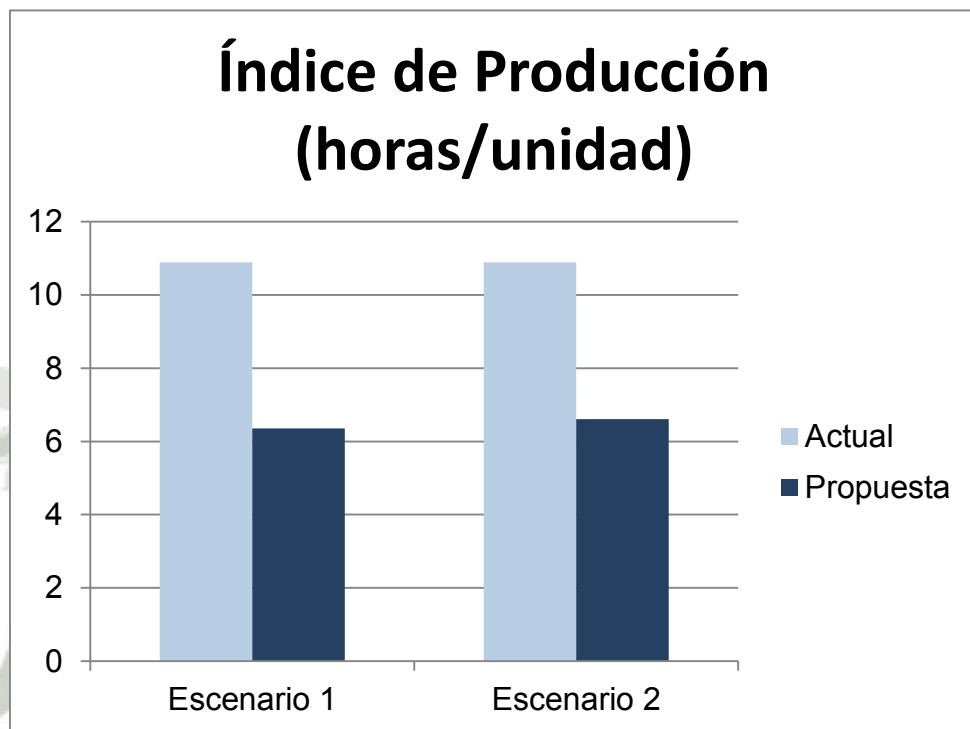
Fuente Elaboración Propia

A continuación se realiza el análisis de los resultados resaltando los cambios más importantes:

- Se cumplió con incrementar el producto más trascendental en la empresa, la cantidad de cilindros hidráulicos armados aumentó su producción según la demanda pronosticada. El índice que muestra claramente dicha optimización es el de producción que disminuyó en 41.66% y 39.33% para el escenario 1 y escenario 2 respectivamente, actualmente el ratio tenía un valor de 10.89 horas/unidad y con el modelo propuesto pudo reducirse a 6.35 horas/unidad para E1 y 6.61 horas/unidad para E2, permitiendo

una reparación y/o mantenimiento de cilindros hidráulicos en un menor tiempo (**Gráfica 07**).

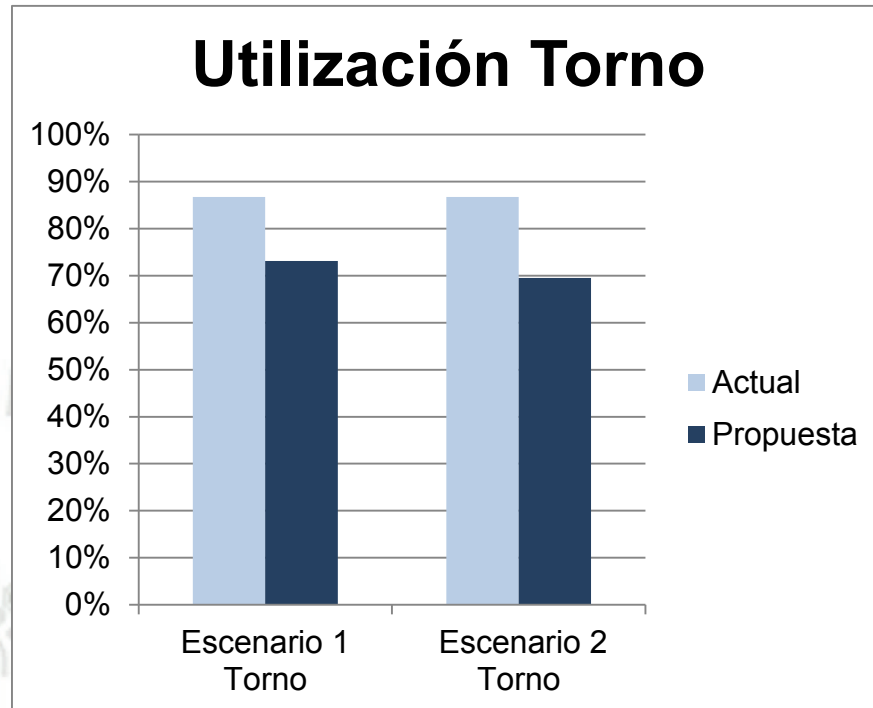
Gráfica 05 – Índice de Producción



Fuente: Elaboración Propia

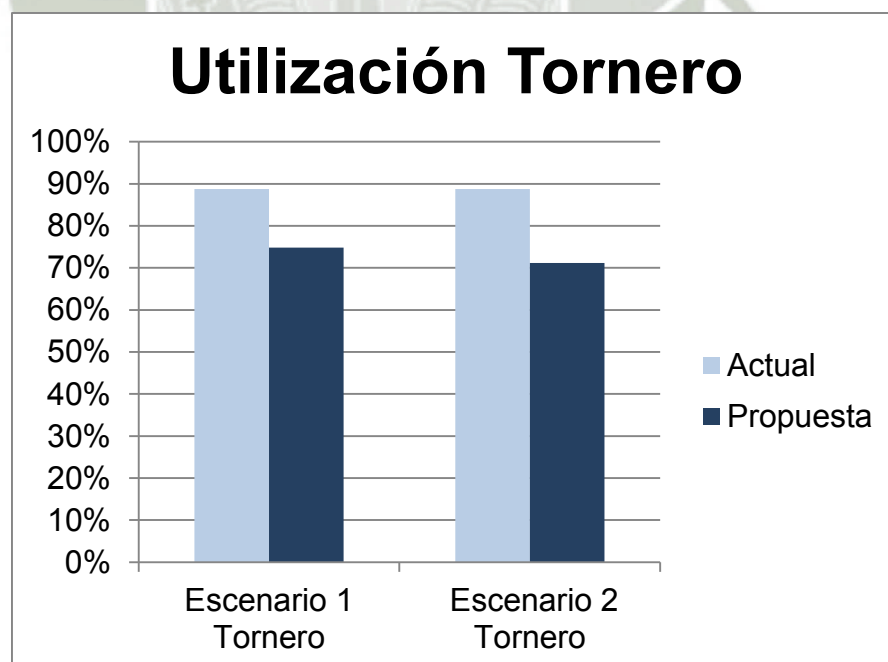
Con respecto a las utilizaciones del torno el porcentaje pasó de 86.75% a 73.12% y 69.54% en el E1 y E2 respectivamente (**gráfica 08**). En el caso del tornero pasó de 88.74% a 74.81% para E1 y a 71.16% para E2 (**Gráfica 09**). Ésta disminución de la utilización se debe al incremento de un tornero y un torno como recursos del sistema para que desempeñen las funciones de su respectivo puesto.

Gráfica 06 – Utilización de Torno



Fuente: Elaboración Propia

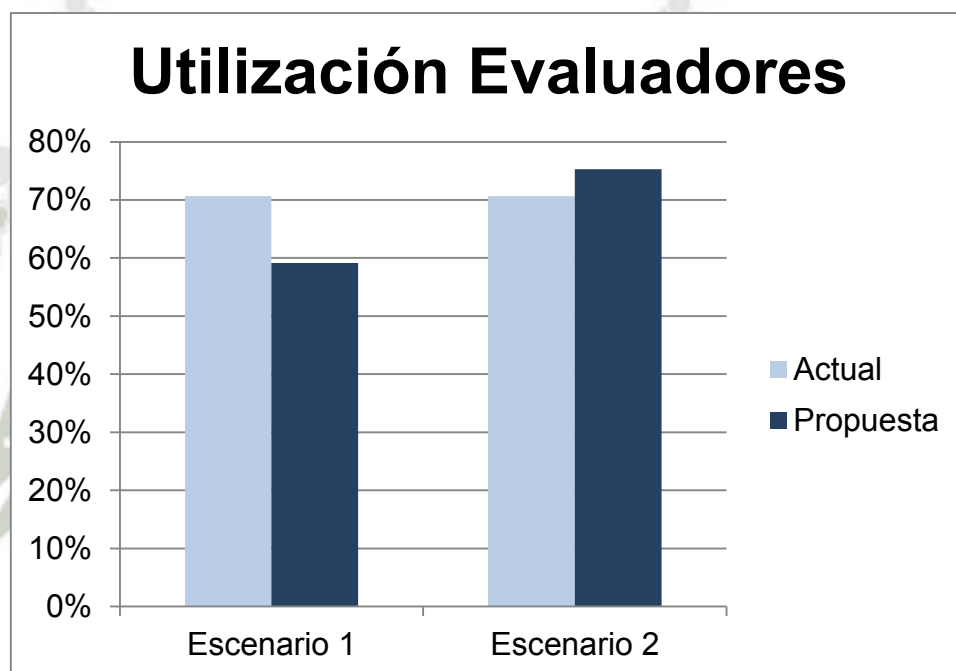
Gráfica 07 – Utilización de Tornero



Fuente: Elaboración Propia

- Los evaluadores actualmente poseen una utilización de 70.64%, para el escenario 1 se propone el aumento de 2 evaluadores más por lo que su utilización se reduce a 59.13%; mientras que para el escenario 2 se propone el aumento de 1 evaluador incrementando su utilización a 75.32%.

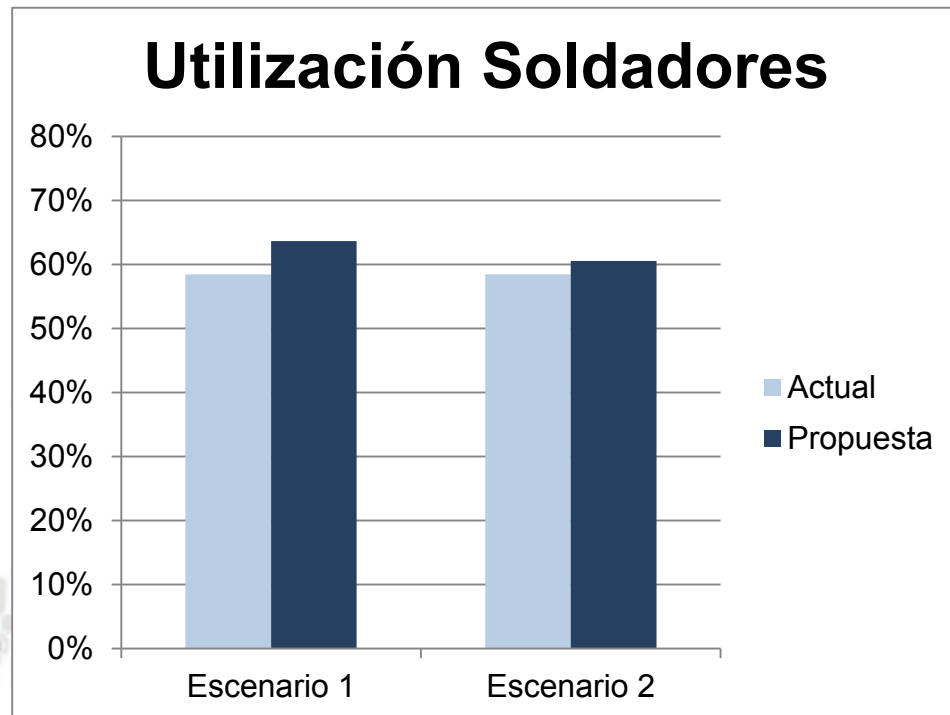
Gráfica 08 – Utilización Evaluadores



Fuente: Elaboración Propia

- La utilización de los soldadores se ve incrementada con el aumento en una unidad para ambos escenarios pasando de 58.45% a 63.65% y 60.55% para el escenario 1 y escenario 2 respectivamente.

Gráfica 09 – Utilización Soldadores

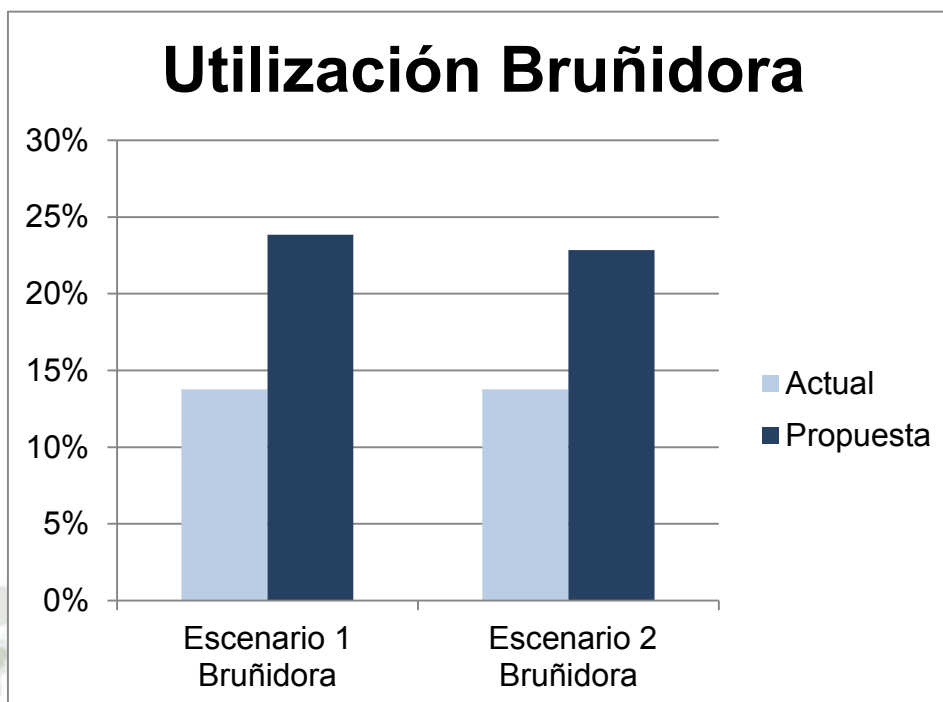


Fuente: Elaboración Propia

- La utilización de los recursos, en los cuales la cantidad programada se mantuvo igual, aumentó. Es el caso de la máquina bruñidora y fresadora, quienes mantenían una utilización máxima de 13.76% y 24.02%. La máquina bruñidora para el escenario 1 aumentó a 23.85%, mientras que para el escenario 2 pasó a 22.84%.

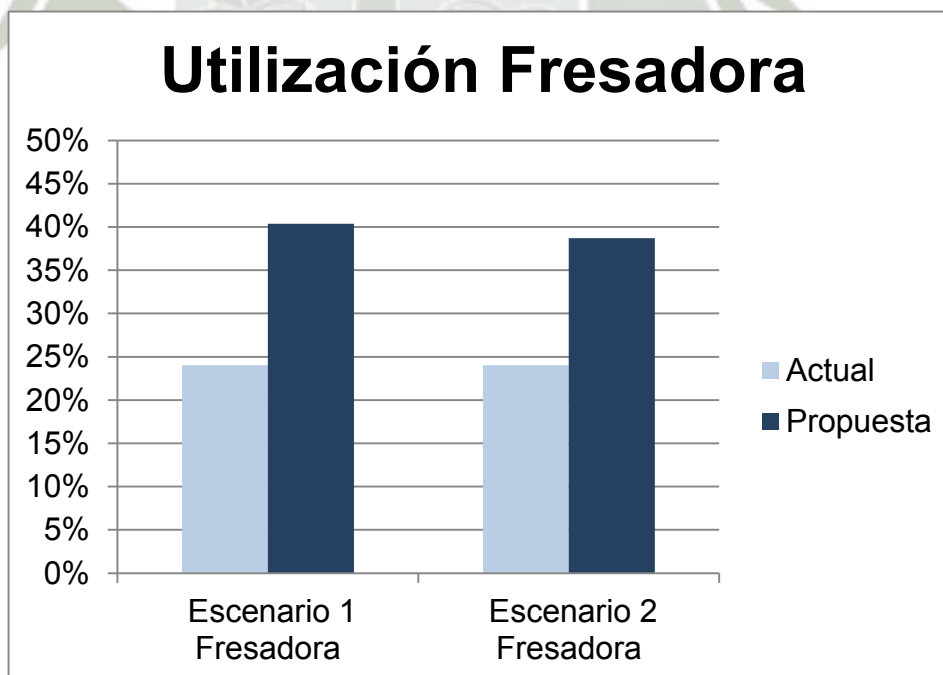
El valor de la fresadora para el escenario 1 se incrementó a 40.38%; mientras que para el escenario 2 pasó a 38.70% como puede observarse en la gráfica.

Gráfica 10 – Utilización Bruñidora



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 11 – Utilización Fresadora



Fuente: Elaboración Propia

Haciendo uso de la herramienta externa de Arena 14.0, Output Analyzer se determinó el intervalo de confianza con un 95%, en el que puede claramente observarse las mejoras del método propuesto sobre el método actual para el año 2016, mejorado así el índice de producción generando una disminución en 41.66% y 39.33% para E1 y E2 respectivamente.

Tabla n° 20 – Índice de Producción

Índice	Promedio	n	Desviación Estandar	LS al 95%	LI al 95%
Índice de producción actual	10.9	111	0.757	11	10.7
Índice de producción Prop E1	6.35	111	0.695	6.48	6.22
Índice de producción Prop E2	6.61	111	0.578	6.72	6.5
				Z=	1.960

Fuente: Elaboración Propia

El mantenimiento y/o reparación promedio anual de cilindros hidráulicos completos incrementó su número en 38.4% para el escenario 1 y 32.51% para el escenario 2. Ambos aproximándose al pronóstico calculado para el año 2016.

Tabla n° 21 – Mantenimiento y/o reparación de Cilindros Hidráulicos

Índice	Promedio	n	Desviación Estandar	LS al 95%	LI al 95%
Cilindros armados actual	246	111	16.7	249	243
Cilindros armados prop E1	340	111	36.9	347	333
Cilindros armados prop E2	326	111	27.9	331	320
				Z=	1.960

Fuente: Elaboración Propia

- Con respecto al mantenimiento y/o reparación de vástagos que llegan sin otro componente adjunto, la capacidad del servicio se mantuvo en similar número al modelo actual para ambos escenarios.

Tabla n° 22 – Mantenimiento y/o reparación de vástagos

Índice	Promedio	n	Desviación Estandar	LS al 95%	LI al 95%
Vastagos Solos actual	45.5	111	21.9	49.6	41.4
Vastagos Solos prop E1	44.5	111	21.2	48.5	40.5
Vastagos Solos prop E2	39.4	111	20.6	43.3	35.6

Z= 1.960

Fuente: Elaboración Propia

- El índice de productividad relacionada a los recursos humanos aumentó en 2.00% para el escenario 1 y en 2.17% para el escenario 2, con respecto al índice de productividad relacionada a los recursos mecánicos aumentó en 0.43% para E1 y en 0.66% para E2. Sin embargo para la productividad total planteada se obtuvo una mejora en 1.8% para el E1 y en 4.12% para E2.
- El tiempo de fabricación para los cilindros hidráulicos armados disminuyó en 37.24% para E1 (**Tabla n° 20**); mientras que para el Escenario 2 disminuyó en 34.86%. Por otro lado el tiempo de fabricación para vástagos solos disminuyó en 43.91% para E1 y 60.77% para E2 (**Tabla n° 21**).

Tabla n° 23 – Tiempo de Fabricación Cilindro Hidráulico

Armado

Índice	Promedio	n	Desviación Estandar	LS al 95%	LI al 95%
Tfabricación CHA Actual	7473.9	111	742.299	7611.991	7336
Tfabricación CHA E1	4690.38	111	1222.1577	4917.74	4463
Tfabricación CHA E2	4868.4	111	820.39955	5021.02	4716

Z= 1.960

Fuente: Elaboración Propia

Tabla n° 24 – Tiempo de fabricación Vástago Solo

Índice	Promedio	n	Desviación Estandar	LS al 95%	LI al 95%
Tfabricación CHA Actual	5778.4	111	1990.3	6148.659	5408
Tfabricación CHA E1	3241.13	111	1519.0849	3523.728	2959
Tfabricación CHA E2	2267	111	882.23967	2431.124	2103

Z= 1.960

Fuente: Elaboración Propia

- El servicio de mantenimiento y/o reparación con el método propuesto llegaría a un promedio de 340 cilindros hidráulicos anuales con un intervalo de entre 347 y 333 con un nivel de confianza de 95% para el escenario 1. Con respecto al escenario 2 el número llegaría a un promedio de 326 con un intervalo de confianza entre 331 y 320 al 95%. El resultado nos ayudará a afirmar que con el modelo propuesto se lograría el objetivo planteado inicialmente.

**Tabla n° 25 – Ratio de mantenimiento y/o reparación de cilindros
hidráulicos**

Índice	Promedio	n	Desviación Estandar	LS al 95%	LI al 95%
Cilindros armados prop E1	340	111	36.9	347	333
Cilindros armados prop E2	326	111	27.9	331	320

$$Z= 1.960$$

Fuente: Elaboración Propia

Se selecciona el escenario 2 como el propuesto final ya que los valores obtenidos comparando con el escenario 1 son mejores y obteniendo cantidad de productos a los cuales se brindó el servicio similares; sin embargo las utilizaciones son mejores y la productividad en todos sus índices también.

Finalmente es comprobado que con una probabilidad de 95% de certeza, se logra el objetivo y la meta propuesta ya que en el pronóstico se desea reparar la cantidad de 336 cilindros hidráulicos y la cantidad simulada en el escenario 2 es aproximada a dicho valor obteniendo un porcentaje de cumplimiento de 92.3% para cilindros hidráulicos armados y de 81.6% para vástagos solos.

CAPITULO VI

DETERMINACIÓN DE COSTOS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA

La determinación de costos y evaluación económica tiene como principal objetivo sustentar la propuesta de forma económica y asegurar que los cambios propuestos permitan a la empresa una mejora financiera a lo largo del 2016 y años posteriores, siendo consecuente permite evaluar la conveniencia de aplicar dichos cambios para obtener mejores resultados para la empresa al ser aumentada la eficiencia y productividad en el área de producción.

6.1. DETERMINACIÓN DE COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA Y MATERIALES DIRECTOS

6.1.1. Costo personal de producción

Personal que labora directamente en el área de producción de la empresa dentro de planta de operaciones.

Tabla n°26 – Costo Personal de Producción

Cargo	USD/hora	Personal actual	Personal propuesto	Total S/. Actual	Total S/. Prop
Evaluador	8.11	2	3	S/. 3,600.00	S/. 4,331.29
Soldador	7.66	2	3	S/. 3,400.00	S/. 4,090.66
Tornero	8.56	1	2	S/. 1,900.00	S/. 3,047.95
				S/. 8,900.00	S/. 11,469.90
				USD 2,781.25	USD 3,584.34

Fuente: Elaboración Propia

6.1.2. Beneficios Sociales

Los beneficios sociales son responsabilidades propias del empleador los cuales ascienden al 42.33% e incluye Seguro social, CTS, Vacaciones trucas y gratificaciones trucas.

Tabla n°27 – Beneficios Sociales

Beneficios	%
SS	9
CTS	8.33
Vacaciones truncas	8.33
Gratificaciones truncas	16.67
Total	42.33

Fuente: Elaboración Propia

Tabla n°28 – Costo Total de Mano de Obra de Producción

Cargo	USD/ hora	Personal actual	Personal propuesto	% Beneficios Sociales	Total S/. Actual	Total S/. Prop
Evaluador	8.11	2	3	42.33%	S/. 5,123.88	S/. 6,164.73
Soldador	7.66	2	3	42.33%	S/. 4,839.22	S/. 5,822.24
Tornero	8.56	1	2	42.33%	S/. 2,704.27	S/. 4,338.14
					S/. 12,667.37	S/. 16,325.11
					USD 3,958.55	USD 5,101.60

6.1.3. Costo Material Directo

A continuación se presenta el costeo de material directo calculado para los procesos trascendentales que constituyen un costo relevante actual y propuesto:

Tabla n°29 – Costeo Material Directo Modelo Actual

COSTEO ACTUAL												
MD	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Costo Camisas	1440.0	1030.0	1150.0	940.0	1410.0	1030.0	1400.0	1150.0	1180.0	1520.0	1430.0	1430.0
Costo Vástago	12885.0	10990.0	12275.0	9740.0	10380.0	10990.0	10350.0	10380.0	10990.0	12855.0	11635.0	12885.0
Costo Tapa	5097.5	4597.5	5097.5	4047.5	4847.5	4847.5	5047.5	5097.5	5097.5	5297.5	5097.5	5097.5
Costo Pistón	3523.3	3063.3	3523.3	2893.3	3353.3	3183.3	3573.3	3596.6	3889.9	3863.3	3596.6	3693.3
Bocina o rótula	1870.0	1530.0	1820.0	1360.0	1580.0	1580.0	1460.0	1530.0	1580.0	1630.0	1460.0	1630.0
Total	24815.8	21210.8	23865.8	18980.8	21570.8	21630.8	21830.8	21754.1	22737.4	25165.8	23219.1	24735.8

Fuente: Elaboración Propia

Tabla n°30 – Costeo Material Directo Modelo Propuesto

COSTEO PROPUESTO												
MD	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Costo Camisas	1650	1700	1700	970	1440	1640	1520	1850	1790	1550	1990	1700
Costo Vástago	15330	15265	15330	9220	11605	14685	12825	15325	14715	13465	15845	14685
Costo Tapa	6347.5	6895	6895	4097.5	5597.5	6297.5	5847.5	7395	7097.5	5847.5	6847.5	6597.5
Costo Pistón	4443.3	4686.6	4686.6	2843.3	3863.3	4516.6	4276.6	5196.6	5249.9	4326.6	4856.6	4763.3
Bocina o rótula	2210	2260	2260	1240	1700	2160	1870	2380	2260	1920	2380	2260
Total	29980.8	30806.6	30871.6	18370.8	24205.8	29299.1	26339.1	32146.6	31112.4	27109.1	31919.1	30005.8

Fuente: Elaboración Propia

6.2. DETERMINACIÓN DE COSTOS INDIRECTOS

6.2.1. Costo Material Indirecto

En la tabla 28 y 29 se presenta el costeo de materiales indirectos utilizados para los procesos más trascendentales que representan un costo relevante:

6.2.2. Costo Electricidad Maquinaria

En las tablas 30 y 31 se presenta el costo mensual de electricidad calculada por la Potencia en Kw de cada máquina multiplicado por las horas ocupadas al mes resultando el índice Kwh. Finalmente se multiplica dicho índice por el precio Kwh dada por SEAL (cargo fijo: US\$ 1.99, Kw hora punta: US\$ 0.076, US\$, Kw fuera de hora punta: US\$0.063)

Tabla n°31 – Costeo Material Indirecto Actual

COSTEO ACTUAL												
CI	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Costo Camisas	635.9	545.3	605.9	484.8	605.6	545.3	605.9	605.9	636.2	666.5	605.9	636.2
Costo Vástago	434.3	362.4	416.1	326.0	344.2	362.4	344.2	344.2	362.4	434.3	382.2	434.3
Costo Tapa	184.2	167.2	184.2	150.1	175.7	175.7	184.2	184.2	184.2	192.8	184.2	184.2
Costo Pistón	175.3	151.1	175.3	143.1	167.3	159.2	175.3	189.4	211.5	191.4	189.4	183.4
Desarmado	196.6	168.5	196.6	149.8	187.2	177.9	187.2	187.2	196.6	206.0	187.2	196.6
Armado	1089.4	933.8	1089.4	830.0	1037.5	985.6	1037.5	1037.5	1089.4	1141.3	1037.5	1089.4
Prueba Hidr.	55.9	47.9	55.9	42.6	53.3	50.6	53.3	53.3	55.9	58.6	53.3	55.9
Pintado y Emb.	234.8	201.3	234.8	178.9	223.6	212.5	223.6	223.6	234.8	246.0	223.6	234.8
Total	3006.5	2577.5	2958.3	2305.2	2794.4	2669.2	2811.3	2825.4	2971.1	3136.9	2863.4	3014.9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla n°32 – Costeo Material Indirecto Propuesto

COSTEO PROPUESTO												
CI	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Costo Camisas	787.4	818.0	818.0	484.8	635.9	787.7	696.8	908.9	878.6	727.1	848.0	818.0
Costo Vástago	508.8	507.2	508.8	323.5	382.2	489.0	418.7	522.9	504.7	452.6	525.4	489.0
Costo Tapa	226.9	257.5	257.5	150.1	201.3	226.9	209.8	274.6	252.5	209.8	243.9	235.4
Costo Pistón	215.6	237.8	237.8	143.1	191.4	229.7	221.6	261.9	276.0	221.6	245.8	231.8
Desarmado	243.4	252.8	252.8	149.8	206.0	243.4	224.7	280.9	271.5	224.7	262.1	252.8
Armado	1348.8	1400.6	1400.6	830.0	1141.3	1348.8	1245.0	1556.3	1504.4	1245.0	1452.5	1400.6
Prueba Hidr.	69.2	71.9	71.9	42.6	58.6	69.2	63.9	79.9	77.2	63.9	74.6	71.9
Pintado y Emb.	290.7	301.9	301.9	178.9	246.0	290.7	268.4	335.5	324.3	268.4	313.1	301.9
Total	3690.8	3847.7	3849.3	2302.7	3062.6	3685.4	3348.9	4220.8	4089.1	3413.1	3965.4	3801.4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla n°33 – Costeo Electricidad Maquinaria Modelo Actual

COSTEO ACTUAL												
Equipo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Torno	95.9	87.0	93.6	87.8	93.8	86.7	91.5	90.3	97.7	94.6	94.1	92.5
Máq. Bruñidora	27.3	24.2	27.0	26.4	26.9	25.1	26.3	25.8	28.7	26.3	27.2	26.7
Fresadora	28.3	25.2	27.0	26.1	27.0	25.4	26.5	26.7	29.5	26.4	28.0	27.3
Prensa	5.8	5.4	5.8	5.6	5.8	5.5	5.6	5.6	6.1	5.6	5.8	5.8
Máq. soldadora	102.5	94.3	101.1	94.6	101.3	95.4	96.0	99.2	106.3	99.9	104.0	99.8
Total	259.8	236.1	254.5	240.6	254.8	238.1	245.9	247.5	268.3	252.9	259.1	252.1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla n°34 – Costeo Electricidad Maquinaria Modelo Propuesto

COSTEO PROPUESTO												
Equipo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Torno	111.3	124.4	119.6	123.3	120.9	113.1	108.9	123.2	121.7	112.0	118.9	116.6
Máq. Bruñidora	32.9	36.1	35.2	35.7	36.3	33.0	32.0	36.0	36.1	33.1	35.2	33.8
Fresadora	33.7	35.3	34.5	35.1	35.1	33.0	31.9	35.1	36.1	32.6	34.4	33.8
Prensa	6.6	7.1	6.9	7.2	7.2	6.6	6.5	7.1	7.0	6.6	7.0	6.7
Máq. soldadora	121.2	133.5	128.1	132.2	132.1	122.4	117.5	132.6	132.1	121.6	128.9	126.3
Total	305.7	336.3	324.3	333.5	331.5	308.2	296.7	334.0	333.0	305.9	324.5	317.1

Fuente: Elaboración Propia

6.3. INVERSIÓN DE MAQUINARIA

Para poder cumplir con el modelo propuesto es necesario agregar al sistema actual los equipos descritos anteriormente los cuales serán cotizados con proveedores conocidos.

- 1 Torno Optiturn TH 5630
- 1 Máquina soldadora

6.3.1. Alternativa de Adquisición

Se cotizó con la empresa OPTItturn para la compra de la maquinaria, empresa proveedora de maquinaria especializada en metalmecánica y que la empresa en estudio conoce por la compra de productos anteriormente. Las características de la maquinaria son las siguientes:

Tabla n°35 – Cotización torno Torno Nuevo

Proveedor	JK Investment
Máquina:	Torno
Marca:	OPTItturn
Modelo:	TH 5630
Año:	2015
Inversión:	US\$ 34,400

Fuente: Proveedores, Elaboración Propia

Tabla n°36 – Cotización torno máquina para soldar

Máquina:	Máquina soldadora
Marca:	Miller
Modelo:	XMT 350 CC/CV
Año:	2015
Inversión:	US\$ 4,600

Fuente: Proveedores, Elaboración Propia

6.3.2. Depreciación

Se tomará en cuenta la depreciación de la maquinaria a comprarse ya que significará una diferencia con respecto al modelo actual que finalmente generará una disminución en los impuestos percibidos. Se consideró una depreciación anual del 10% para ambas máquinas.

Tabla n°37 – Depreciación de maquinaria

Máquina	Valor Contable	Monto Mensual
Torno Paralelo	US\$ 34,400	US\$ 286.67
Máquina soldadora	US\$ 4.600	US\$ 38.33

Elaboración Propia

6.3.3. Valor de recuperación

Para el valor de recuperación por la venta de equipos se consideró solamente las máquinas que generarán diferencia entre ambos modelos.

Tabla n°38 – Venta de Equipos

Máquina	Valor Actual	Venta
Torno Paralelo	US\$ 34,400.00	US\$ 30,960.00
Máquina soldadora	US\$ 4,600.00	US\$ 4,140.00

Elaboración Propia

6.4. TASA DE DESCUENTO

Para el cálculo de la tasa de descuento se utilizó el método CAPM el cual es considerado como una herramienta financiera para hallar la tasa de retorno requerida para una inversión.

Para dicho cálculo se utilizó como consulta la página Damodaran y del Banco Centra de Reserva del Perú, los cuales brindan la siguiente información para poder cumplir estos cálculos:

β no apalancado(Machinery):	1.05
Rf (Bonos EEUU a 10 años):	2.076%
Rm:	11.527%
Riesgo País:	1.77%

Con estos datos se comienza a realizar el apalancamiento del beta, considerando que la empresa tiene una política general de deuda patrimonio de 0.2 a 0.8 respectivamente. La tasa de impuesto general para Perú es de 30%.

$$\beta_{\text{apalancado}} = \beta_{\text{no apalancado}} * 1 + (1 - t) * \frac{D}{C}$$

$$\beta_{\text{apalancado}} = 1.05 * 1 + (1 - 0.3) * (0.2 / 0.8)$$

$$\beta_{\text{apalancado}} = 1.23$$

A continuación se realiza el cálculo de la tasa de descuento utilizando la fórmula de CAPM multiplicando la tasa de riesgo país por un factor de riesgo de 1.5.

$$K_e = R_f + \beta_{\text{apalancado}} * (R_m - R_f) + 1.5 * RP$$

$$K_e = 2.076\% + 1.23 * (11.53 - 2.076) + 1.5 * 1.77\%$$

$$K_e \text{ anual} = 16.36\%$$

$$K_e \text{ mensual} = 1.27\%$$

6.5. FLUJOS DE CAJA

En el flujo de caja se considerarán los costos de producción asignados y evaluados en puntos anteriores.

Tabla n°39 – Flujo de Caja Modelo Actual

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Ingresos	41630	35510	40410	31720	37150	36530	37440	37360	39100	42620	39110	41520
Costos	32041	27983	31037	25485	28578	28497	28847	28786	29935	32514	30300	31961
MD	24816	21211	23866	18981	21571	21631	21831	21754	22737	25166	23219	24736
MOD	3959	3959	3959	3959	3959	3959	3959	3959	3959	3959	3959	3959
CI	3006	2578	2958	2305	2794	2669	2811	2825	2971	3137	2863	3015
Electricidad	260	236	255	241	255	238	246	248	268	253	259	252
Total	9589.40	7526.98	9372.80	6234.85	8571.51	8033.37	8593.43	8574.42	9164.65	10105.93	8809.86	9558.63

Elaboración Propia

VAN = US\$ 95,845.50

Tabla n°40 – Flujo de Caja Modelo Propuesto

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Ingresos	51810	53390	53540	31910	42110	50910	45960	57020	55060	47150	55070	87640	
Liquidación												35100	
Costos	39403.81	40417.24	40471.78	26433.60	33026.56	38719.27	35411.32	42128.03	40961.13	36254.63	41635.59	39550.87	
MD	29980.80	30806.60	30871.60	18370.80	24205.80	29299.10	26339.10	32146.60	31112.40	27109.10	31919.10	30005.80	
MOD	5101.60	5101.60	5101.60	5101.60	5101.60	5101.60	5101.60	5101.60	5101.60	5101.60	5101.60	5101.60	
CI	3690.77	3847.72	3849.29	2302.68	3062.61	3685.41	3348.88	4220.80	4089.14	3413.09	3965.43	3801.38	
Electricidad	305.65	336.32	324.30	333.52	331.55	308.17	296.74	334.04	333.00	305.85	324.47	317.09	
Depreciación	325.00	325.00	325.00	325.00	325.00	325.00	325.00	325.00	325.00	325.00	325.00	325.00	
Total	-39000	12406.19	12972.76	13068.22	5476.40	9083.44	12190.73	10548.68	14891.97	14098.87	10895.37	13434.41	48089.13

Elaboración Propia

VAN = US\$ 120,322.74

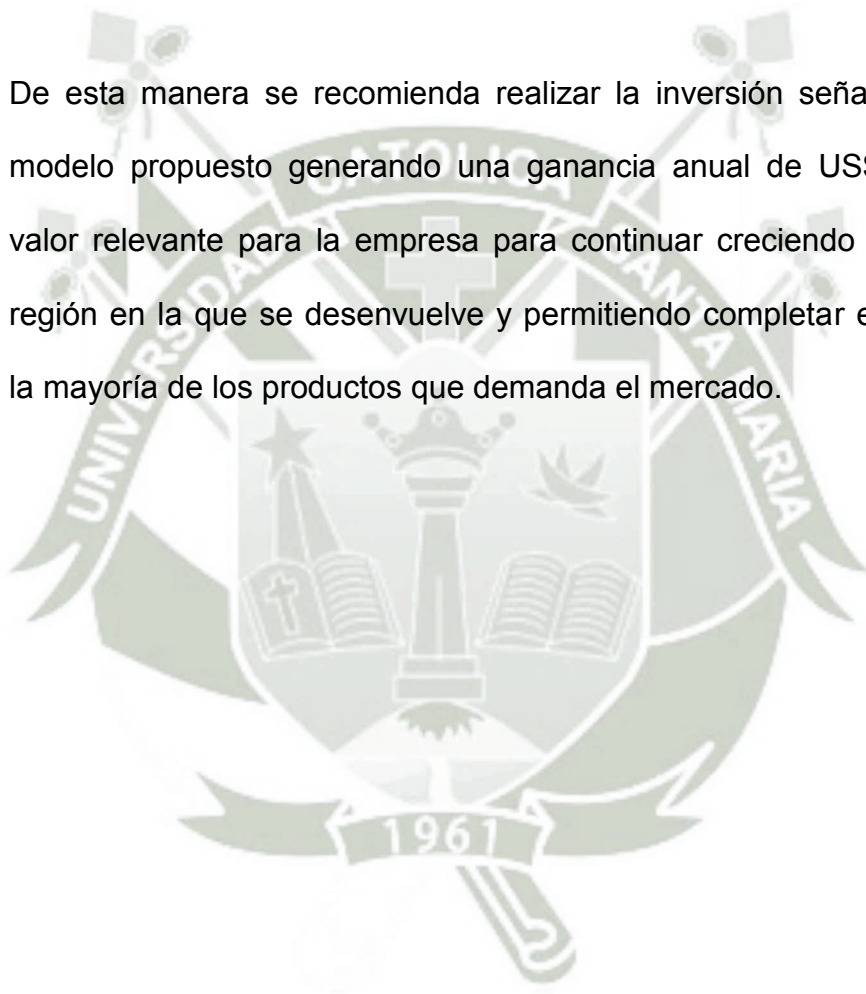
Con los números actualizados que representa el VAN de los modelos puede observarse que la inversión a realizar producirá una ganancia:

$$\text{Ganancia} = \text{VAN (modelo actual)} - \text{VAN (modelo propuesto)}$$

$$\text{Ganancia} = \text{US\$ } 120,322.74 - \text{US\$}95,845.5$$

$$\text{Ganancia} = \text{US\$ } 24,477.24$$

De esta manera se recomienda realizar la inversión señalada para el modelo propuesto generando una ganancia anual de US\$ 24,477.24, valor relevante para la empresa para continuar creciendo dentro de la región en la que se desenvuelve y permitiendo completar el servicio en la mayoría de los productos que demanda el mercado.



CONCLUSIONES

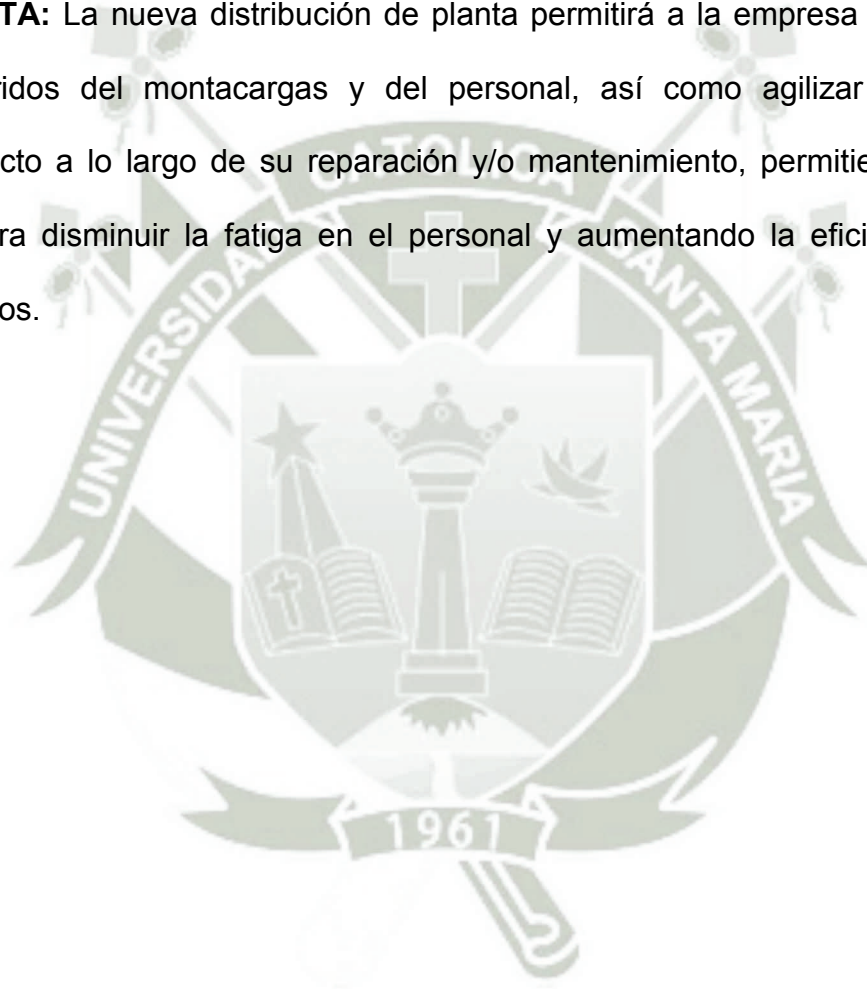
PRIMERA: Concluido el trabajo se determinó que la propuesta sugerida aumenta los indicadores de producción promedio del área productiva de la empresa Hydraulic Systems SAC de 10.89 horas/unidad a 6.60 horas/unidad permitiendo así que la empresa pueda brindar el servicio en un porcentaje permisible de cumplimiento. Con respecto al tiempo de fabricación de cilindros hidráulicos el tiempo tuvo una disminución del 34.86% pasando de 12.45 días de 10 horas/día a una fabricación de 10.14 días de 8 horas/día.

SEGUNDA: La implementación del modelo de simulación hacia la empresa permitió evaluar el estado actual de la empresa considerando todos los recursos y los factores que influyen de forma relevante al servicio que se brinda actualmente, modelo que puede tomarse en cuenta de ahora en adelante para proyectos de similar relevancia con diferentes objetivos permitiendo una adecuada toma de decisiones con información consolidada.

TERCERA: Con el modelo planteado se pudo solucionar y recortar notablemente la brecha existente entre la demanda del mercado por el servicio de reparación y/o mantenimiento de cilindros hidráulicos y la cantidad de productos que son atendidos en la sede Arequipa por la empresa Hydraulic Systems SAC, obteniendo un porcentaje alto de cumplimiento.

CUARTA: La evaluación económica pertinente demuestra claramente la ventaja de efectuar la propuesta sugerida en el modelo propuesto generando una ganancia de US\$ 24,477.24, diferencia entre valores obtenidos del modelo actual y del modelo propuesto, consolidando los resultados obtenidos del planteamiento sugerido para mejorar los índices envueltos.

QUINTA: La nueva distribución de planta permitirá a la empresa disminuir los recorridos del montacargas y del personal, así como agilizar el flujo del producto a lo largo de su reparación y/o mantenimiento, permitiendo de esta manera disminuir la fatiga en el personal y aumentando la eficiencia en los trabajos.



RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se deberá realizar los controles respectivos mensuales por parte del personal administrativo comparando así el cumplimiento de los ratios que se plantean en el presente estudio y tomarlos como base para el planeamiento del año 2016.

SEGUNDA: La contratación del personal propuesto en el estudio deberá tener el tiempo de experiencia necesario para ocupar su respectivo puesto además de tener conocimientos adicionales de seguridad, permitiendo así un pronto acoplamiento al equipo de producción de la empresa evitando errores y demoras adicionales.

TERCERA: De igual manera se recomienda la reducción del horario de trabajo como se propone a 8 horas/día, para que los colaboradores no tengan fatiga acumulada ya que las actividades realizadas son pesadas al trabajar con componentes de maquinaria y éstos puedan desenvolverse eficientemente en su área de trabajo.

CUARTA: Se recomienda continuar realizando la toma de datos y recojo de información de las áreas diariamente que permita la elaboración de informes con los cuales puedan tomarse decisiones más certeras para el beneficio de la empresa.

QUINTA: Realizar una evaluación para el ajuste salarial, según los resultados obtenidos en el área de producción, para los colaboradores con el fin de aumentar la motivación y permitir que los índices de productividad aumenten generando un mejor ambiente de trabajo.



BIBLIOGRAFÍA

1. Czekaj, Daniel. (1988). *Aplicaciones de la ingeniería: Maquinaria hidráulica en embarcaciones pesqueras pequeñas*. Roma, Italia
2. Altiook, T. y Melamed, B., (2010). *Simulation modeling and analysis with arena*. New Jersey, EEUU
3. Fernandez, P. (2001). *Investigación: Determinación del tamaño muestral*. La Coruña, España
4. Creus, A. (2011). *Neumática e hidráulica*. Barcelona, España.
5. Cao, R. (2002). *Introducción a la simulación y a la teoría de colas*. La Coruña, España.
6. Mathews P. (2010). *Sample size calculations: Practical methods for engineers and scientists*. Peinesville, EEUU.
7. Galgano A. (1995). *Los siete instrumentos de la calidad total*. Madrid, España.
8. Walpole R. y Myers R. (2007). *Probabilidad y Estadística*. Naucalán de Juárez, México
9. Deming W.(1989). *Calidad, Productividad y Competitividad*. Madrid, España
10. García, R. (2005). *Estudio del trabajo. Ingeniería de Métodos y medición del Trabajo*. Mexico.
11. Emparanza I. Selección del número de replicaciones en un estudio de Simulación. Recuperado de www.ine.es

12. Niebel B. y Freidvals A. (2009). *Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y diseños de trabajo*. Monterrey, México.
13. WorkMeter (2015). *Indicadores de productividad de una empresa*. Recuperado de <http://web.workmeter.com/es/index.html>
14. Zubcoff J. J. (2008), *Introducción a la Inferencia Estadística*. Recuperado de <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3893/1/1%20%20Contraste%20de%20bondad%20de%20ajuste.pdf>
15. Damoradan. Cálculo de Beta y ratios financieros. Recuperado de <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>
16. Monge J. y Pérez A. *Estadística no paramétrica: Prueba chi-cuadrado*. Recuperado de http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Chi_cuadrado.pdf
17. Reynaga, J. *Prueba de bondad de ajuste*. Recuperado de <http://www.facmed.unam.mx/deptos/salud/censenanza/planunico/spii/antologia2012/3.pdf>
18. UnicilindrosS. *Aplicaciones de los cilindros hidráulicos en las industrias*. Recuperado de: <http://www.unicilindros.com.co/boletin-tecnio/70-aplicaciones-y-mantenimiento-de-los-cilindros-hidraulicos-en-las-industrias>



ANEXO I: DIAGNÓSTICO SITUACIONAL ACTUAL

1. Detalle Análisis de productos

Tabla - Detalle de cilindros hidráulicos armados

Producto	Cantidad	%	% Acumulado
Cilindro Dirección	276	43.81%	43.81%
Cilindro Genérico	170	26.98%	70.79%
Cilindro Bucket	23	3.65%	74.44%
Cilindro Levante	13	2.06%	76.51%
Cilindro Stick	13	2.06%	78.57%
Cilindro Estabilizador	12	1.90%	80.48%
Cilindro Inclinación	12	1.90%	82.38%
Cilindro Inclinación Bulldozer	12	1.90%	84.29%
Cilindro templador de cable	12	1.90%	86.19%
Cilindro de Levante Bulldozer	8	1.27%	87.46%
Otros	79	12.54%	100.00%
	630		

Fuente: La empresa, Elaboración Propia

Otros:

Tabla - Tipo de cilindros hidráulicos armados

Producto	Ctd	Producto	Ctd
Cilindro completo boom	6	Cilindro completo extensión	2
Cilindro completo inclinación de lampón	6	Cilindro completo extensión de brazo	2
Cilindro completo levante de tolva	6	Cilindro completo inclinación de ripper	2
Cilindro completo dirección de rodillo	5	Cilindro completo suspensión delantera	2
Cilindro completo levante de brazo	5	Cilindro completo articulación	1
Cilindro completo extensiones de grúa	4	Cilindro completo avance	1
Cilindro completo levante de compuerta	4	Cilindro completo dirección. De cargador	1
Cilindro completo levante de cucharón	4	Cilindro completo inclinación de hoja	1
Cilindro completo levante de lampón	4	Cilindro completo levante dozer	1
Cilindro completo apertura cucharón	3	Cilindro completo ripper	1
Cilindro completo gata	3	Cilindro completo templador de cadena	1
Cilindro completo levante de ripper	3	Cilindro completo templadores d cadena	1
Cilindro completo suspensión frontal	3	Cilindro completo volteo	1
Cilindro completo volteo de cuchara	3	Cilindro completo volteo de giro	1
Cilindro completo estabilizador de grúa	2	Total	79

Fuente: La empresa, Elaboración Propia

Tabla - Detalle de vástagos solos

Producto	Ctd	%	% acum
Vastago direccion	54	33.13%	33.13%
Vastago generico	36	22.09%	55.21%
Vastago inclinacion	13	7.98%	63.19%
Vastago levante de tolva	12	7.36%	70.55%
Vastago bucket	9	5.52%	76.07%
Vastago levante de bulldozer	6	3.68%	79.75%
Vastago levante	5	3.07%	82.82%
Vastago stick	5	3.07%	85.89%
Vastago extencion de pluma	4	2.45%	88.34%
Vastago levante de tornamesa	3	1.84%	90.18%
Otros	16	9.82%	100.00%

Fuente: La empresa, Elaboración Propia

Otros:

Tabla - Tipo de vástagos solos

Producto	Ctd
Vastago articulacion	5
Vastago boom	2
Vastago desplazamiento	2
Vastago suspensión posterior	2
Vastago cuchilla	1
Vastago inclinación de bulldozer	1
Vastago inclinación de ripper	1
Vastago levante de cucharón	1
Vastago levante de ripper	1
Total	16

Fuente: La empresa, Elaboración Propia

2. Detalle Demanda Histórica Cilindros Hidráulicos

Tabla – Demanda Histórica Cilindros Hidráulicos

Año	Mes	Frec Demanda	Frec Producción	Acum Demanda	Acum Producción
2012	ago-12	18	18	18	18
	sep-12	17	17	35	35
	oct-12	21	19	56	54
	nov-12	19	19	75	73
	dic-12	22	20	97	93
2013	ene-13	24	21	121	114
	feb-13	26	22	147	136
	mar-13	26	24	173	160
	abr-13	17	17	190	177
	may-13	25	24	215	201
	jun-13	27	21	242	222
	jul-13	25	21	267	243
	ago-13	24	22	291	265
	sep-13	27	23	318	288
	oct-13	25	23	343	311
	nov-13	24	24	367	335
2014	ene-14	22	20	416	379
	feb-14	32	22	448	401
	mar-14	30	20	478	421
	abr-14	9	16	487	437
	may-14	7	7	494	444
	jun-14	36	22	530	466
	jul-14	24	22	554	488
	ago-14	50	24	604	512
	sep-14	44	22	648	534
	oct-14	38	23	686	557
	nov-14	36	24	722	581
2015	ene-15	27	22	784	624
	feb-15	30	24	814	648
	mar-15	26	25	840	673
	abr-15	16	18	856	691
	may-15	29	23	885	714
	jun-15	31	24	916	738

Fuente: Elaboración Propia

3. Detalle Demanda Histórica Vástagos

Tabla: Demanda Histórica Vástagos Solos

Año	Mes	Frec Demanda	Frec Producción	Acum Demanda	Acum Producción
2012	ago-12	0	0	0	0
	sep-12	0	0	0	0
	oct-12	0	0	0	0
	nov-12	4	4	4	4
	dic-12	5	5	9	9
2013	ene-13	3	3	12	12
	feb-13	13	12	25	24
	mar-13	6	7	31	31
	abr-13	0	0	31	31
	may-13	0	0	31	31
	jun-13	7	4	38	35
	jul-13	0	0	38	35
	ago-13	0	0	38	35
	sep-13	0	0	38	35
	oct-13	5	5	43	40
	nov-13	7	5	50	45
	dic-13	4	5	54	50
2014	ene-14	2	2	56	52
	feb-14	26	14	82	66
	mar-14	9	9	91	75
	abr-14	0	4	91	79
	may-14	0	0	91	79
	jun-14	6	5	97	84
	jul-14	0	0	97	84
	ago-14	0	0	97	84
	sep-14	1	1	98	85
	oct-14	2	2	100	87
	nov-14	13	5	113	92
	dic-14	1	1	114	93
2015	ene-15	6	6	120	99
	feb-15	2	2	122	101
	mar-15	23	15	145	116
	abr-15	7	11	152	127
	may-15	0	0	152	127
	jun-15	11	11	163	138

Fuente: La empresa

ANEXO II: MODELO DE SIMULACIÓN ACTUAL

1. Tamaño de muestra

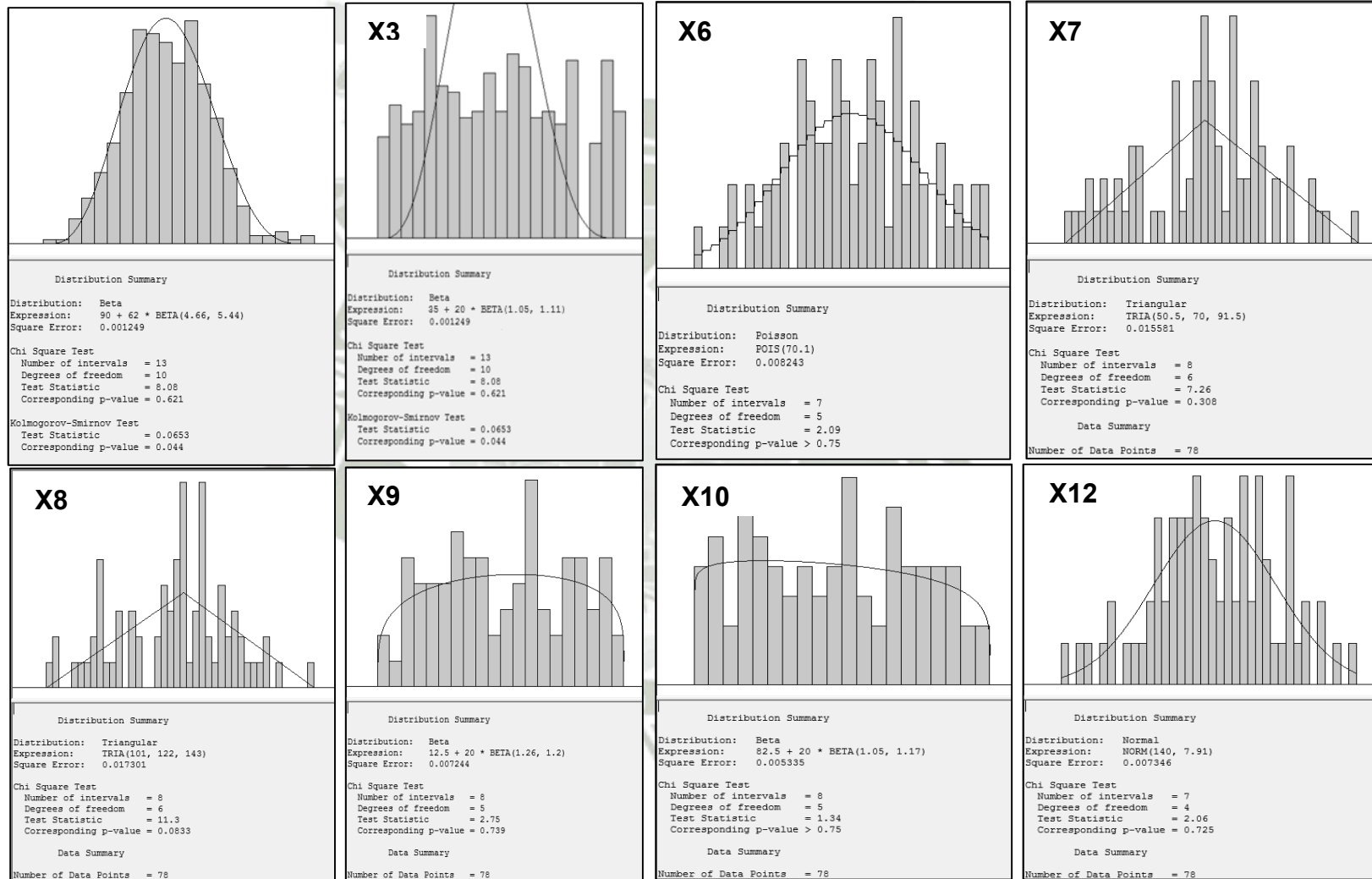
Tabla – Tamaño de muestra de Variables

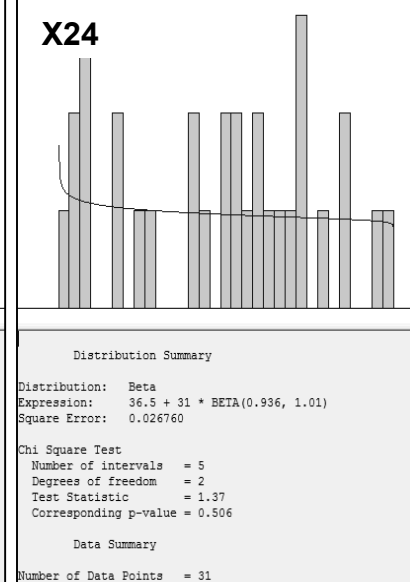
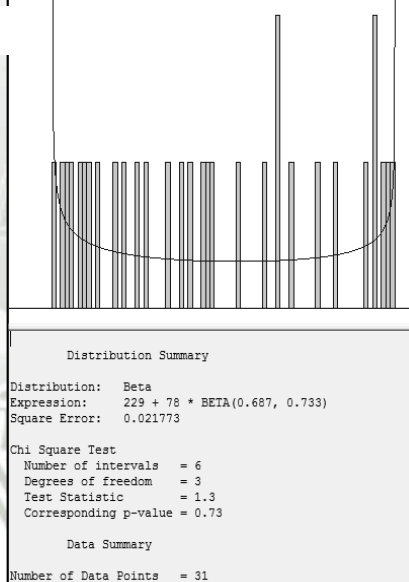
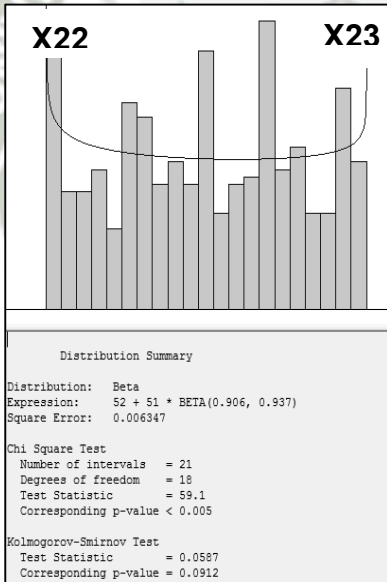
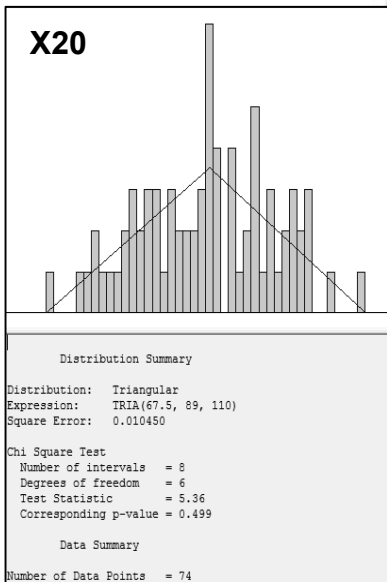
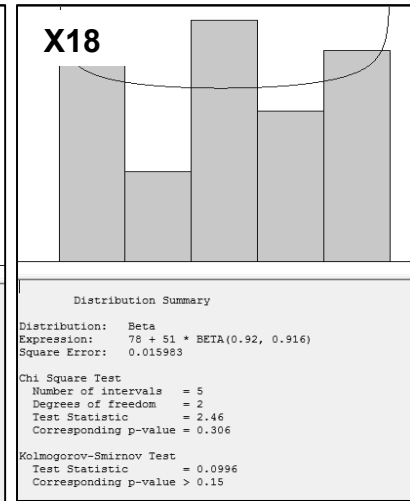
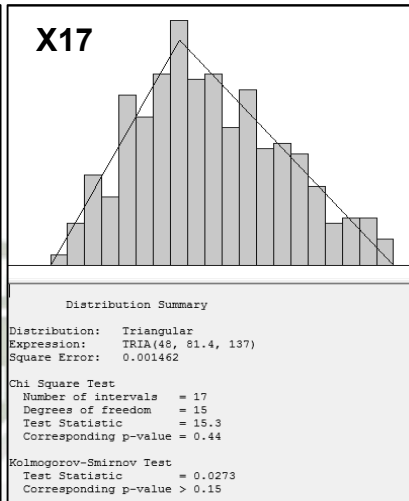
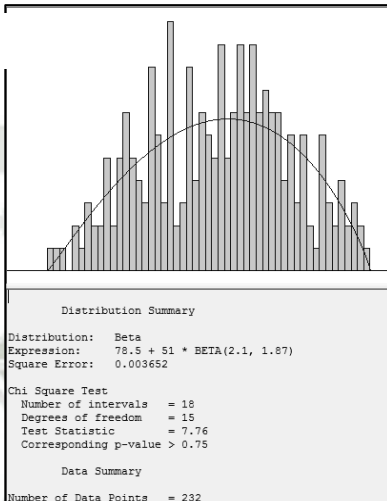
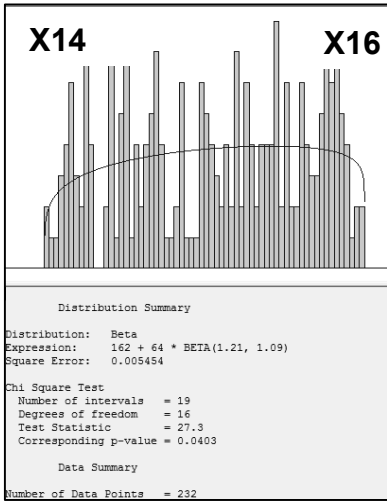
#	Variable	N	μ (min)	s (min)	e	no	n
x1	Desarmado	446	119.12	10.46	3.57	32.93	33
x3	Evaluación de camisa	446	46.00	6.28	1.38	79.59	82
x6	Maquinado de encastre y refrentado tubo	78	69.40	7.21	2.08	46.06	47
x7	Fresado de agujeros para tomas	78	68.13	8.99	2.04	74.24	77
x8	Extraído de ojo camisa y accesorios	78	120.37	8.36	3.61	20.59	21
x9	Cortado de tomas	78	21.43	5.22	1.29	63.39	65
x10	Soldado de tubo y accesorios	78	93.17	5.21	2.80	13.36	14
x12	Soldado de tubo y ojo camisa	78	140.77	8.68	4.22	16.23	17
x14	Rellenado de ojo camisa	232	197.10	18.54	5.91	37.76	38
x16	Fresado de relleno ojo camisa	232	104.27	11.88	3.13	55.37	57
x17	Bruñido mínimo	424	78.33	6.16	2.35	26.35	27
x18	Bruñido regular	30	103.55	15.14	6.21	22.82	23
x20	Maquinado final	74	86.70	8.75	2.60	43.43	44
x22	Evaluación de vástago	446	80.14	14.51	2.40	139.94	148
x23	Fresado ojo nuevo vástago	31	264.20	26.15	10.57	23.52	24
x24	Maquinado de encastre ojo vástago	31	51.17	9.09	3.58	24.72	25
x25	Maquinado de espiga barra nueva	232	66.60	13.46	2.00	174.38	187
x26	Refrentado y encastre barra nueva	232	91.27	13.93	2.74	99.44	104
x27	Extraído de ojo vástago y barra	201	111.30	15.29	3.34	80.56	83
x28	Soldado de ojo y barra vástago	232	128.53	7.51	3.86	14.57	15
x30	Rellenado de ojo de vástago	204	63.20	12.75	1.90	173.59	187
x32	Fresado de relleno ojo vástago	204	94.40	11.48	2.83	63.14	65
x33	Púlido de vástago	260	42.97	3.99	1.29	36.75	37
x35	Evaluación de tapa	446	125.00	15.87	3.75	68.80	71
x41	Limpieza de alojamiento tapa	293	28.37	5.18	0.85	142.48	151
x42	Maquinado de alojamientos de tapa	121	101.03	13.49	3.03	76.12	79
x43	Evaluado de pistón	446	100.27	12.33	3.01	64.50	66
x44	Maquinado de pistón nuevo	31	203.83	6.29	6.12	4.07	5
x48	Maquinado de alojamientos de pistón	87	82.43	5.87	2.47	21.65	22
x49	Limpieza de alojamientos de pistón	303	25.63	2.75	0.77	49.05	50
x50	Maquinado de bocinas	207	64.13	4.01	1.92	16.66	17
x51	Armado	446	94.70	18.48	2.84	162.61	174
x54	Embocinado camisa	217	35.35	4.55	1.77	25.44	26
x55	Embocinado vástago	103	34.78	3.27	1.04	37.63	38
x56	Pintado y embalado	446	73.12	22.91	2.92	235.78	260

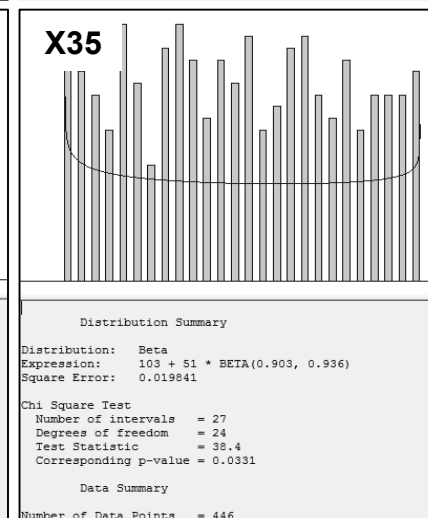
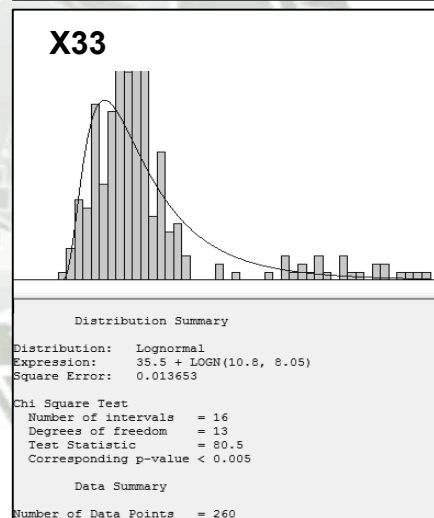
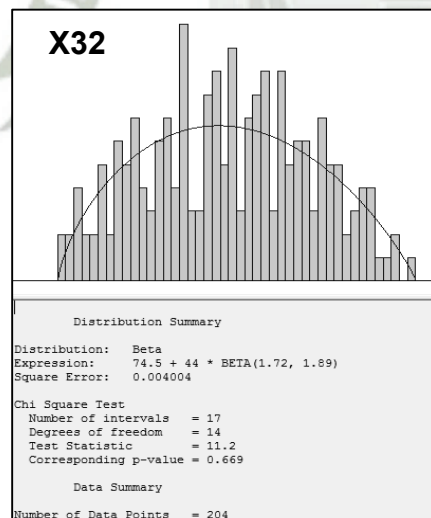
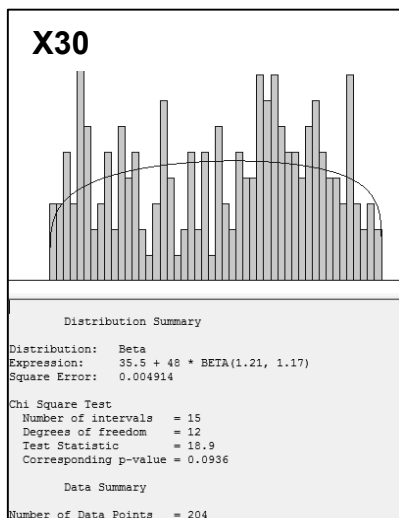
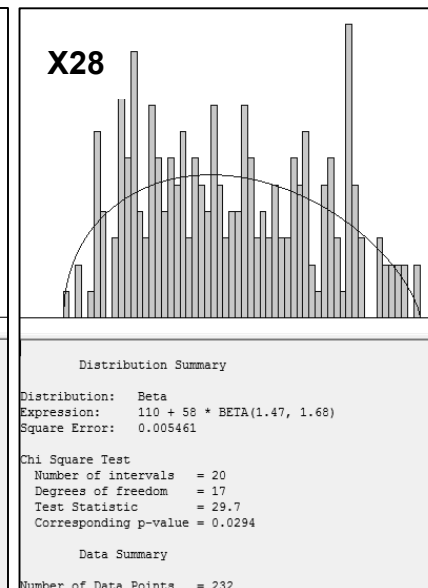
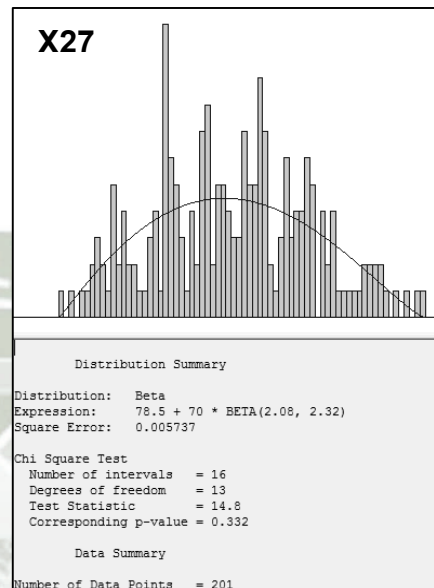
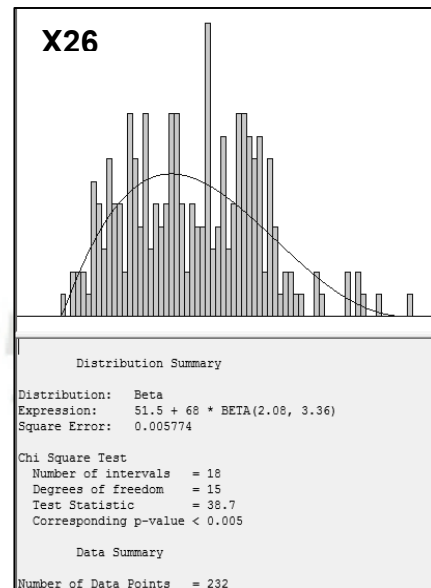
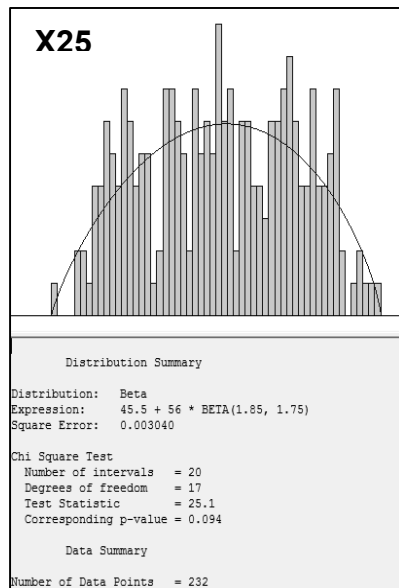
Fuente: Elaboración Propia

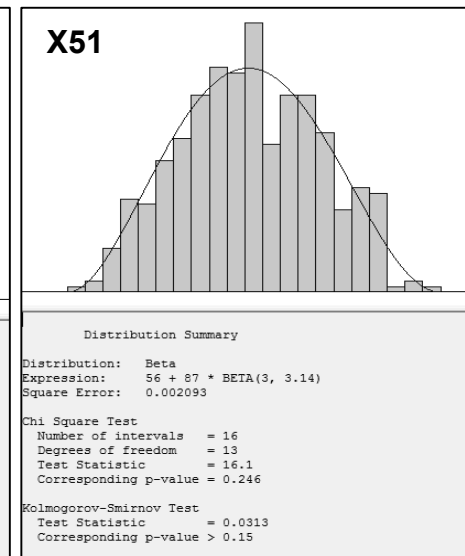
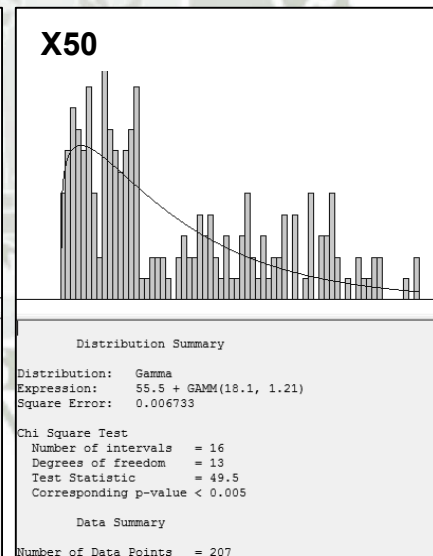
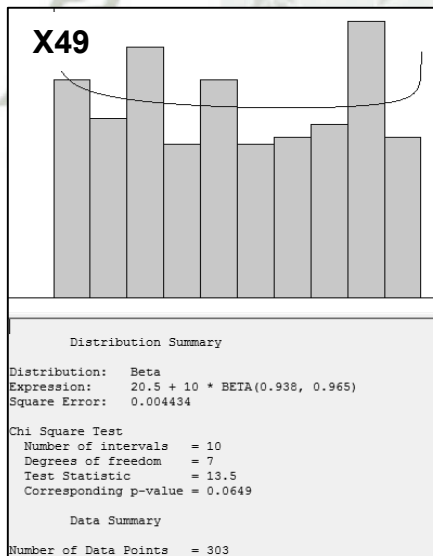
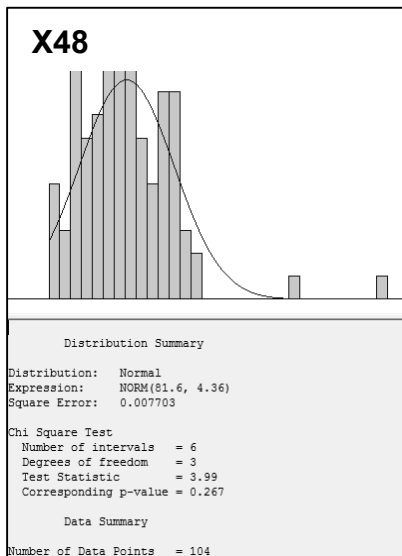
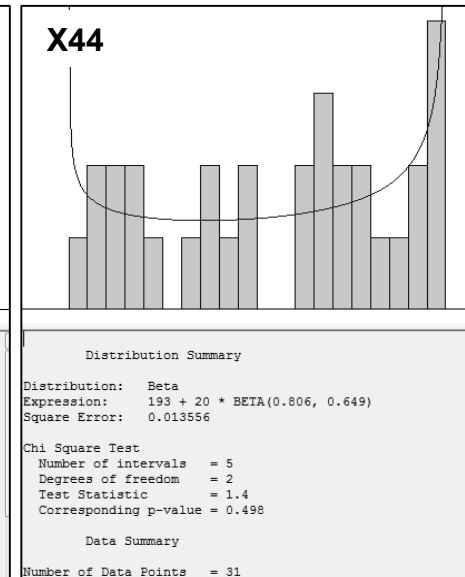
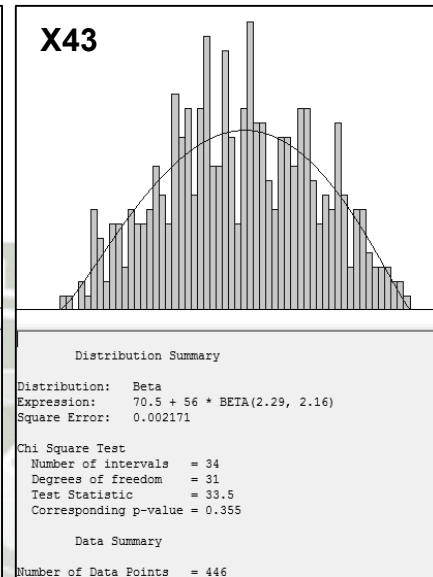
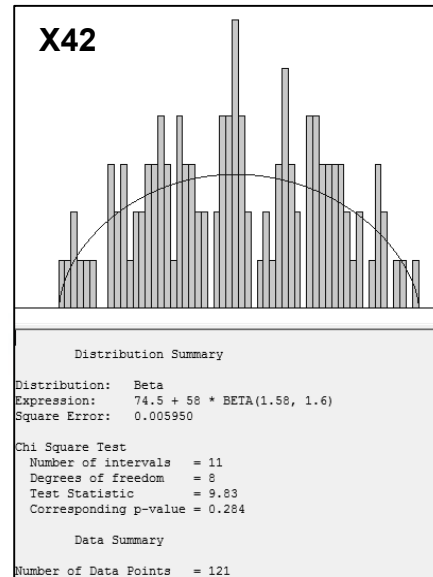
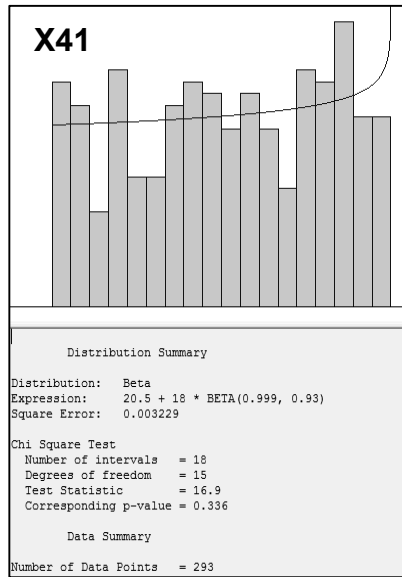
2. Distribución de probabilidad de variables

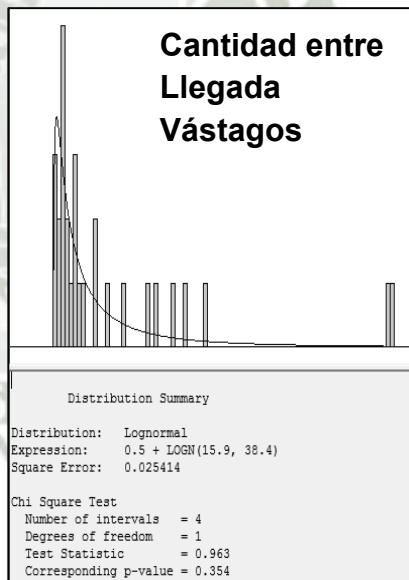
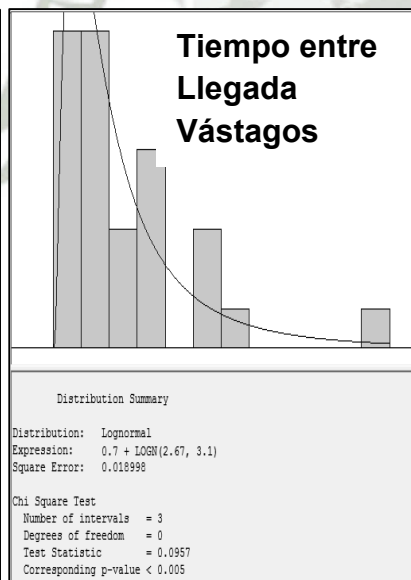
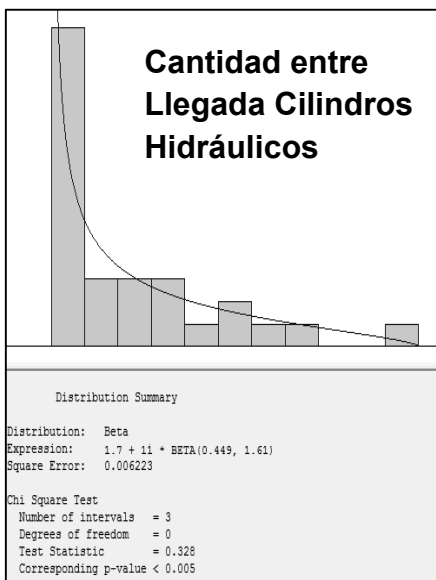
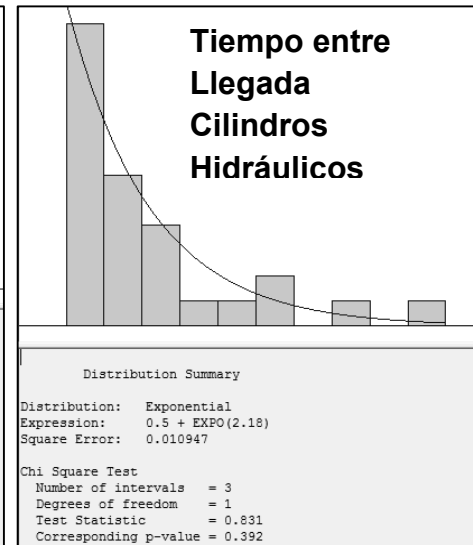
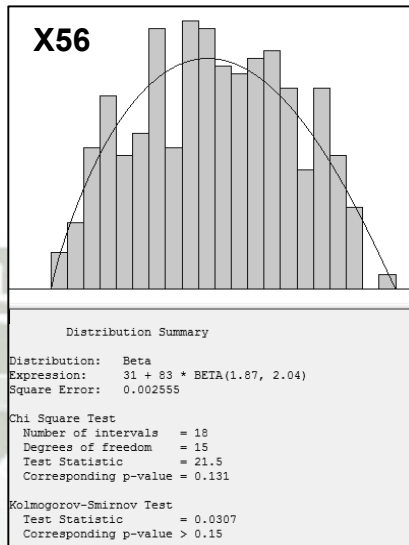
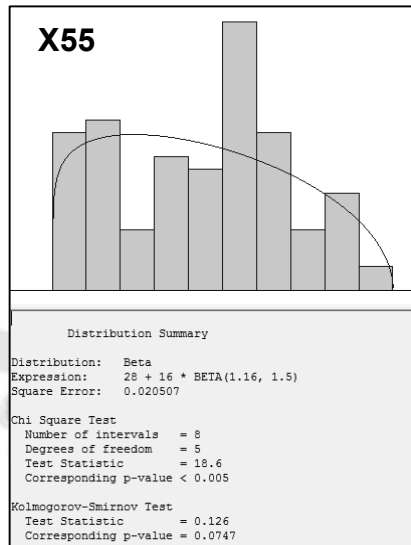
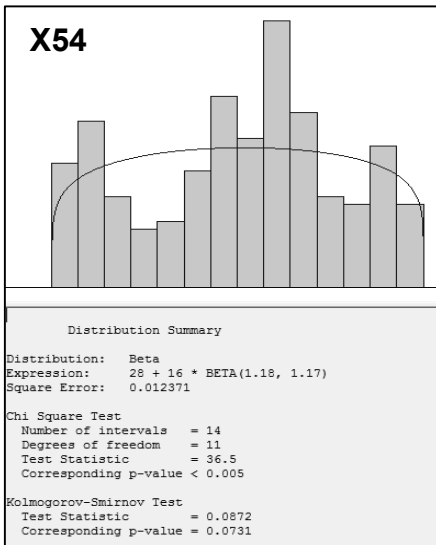
Ilustración – Distribución probabilística de variables











Fuente: Input Analyzer Arena 14.0, Elaboración Propia

3. Distribución de probabilística de variables

A continuación se presenta las distribuciones que se tomaron en cuenta con el apoyo de los colaboradores de la empresa mediante observación en campo.

Tabla - Distribución probabilística de variables

#	Variable	Distribución	Und
x2	Desbocinado de camisa	TRIA(17,22,27)	Min
x4	Fresado ojo nuevo camisa	TRIA(240,264,275)	Min
x5	Maquinado de encastre ojo camisa nuevo	TRIA(40,45,52)	Min
x11	Enfriado 1	TRIA(25,30,35)	Min
x13	Enfriado 2	TRIA(25,30,35)	Min
x15	Enfriado 3	TRIA(25,30,35)	Min
x19	Bruñido Over	TRIA(112,125,135)	Min
x21	Desbocinado de vastago	TRIA(17,22,27)	Min
x29	Enfriado 4	TRIA(25,30,35)	Min
x31	Enfriado 5	TRIA(25,30,35)	Min
x34	Recuperado de espiga	TRIA(99, 113, 123)	Min
x36	Maquinado de tapa nueva	TRIA(320, 335, 360)	Min
x37	Fresado de tapa nueva	TRIA(120, 130, 140)	Min
x38	Pre-maquinado de tapa para rellenado	TRIA(60,75.5 80)	Min
x39	Rellenado de alojamientos de tapa	TRIA(150, 160, 175)	Min
x40	Enfriado 6	TRIA(25,30,35)	Min
x45	Pre-maquinado de piston para rellenado	TRIA(78,83,88)	Min
x46	Rellenado de pistón	TRIA(120,150,187)	Min
x47	Enfriado 7	TRIA(25,30,35)	Min
x52	Armado de vastago con tapa y pistón	TRIA(30,50,75)	Min
x53	Prueba hidráulica	TRIA(40,60,75)	Min

Fuente: La empresa, Elaboración Propia

4. Planteamiento de la propuesta con herramienta Opt Quest

4.1. Controles

Los controles son los recursos que intervienen en el proceso de reparación y/o fabricación de cilindros hidráulicos. En este caso se seleccionan los recursos más importantes para que el sistema simule la cantidad de recursos óptima.

Tabla - Resumen de recursos

Ítem	Recurso
1	Evaluadores
2	Tornero
3	Torno
4	Soldador

Fuente: Elaboración Propia

4.2. Restricciones

Son las restricciones que se plantean en el modelo según un sistema real, para evitar que el modelo pueda restringir condiciones obvias para el funcionamiento del mismo.

Tabla - Restricciones Arena Opt Quest

Condición	Sustento
Torno=Tornero	Debe cumplirse que el número de torneros debe ser igual al número de tornos, por razones evidentes, en el modelo se tienen procesos que incluyen a ambos trabajando juntos.
Evaluadores ≥ 2	La cantidad de evaluadores debe de ser mayor a 2, por el mismo motivo. Ya que algunos procesos se utilizan a ambos evaluadores en conjunto para poder realizar la actividad.
% cumplimiento de CHA $\geq 80\%$	Se refiere al porcentaje mínimo de cumplimiento aceptado para cilindros hidráulicos armados.
% cumplimiento de VS $\geq 80\%$	Se refiere al porcentaje mínimo de cumplimiento aceptado para Vástagos Solos
Utilización Tornero y Torno $\geq 60\%$	La utilización mínima para obtener resultados coherentes relacionado a la productividad
Utilización Soldador y Evaluador $\geq 50\%$	La utilización mínima para obtener resultados coherentes relacionado a la productividad

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Objetivo

El objetivo es maximizar el valor de la variable más trascendental para nuestro modelo, el cuál es incrementar la variable de número de cilindros hidráulicos reparados anualmente.

ANEXO III: DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

1. Cálculo de Áreas para distribución de planta:

Para el cálculo de áreas correspondiente se utilizó el método de Guerchet con el fin de calcular el área en m² necesarios para la distribución planteada y se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$S_t = S_s + S_g + S_e$$

S_t = Superficie Total

S_s = Superficie Estática

S_g = Superficie de Gravitación

S_e = Superficie de evolución

$$S_s = \text{largo} \times \text{ancho}$$

$$S_g = S_s * \text{número de lados}$$

$$S_e = (S_s + S_g) * k$$

$$k = \frac{h_{EM}}{2 * h_{EE}}$$

1.1. Cálculo de Áreas

El cálculo superficial para el área de maquinado es el siguiente:

Tabla - Cálculo del área de Maquinado

Ítem	Máquina	Ctd	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Lado	Sup. Estática (Ss)	Sup. Gravitacional (Sg)	Sup. Evolutiva (Se)	Superficie Total (ST)
1	Torno 1	1	4.56	1.1	1.5	1	5.02	5.02	6.36	16.40
2	Torno 2	1	4.34	1.15	1.46	1	4.99	4.99	6.33	16.31
Total										32.71

$$k = 0.63$$

Fuente: Elaboración Propia

El cálculo superficial para el área de bruñido es el siguiente:

Tabla - Cálculo del área de Bruñido

Ítem	Máquina	Ctd	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Lado	Sup. Estática (Ss)	Sup. Gravitacional (Sg)	Sup. Evolutiva (Se)	Superficie Total (ST)
1	Bruñidora	1	6.4	1.37	1.56	1	8.77	8.77	11.12	28.66
Total										28.66

$$k = 0.63$$

Fuente: Elaboración Propia

El cálculo superficial para el área de soldadura es el siguiente:

Tabla - Cálculo del área de Soldadura

Ítem	Máquina	Ctd	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Lado	Sup. Estática (Ss)	Sup. Gravitacional (Sg)	Sup. Evolutiva (Se)	Superficie Total (ST)
1	Máquina de soldadura	1	1.2	1	0.98	4	1.20	4.80	3.81	9.81
2	Máquina de soldadura 2	1	1.2	1	0.98	4	1.20	4.80	3.81	9.81
Total										19.61

$k=0.63$

Fuente: Elaboración Propia

El cálculo superficial para el área de evaluación es el siguiente:

Tabla - Cálculo del área de Evaluación

Ítem	Máquina	Ctd	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Lado	Sup. Estática (Ss)	Sup. Gravitacional (Sg)	Sup. Evolutiva (Se)	Superficie Total (ST)
1	Mesa de evaluación	1	2.1	1.2	0.92	4	2.52	10.08	7.99	20.59
2	Banco de Pruebas	1	4.15	0.9	1.32	3	3.74	11.21	9.48	24.42
Total										45.01

$k=0.63$

Fuente: Elaboración Propia

El cálculo superficial para el área de fresado es el siguiente:

Tabla - Cálculo del área de Fresado

Ítem	Máquina	Ctd	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Lado	Sup. Estática (Ss)	Sup. Gravitacional (Sg)	Sup. Evolutiva (Se)	Superficie Total (ST)
1	Fresadora	1	2.38	1.66	2	1	3.95	3.95	5.01	12.91
									Total	12.91

$k=0.63$

Fuente: Elaboración Propia



2. Distribución Relacional de Áreas de Trabajo

2.1. Relación de Áreas de Trabajo para frecuencia de movimientos

Se tomaron en cuenta las siguientes áreas:

Tabla - Relación de Áreas de Trabajo

#	Área	Máquina
1	Maquinado torno	Torno
2	Maquinado fresadora	Fresadora
3	Soldado	Maquina soldadora
4	Bruñido	Bruñidora
5	Evaluado	Mesa de evaluación
6	Desarmado	Banco de pruebas I
7	Prueba hidráulica	Banco de pruebas II
8	Pintado y embalado	Aire comprimido
9	Almacén PP	Almacén PP
10	Almacén PT	Almacén PT
11	Almacén MP	Almacén MP
12	Armado	Mesa de evaluación
13	Desbocinado	Prensa hidraulica
14	Embocinado	Prensa hidraulica

Fuente: Elaboración Propia

2.2. Cuadro de Movimientos de Fabricación Producto A y Producto B

Se seleccionaron dos productos: El producto A que representa a los cilindros hidráulicos y el producto B representa a los vástagos solos. Se creó cuadros de doble entrada en el que se incluyó los números correspondientes a cada área de trabajo del punto 1. Finalmente se contó el número de movimientos correspondientes para cada producto.

Tabla - Movimientos de Fabricación Producto A

	17	22	0		2.3	0
2		37	234			
0	234		19		0	
2	0	0			251	
	19	234	0			
	19					

Fuente: Elaboración Propia

Tabla - Movimientos de Fabricación Producto B

	0	417	0		235	0
52		180	0			
136	96		0			
184	28	24				
	0					
	208					

Fuente: Elaboración Propia

Tabla - Movimientos de Fabricación Ponderado

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	287	274	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1	117	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	255	-	-	-	-	-	-	-
9	128	-	-	126	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	255	-	255	-	-	-	-	-	-
11	114	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	255	-	255	-	-	-	-	-
13	-	-	117	-	255	237	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	255	237	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Tabla: Resumen Frecuencia de movimiento

Orden	Relación	Área 1	Área 2
1	1 - 3	Maq Torno	Soldadura
1	2 - 3	Fresadora	Soldadura
1	5 - 13	Evaluación	Prensa Hidráulica
1	6 - 10	Banco de pruebas	Almacén PT
1	7 - 8	Banco de pruebas	Pintado y Embalado
1	7 - 12	Banco de pruebas	Evaluación
1	9 - 12	Almacén PP	Evaluación
1	8 - 10	Pintado y Embalado	Almacén PT
2	6 - 13	Banco de pruebas	Prensa Hidráulica
2	6 - 14	Banco de pruebas	Prensa Hidráulica
2	1 - 9	Maq Torno	Almacén PP
2	4 - 9	Bruñidora	Almacén PP
2	2 - 4	Fresadora	Bruñidora
3	3 - 9	Soldadura	Almacén PP
3	1 - 11	Maq Torno	Almacén MP
3	1 - 2	Maq Torno	Fresadora
3	3 - 4	Soldadura	Bruñidora
3	1 - 4	Maq Torno	Bruñidora

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO IV: Cálculo de Productividad

Para el cálculo de la productividad se utilizó la siguiente fórmula:

$$productividad = \frac{productos\ obtenidos}{recursos\ utilizados}$$

Para los productos obtenidos se ponderó de la siguiente manera por motivo de diferencia en tiempo de reparación y recursos utilizados entre cilindros hidráulicos completos y vástagos solos:

Tabla - Ponderación de productos

Producto	Factor	Actual	E1	E2
Cilindro hidráulico armado	3k	736.98	1019.97	976.59
Vástagos Solos	k	45.52	44.48	39.45
Total		782.45	1064.45	1016.04

Elaboración Propia

Para el cálculo de los recursos utilizados se tomaron en cuenta las horas programadas tanto para el modelo actual como para los modelos propuestos multiplicados por su utilización obteniendo así las horas ocupadas de la maquinaria y horas hombre, las cuales fueron sumadas.

Tabla - Recursos utilizados método actual

ACTUAL				
Cantidad	Operario y máquina	Horas	Utilización	Anual
2	Soldador	2663	58.45%	3113.047
1	Tornero	2663	88.74%	2363.146
2	Evaluador	2663	70.64%	3762.286
1	Torno	2663	86.75%	2310.153
1	Bruñidora	2663	13.76%	366.4288
1	Máq. soldadora	2663	43.83%	1167.193
1	Fresadora	2663	24.02%	639.6526
				13721.91

Fuente: Elaboración Propia

Tabla - Recursos utilizados método propuesto E1

Propuesto E1				
Cantidad	Operario	Horas	Utilización	Anual
3	Soldador	2135	63.65%	4076.783
2	Tornero	2135	74.81%	3194.387
4	Evaluador	2135	59.13%	5049.702
2	Torno	2135	73.12%	3122.224
1	Bruñidora	2135	23.85%	509.1975
2	Máquina soldadora	2135	36.98%	1579.046
1	Fresadora	2135	40.38%	862.113
				18393.45

Fuente: Elaboración Propia

Tabla - Recursos utilizados métodos propuesto E2

Propuesto E2				
Cantidad	Operario	Horas	Utilización	Anual
3	Soldador	2135	60.55%	3878.228
2	Tornero	2135	71.16%	3038.532
3	Evaluador	2135	75.32%	4824.246
2	Torno	2135	69.54%	2969.358
1	Bruñidora	2135	22.84%	487.634
2	Máquina soldadora	2135	35.13%	1500.051
1	Fresadora	2135	38.70%	826.245
				17524.29

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de la productividad:

- Actual

$$\text{Productividad actual HH} = \frac{782.45}{9238.47}$$

$$\text{Productividad actual HH} = 0.0847$$

$$\text{Productividad actual HM} = \frac{782.45}{4483.43}$$

$$\text{Productividad actual HM} = 0.1745$$

$$\text{Productividad Total} = \frac{782.45}{2663 * 9}$$

$$\text{Productividad Total} = 0.0326$$

- Propuesto E1

$$\text{Productividad actual HH} = \frac{1064.45}{12320.87}$$

$$\text{Productividad actual HH} = 0.0864$$

$$\text{Productividad actual HM} = \frac{1064.45}{6072.58}$$

$$\text{Productividad actual HM} = 0.1753$$

$$\text{Productividad Total} = \frac{1064.45}{2134 * 15}$$

$$\text{Productividad Total} = 0.0332$$

- Propuesto E2

$$\text{Productividad actual HH} = \frac{1016.04}{11741.00}$$

$$\text{Productividad actual HH} = 0.0865$$

$$\text{Productividad actual HM} = \frac{1016.04}{5783.288}$$

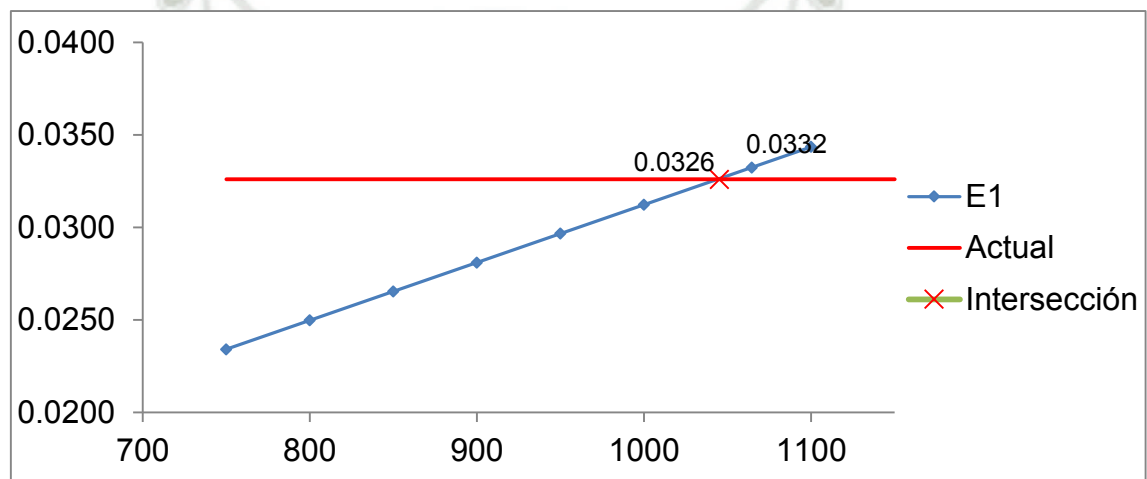
Productividad actual HM = 0.1757

$$Productividad\ Total = \frac{1016.04}{2135 * 14}$$

Productividad Total = 0.0340

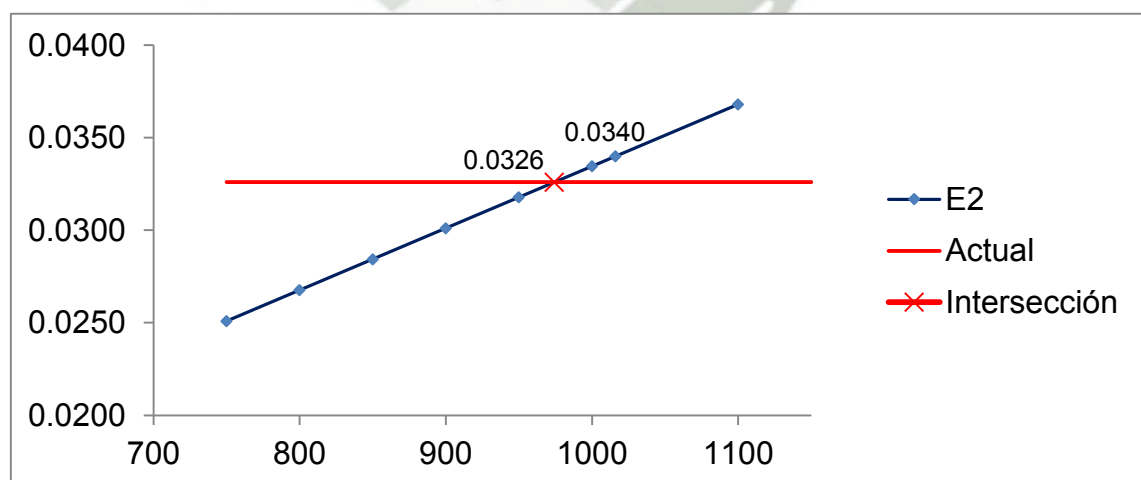
Análisis de sensibilidad:

Gráfico - Análisis de Sensibilidad E1



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico - Análisis de Sensibilidad E2



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO V: COSTEO

1. Horas Máquinas Utilizadas

Tabla - Horas Máquina Utilizadas Modelo Actual

Actual												
Equipo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Torno	200.6	181.6	195.7	183.3	196.1	180.9	191.2	188.7	204.4	197.8	196.7	193.3
Máquina Bruñidora	31.5	27.7	31.2	30.4	31.1	28.7	30.3	29.6	33.3	30.3	31.4	30.8
Fresadora	56.1	49.5	53.5	51.6	53.4	50.1	52.4	52.7	58.8	52.1	55.5	54.1
Prensa	19.0	17.0	18.9	18.2	19.0	17.5	18.0	18.2	20.5	18.0	19.2	19.0
Máquina soldadora	100.2	92.1	98.8	92.3	99.0	93.1	93.7	96.9	104.0	97.6	101.7	97.5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla - Horas Máquina Utilizadas Modelo Propuesto

Propuesto												
Equipo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Torno	233.4	261.5	251.2	259.1	254.1	237.4	228.4	259.0	255.8	235.0	249.9	244.7
Máquina Bruñidora	38.5	42.5	41.3	42.0	42.8	38.7	37.4	42.4	42.5	38.7	41.3	39.6
Fresadora	67.8	71.2	69.5	70.7	70.6	66.2	63.9	70.7	72.9	65.4	69.3	67.9
Prensa	22.8	25.3	24.6	26.1	26.0	23.2	22.4	25.5	25.0	23.2	25.1	23.6
Máquina soldadora	118.8	131.1	125.7	129.8	129.7	120.1	115.1	130.2	129.7	119.2	126.5	123.9

Fuente: Elaboración Propia

2. Material Directo

El material directo utilizado para el proceso de reparación y mantenimiento de cilindros hidráulicos es:

Tabla - Listado Material Directo

Unidad	Material Directo	Medidas
Camisa de cilindro	Cubo de Acero H1045	5x5"x3"
	Cilindro de Acero microbruñido	7"x40"
	Soldadura	
	Bronce SAE65 para bocina	3"x2.5"
	Rótulas	
Vástago	Cubo de Acero H1045	6"x6"x3"
	Barra de acero cromada	4"x39"
	Soldadura	
	Bronce SAE65 para bocina	3"x2.5"
	Rótulas	
Tapa	Cubo de Acero H1045	8"x5"
	Soldadura	
	Sellos hidráulicos	
Pistón	Cubo de Acero H1045	8"x5"
	Soldadura	
	Sellos hidráulicos	

Fuente: Elaboración Propia

3. Costos Indirectos

El coste de los materiales indirectos se realizó con porcentajes utilizados en cada proceso por una unidad.

Tabla - Listado de Materiales Indirectos

Proceso	Materiales	Unidad	Uso Camisa	Uso Vástago	Uso Tapa	Uso Pistón	Costo / unidad
Desarmado y Evaluación	Tintes Penetrantes	Pack	0.1				26.6
	Cinta Stretch film	Unidad	0.1	0.2	0.1	0.1	4.7
	Trapo industrial	Kg	0.3	0.2			2.8
	Papel industrial	Unidad	0.1	0.1	0.1	0.1	12.5
Completo	Refrigerante	Botella	0.3	0.3	0.5	0.5	18.8
	Aceite	Galón	0.1				12.5
	Grasa	Galón	0.1				18.8
	Lijar	Unidad	4.0	5.0	2.0	2.0	0.5
	Espojas bruñidoras abrasivas	Unidad	0.2				17.2
	Trapo industrial	Kg	0.2	0.2	0.2	0.2	2.8
	Papel industrial	Unidad	0.1	0.1	0.1	0.1	12.5
	Herramientas		3.0%	2.0%	2.0%	2.0%	500.0
Parcial	Refrigerante	Botella	0.2	0.2			18.8
	Aceite	Botella	0.1	0.1			12.5
	Grasa	Unidad	0.1				18.8
	Lijar	Unidad	4.0	3.0			0.5
	Espojas bruñidoras abrasivas	Unidad	0.3				17.2
	Trapo industrial	Kg	0.2	0.2			2.8
	Papel industrial	Unidad	0.1	0.1			12.5
	Herramientas		3.0%	2.0%			500.0
Mtto	Refrigerante	Botella	0.2	0.1	0.1	0.1	18.8
	Aceite	Botella	0.1				12.5
	Grasa	Unidad	0.1				18.8
	Lijar	Unidad	4.0	3.0	5.0	4.0	0.5
	Espojas bruñidoras abrasivas	Unidad	0.3				17.2
	Trapo industrial	Kg	0.2	0.3	0.2	0.2	2.8
	Papel industrial	Unidad	0.1	0.2	0.3	0.3	12.5
	Herramientas		3.0%	2.0%			500.0
Armado	Aceite	Botella	0.1	0.1	0.1	0.1	12.5
	Grasa	Unidad	0.1	0.1			18.8
	Herramientas	%	3.0%	2.0%	2.0%	2.0%	500.0
Prueba Hidráulica	Tintes Penetrantes	Pack	0.1				26.6
	Boquillas para tomas	Unidades	2.0				0.6
	Trapo industrial	Kg	0.0				2.8
Pintado y embalado	Base	Galón	0.2				15.0
	Pintura	Galón	0.2				17.2
	Tiner	Galón	0.1				5.0
	Gas	Unidad	0.1				10.9
	Plástico de embalaje	Unidad	0.1				28.1

Fuente: Elaboración Propia